



УНИВЕРЗИТЕТ „СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ“ – БИТОЛА

ФАКУЛТЕТ ЗА БИОТЕХНИЧКИ НАУКИ – БИТОЛА



м-р МАРИЈА БОШЕВСКА

**КОМПАРАТИВНА АНАЛИЗА НА ПРОМЕНИТЕ ВО
КВАЛИТАТИВНИОТ СОСТАВ КАЈ ХРАНА ТРЕТИРАНА
СО ЈОНИЗИРАЧКО ЗРАЧЕЊЕ**

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

БИТОЛА, 2022

МЕНТОР: проф. д-р Живко Јанкулоски

Факултет за биотехнички науки – Битола
Универзитет „Св. Климент Охридски” – Битола

ЧЛЕНОВИ НА КОМИСИЈАТА:

проф. д-р Христина Спасевска

Факултет за електротехника и информациски технологии
Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ – Скопје

проф. д-р Дијана Блажековиќ – Димовска

Факултет за биотехнички науки – Битола
Универзитет „Св. Климент Охридски” – Битола

проф. д-р Чулијана Томовска

Факултет за биотехнички науки – Битола
Универзитет „Св. Климент Охридски” – Битола

проф. д-р Вангелица Јовановска

Факултет за биотехнички науки – Битола
Универзитет „Св. Климент Охридски” – Битола

ДАТУМ НА ОДБРАНА:

ДАТУМ НА ПРОМОЦИЈА:

НАУЧНА ОБЛАСТ: БИОТЕХНИЧКИ НАУКИ

ИЗЈАВА ЗА ОРИГИНАЛНОСТ НА ТРУДОТ

Јас **м-р Марија Бошевска**, кандидат за одбрана на докторската дисертација со наслов **„КОМПАРАТИВНА АНАЛИЗА НА ПРОМЕНИТЕ ВО КВАЛИТАТИВНИОТ СОСТАВ КАЈ ХРАНА ТРЕТИРАНА СО ЈОНИЗИРАЧКО ЗРАЧЕЊЕ”** под морална, материјална и друга одговорност:

и з ј а в у в а м

дека при изработката на трудот ги почитував позитивните законски прописи од областа на заштитата на интелектуалната сопственост и не користев трудови на други автори без да бидат почитувани пропишаните методолошки стандарди. Користената литература достоино ја бележев во подбелешките и во литературата, составен дел на темата.

Тоа значи дека трудот е оригинален, не е плагијат.

Битола,

_____, 2022 година

Кандидат

м-р Марија Бошевска

БЛАГОДАРНОСТ

Во оваа прилика би сакала да изразам искрена благодарност до сите кои во рамките на своите можности ми помогнаа при изработката на оваа докторска дисертација.

Овој докторски труд е изработен под непосредно менторство на проф. д-р Живко Јанкулоски, редовен професор при Факултетот за биотехнички науки – Битола. Ја користам оваа можност да му искажам огромна благодарност за постојаната стручна и морална поддршка, за сите совети, насоки и сугестии со кои овој докторски труд ја доби конечната форма и содржина. Искрена благодарност упатувам до проф. д-р Дијана Блажековиќ – Димовска, за несебичната поддршка и стручните совети во текот на изработката на трудот. Мојата благодарност е особено упатена кон проф. д-р Христина Спасевска и доц. д-р Ивана Сандева, кои ме воведоа во светот на физиката и во новите научни текови на тоа поле. Посебна благодарност упатувам кон м-р Слободан Машиќ од Институтот за нуклеарни науки во Винча, за помошта при реализацијата на физичките истражувања.

Срдечно им се заблагодарувам и на останатите членови во Комисијата за одбрана на докторската дисертација, за сите конструктивни совети и сугестии кои ми помогнаа да ја подобрам нејзината содржина.

Се заблагодарувам на Наставничкиот совет при ФБН-Битола, кој ми овозможи да работам на оваа тема во согласност со мојот интерес за научно усовршување.

Голема благодарност упатувам до сите вработени во ЦЈЗ-Битола, кои несебично ми помогнаа во реализација на практичниот дел од овој докторски труд. Особено се заблагодарувам на прим. д-р. Елизабета Крстевска, прим. д-р. Ангела Делова, дипл. фарм. Катерина Стојковска, дипл. фарм. Елизабета Поповска, дипл. инг. Марта Неделковска и дипл. инг. Снежана Стефановска, за сите стручни совети при изработката на хемиските и микробиолошките анализи.

Најпосле, се заблагодарувам на моето семејство, за постојаната поддршка, трпение, љубов и поттик за време на изработката на оваа дисертација. Оваа докторска дисертација му ја посветувам на мојот татко, кој најмногу од сите веруваше во мене, но за жал, не дочека да го види овој мој успех....

СОДРЖИНА

Листа на табели	1
Листа на графици.....	4
Листа на слики.....	6
Листа на кратенки.....	7
АПСТРАКТ	8
ABSTRACT	10
1. ВОВЕД	12
2. ПРЕГЛЕД НА ЛИТЕРАТУРАТА	15
2.1. БЕЗБЕДНОСТА НА ХРАНАТА-ПРИЧИНА ЗА РАЗВОЈ НА СОВРЕМЕНИ МЕТОДИ ЗА НЕЈЗИНА ОБРАБОТКА	15
2.2. ИСТОРИСКИ РАЗВОЈ НА ТРЕТИРАЊЕТО НА ХРАНАТА СО ЈОНИЗИРАЧКО ЗРАЧЕЊЕ	18
2.3. РАЗВОЈ НА РЕГУЛАТИВАТА ЗА ТРЕТИРАЊЕ НА ХРАНАТА СО ЈОНИЗИРАЧКО ЗРАЧЕЊЕ	20
2.4. ВИДОВИ НА ЈОНИЗИРАЧКО ЗРАЧЕЊЕ И ИЗВОРИ	24
2.5. ЕФЕКТИ НА ЈОНИЗИРАЧКОТО ЗРАЧЕЊЕ	31
2.5.1. Физичко-хемиски ефекти на јонизирачкото зрачење	31
2.5.2. Ефекти на јонизирачкото зрачење врз биолошките организми	35
2.5.3. Ефекти на јонизирачкото зрачење врз храната	40
2.5.3.1. Карактеристики на третирањето на храната со јонизирачко зрачење	40
2.5.3.2. Која храна може да се третира со јонизирачко зрачење и дози кои се применуваат	41
2.5.3.3. Приказ на третирањето на храната со јонизирачко зрачење во различни земји во светот	47
2.6. НУТРИТИВНИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ХРАНАТА ТРЕТИРАНА СО ЈОНИЗИРАЧКО ЗРАЧЕЊЕ	58
2.6.1. Ефекти на јонизирачкото зрачење врз одделните компоненти на храната	61
2.6.1.1. Ефекти на јонизирачкото зрачење врз јаглехидратите	61
2.6.1.2. Ефекти на јонизирачкото зрачење врз протеините	63
2.6.1.3. Ефекти на јонизирачкото зрачење врз липидите	66
2.6.1.4. Ефекти на јонизирачкото зрачење врз витамините	68
2.6.1.5. Ефекти на јонизирачкото зрачење врз органолептичките својства на храната	71
2.7. БЕЗБЕДНОСТ НА ХРАНАТА ТРЕТИРАНА СО ЈОНИЗИРАЧКО ЗРАЧЕЊЕ	74
2.8. ОЗНАЧУВАЊЕ НА ХРАНАТА ТРЕТИРАНА СО ЈОНИЗИРАЧКО ЗРАЧЕЊЕ	80

2.9. ПРИФАЌАЊЕ НА ХРАНАТА ТРЕТИРАНА СО ЈОНИЗИРАЧКО ЗРАЧЕЊЕ ОД СТРАНА НА ПОТРОШУВАЧИТЕ	80
2.10. ДЕТЕКЦИЈА НА ХРАНАТА ТРЕТИРАНА СО ЈОНИЗИРАЧКО ЗРАЧЕЊЕ	82
3. ПРОБЛЕМ И ПРЕДМЕТ НА ИСТРАЖУВАЊЕ	89
4. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ НА ИСТРАЖУВАЊЕТО	92
4.1. ОБРАЗЛОЖЕНИЕ НА РАБОТНИТЕ ХИПОТЕЗИ И РАЗРАБОТКА НА ТЕЗИ	94
5. МАТЕРИЈАЛИ И МЕТОДИ НА РАБОТА	96
5.1. ХЕМИСКИ МЕТОДИ	97
5.2. МИКРОБИОЛОШКИ МЕТОДИ	98
5.3. ФИЗИЧКИ МЕТОДИ	99
5.4. СТАТИСТИЧКИ МЕТОДИ	100
5.5. НАУЧНИ МЕТОДИ	100
6. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА	102
6.1. КВАЛИТАТИВНИ СВОЈСТВА НА ПЧЕНИЦАТА (<i>Triticum aestivum</i> L.)	102
6.2. ТЕСТИРАЊЕ НА ПРИМЕРОЦИТЕ СО МЕТОДИТЕ ФОТОСТИМУЛИРАНА ЛУМИНИСЦЕНЦИЈА И ТЕРМОЛУМИНИСЦЕНЦИЈА	110
6.2.1. Вредности на луминисцентниот сигнал за контролните (нетретирани) примероци	114
6.2.2. Вредности на луминисцентниот сигнал за примероците третирани со доза со вредност од 0,2 kGy	116
6.2.3. Вредности на луминисцентниот сигнал за примероците третирани со доза со вредност од 0,5 kGy	118
6.2.4. Вредности на луминисцентниот сигнал за примероците третирани со доза со вредност од 1 kGy	121
6.2.5. Вредности на луминисцентниот сигнал за примероците третирани со доза со вредност од 5 kGy	122
6.2.6. Вредности на луминисцентниот сигнал за примероците третирани со доза со вредност од 10 kGy	123
6.3. ЕФЕКТИ НА ЈОНИЗИРАЧКОТО ЗРАЧЕЊЕ ВРЗ КВАЛИТАТИВНИОТ СОСТАВ НА ПЧЕНИЦАТА (<i>Triticum aestivum</i> L.)	125
6.3.1. Ефекти на јонизирачкото зрачење врз одделните квалитативни параметри на пченицата (<i>Triticum aestivum</i> L.)	136
6.3.1.1. Ефекти врз вредностите на јаглехидратите	136
6.3.1.2. Ефекти врз вредностите на протеините	138
6.3.1.3. Ефекти врз вредностите на мастите	141
6.3.1.4. Ефекти врз вредностите на диететските влакна	143
6.3.1.5. Ефекти врз процентот на влага	145
6.3.1.6. Ефекти врз процентот на пепел	146
6.3.1.7. Ефекти врз процентот на песок	148

6.4. ЕФЕКТИ НА ЈОНИЗИРАЧКОТО ЗРАЧЕЊЕ ВО ЗАВИСНОСТ ОД СТАРЕЕЊЕТО НА ПРИМЕРОЦИТЕ	149
6.4.1. Разлики во застапеноста на одделните квалитативни параметри во зависност од стареењето на примероците	160
6.4.1.1. Разлики во застапеноста на јаглехидратите во зависност од стареењето на примероците	160
6.4.1.2. Разлики во застапеноста на протеините во зависност од стареењето на примероците	162
6.4.1.3. Разлики во застапеноста на мастите во зависност од стареењето на примероците	164
6.4.1.4. Разлики во застапеноста на диететските влакна во зависност од стареењето на примероците	165
6.4.1.5. Разлики во процентот на влага во зависност од стареењето на примероците	167
6.4.1.6. Разлики во процентот на пепел во зависност од стареењето на примероците	169
6.5. ЕФЕКТИ НА ЈОНИЗИРАЧКОТО ЗРАЧЕЊЕ ВРЗ ПОВАЖНИТЕ ОРГАНОЛЕПТИЧКИ СВОЈСТВА НА ПЧЕНИЦАТА	171
6.6. МИКРОБИОЛОШКИ ПРОФИЛ НА ПЧЕНИЦАТА (<i>Triticum aestivum</i> L.)	173
6.6.1. Микробиолошки анализи после третирање на примероците со јонизирачко зрачење со различна вредност на дозата	176
6.6.2. Микробиолошки анализи после период од 9 месеци од третирањето на примероците со јонизирачко зрачење	187
6.6.3. Резултати од испитувањата на концентрациите на вкупните афлатоксини во примероците пченица (<i>Triticum aestivum</i> L.) третирани со јонизирачко зрачење	197
7. ЗАКЛУЧОЦИ	207
8. КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА	222

ЛИСТА НА ТАБЕЛИ

Табела 1. Приказ на реакциите кои настануваат со радиолиза на водата	33
Табела 2. Типови храна, цели на третирањето со јонизирачко зрачење и максимално дозволени дози	47
Табела 3. Листа на хранливи продукти врз кои е дозволен третман со јонизирачко зрачење и дозволени дози во САД	48
Табела 4. Листа на хранливи продукти врз кои е дозволен третман со јонизирачко зрачење и дозволени дози во Канада	49
Табела 5. Листа на хранливи продукти врз кои е дозволен третман со јонизирачко зрачење и дозволени дози во Европската Унија	49
Табела 6. Листа на хранливи продукти врз кои е дозволен третман со јонизирачко зрачење и дозволени дози во Австралија и Нов Зеланд	49
Табела 7. Листа на хранливи продукти врз кои е дозволен третман со јонизирачко зрачење и дозволени дози во Азија	50
Табела 7.1. Листа на хранливи продукти врз кои е дозволен третман со јонизирачко зрачење и дозволени дози во Бангладеш	50
Табела 7.2. Листа на хранливи продукти врз кои е дозволен третман со јонизирачко зрачење и дозволени дози во Кина	51
Табела 7.3. Листа на хранливи продукти врз кои е дозволен третман со јонизирачко зрачење и дозволени дози во Филипини	51
Табела 7.4. Листа на хранливи продукти врз кои е дозволен третман со јонизирачко зрачење и дозволени дози во Индија	52
Табела 7.5. Листа на хранливи продукти врз кои е дозволен третман со јонизирачко зрачење и дозволени дози во Република Кореа	52
Табела 7.6. Листа на хранливи продукти врз кои е дозволен третман со јонизирачко зрачење и дозволени дози во Индонезија	53
Табела 7.7. Листа на хранливи продукти врз кои е дозволен третман со јонизирачко зрачење и дозволени дози во Малезија	54
Табела 7.8. Листа на хранливи продукти врз кои е дозволен третман со јонизирачко зрачење и дозволени дози во Пакистан	54
Табела 7.9. Листа на хранливи продукти врз кои е дозволен третман со јонизирачко зрачење и дозволени дози во Виетнам	55
Табела 7.10. Листа на хранливи продукти врз кои е дозволен третман со јонизирачко зрачење и дозволени дози во Тајланд	56
Табела 8. Разлики помеѓу дозволените дози за третирање на исти типови храна во различни земји во светот	57
Табела 9. Европски стандарди за детекција на храна третирана со јонизирачко зрачење	88

Табела 10. Вредности за испитуваните параметри за квалитативниот состав на нетретираните примероци пченица	103
Табела 10.1. Статистичка обработка на резултатите од Табела 10	109
Табела 11. Вредности на фотолуминцентниот сигнал за контролните (нетретирани) примероци од пченица	114
Табела 12. Вредности на фотолуминцентниот сигнал за примероци пченица третиран со доза со вредност од 0,2 kGy	116
Табела 13. Вредности на фотолуминцентниот сигнал за примероци пченица третиран со доза со вредност од 0,5 kGy	119
Табела 14. Вредности на фотолуминцентниот сигнал за примероци пченица третиран со доза со вредност од 1 kGy	121
Табела 15. Вредности на фотолуминцентниот сигнал за примероци пченица третиран со доза со вредност од 5 kGy	122
Табела 16. Вредности на фотолуминцентниот сигнал за примероци пченица третиран со доза со вредност од 10 kGy	123
Табела 17. Вредности на испитуваните параметри на примероците пченица третиран со јонизирачко зрачење со различна вредност на дозата	125
Табела 17.1 Статистичка обработка на резултатите од Табела 17	126
Табела 17.2. Параметри на едноставен регресионен модел за примероците пченица третиран со доза од 0,2 kGy	128
Табела 17.3. Статистичка споредба на контролниот (нетретиран) примерок со примерокот пченица третиран со доза од 0,2 kGy	129
Табела 17.4. Параметри на едноставен регресионен модел за примероците пченица третиран со доза од 0,5 kGy	129
Табела 17.5. Статистичка споредба на контролниот (нетретиран) примерок со примерокот пченица третиран со доза од 0,5 kGy	130
Табела 17.6. Параметри на едноставен регресионен модел за примероците пченица третиран со доза од 1 kGy	131
Табела 17.7. Статистичка споредба на контролниот (нетретиран) примерок со примерокот пченица третиран со доза од 1 kGy	131
Табела 17.8. Параметри на едноставен регресионен модел за примероците пченица третиран со доза од 5 kGy	132
Табела 17.9. Статистичка споредба на контролниот (нетретиран) примерок со примерокот пченица третиран со доза од 5 kGy	133
Табела 17.10. Параметри на едноставен регресионен модел за примероците пченица третиран со доза од 10 kGy	134
Табела 17.11. Статистичка споредба на контролниот (нетретиран) примерок со примерокот пченица третиран со доза од 10 kGy	134
Табела 18. Вредности на испитуваните параметри на примероците пченица после период од 9 месеци од третирањето со јонизирачко зрачење	150

Табела 18.1. Статистичка обработка на резултатите од Табела 18	151
Табела 18.2. Параметри на едноставен регресионен модел за примероците пченица третиран со доза од 0,2 kGy после период од 9 месеци од третирањето	152
Табела 18.3. Статистичка споредба на контролниот (нетретиран) примерок со примерокот пченица третиран со доза од 0,2 kGy после 9 месеци од третирањето	153
Табела 18.4. Параметри на едноставен регресионен модел за примероците пченица третиран со доза од 0,5 kGy после период од 9 месеци од третирањето	154
Табела 18.5 Статистичка споредба на контролниот (нетретиран) примерок со примерокот пченица третиран со доза од 0,5 kGy после 9 месеци од третирањето	154
Табела 18.6. Параметри на едноставен регресионен модел за примероците пченица третиран со доза од 1 kGy после период од 9 месеци од третирањето	155
Табела 18.7 Статистичка споредба на контролниот (нетретиран) примерок со примерокот пченица третиран со доза од 1 kGy после 9 месеци од третирањето	156
Табела 18.8. Параметри на едноставен регресионен модел за примероците пченица третиран со доза од 5 kGy после период од 9 месеци од третирањето	157
Табела 18.9. Статистичка споредба на контролниот (нетретиран) примерок со примерокот пченица третиран со доза од 5 kGy после 9 месеци од третирањето	157
Табела 18.10. Параметри на едноставен регресионен модел за примероците пченица третиран со доза од 10 kGy после период од 9 месеци од третирањето	158
Табела 18.11. Статистичка споредба на контролниот (нетретиран) примерок со примерокот пченица третиран со доза од 5 kGy после 9 месеци од третирањето	159
Табела 19.1. Статистичка споредба на вредностите на јаглехидратите	161
Табела 19.2 Статистичка споредба на вредностите на протеините	163
Табела 19.3. Статистичка споредба на вредностите на мастите	165
Табела 19.4. Статистичка споредба на вредностите на диететските влакна	166
Табела 19.5. Статистичка споредба на вредностите за процентот на влага	168
Табела 19.6. Статистичка споредба на вредностите на диететските влакна	170
Табела 20. Вредности на микробиолошките параметри после третирањето на примероците пченица со јонизирачко зрачење	177
Табела 20.1 Статистичка анализа на резултатите од Табела 20	180
Табела 21. Вредности на микробиолошките параметри после период од 9 месеци од третирањето на примероците пченица со јонизирачко зрачење	188
Табела 21.1. Статистичка анализа на резултатите од Табела 2	189
Табела 22.1. Статистичка анализа на резултатите за <i>вкупниот број на микроорганизми</i> во двете последователни одредувања	192
Табела 22.2. Статистичка анализа на резултатите за <i>Bacillus cereus</i> во двете последователни одредувања	193

Табела 22.3. Статистичка анализа на резултатите за <i>Enterobacteriaceae</i> во двете последователни одредувања	194
Табела 22.4. Статистичка анализа на резултатите за <i>квасци и мувли</i> во двете последователни одредувања	196
Табела 23. Вредности на вкупните афлатоксини во испитуваните примероци пченица во двете последователни одредувања	199
Табела 23.1. Статистичка анализа на резултатите за вкупните афлатоксини во испитуваните примероци пченица	201

ЛИСТА НА ГРАФИЦИ

График 1. Приказ на процентуалната застапеност на испитуваните параметри во Контролните (нетретирани) примероци пченица во временски интервал од 9 месеци	103
График 2. Приказ на процентуалната застапеност на испитуваните параметри во примероците пченица третирани со јонизирачко зрачење со различна вредност на дозата (прво одредување)	126
График 3. Приказ на процентуалната застапеност на јаглехидратите во испитуваните примероци пченица во зависност од дозата на јонизирачко зрачење	136
График 4. Динамика на вредностите на јаглехидратите во зависност од дозата на зрачење	137
График 5. Приказ на процентуалната застапеност на протеините во испитуваните примероци пченица во зависност од дозата на зрачење	139
График 6. Динамика на вредностите на протеините во зависност од дозата на зрачење	139
График 7. Приказ на процентуалната застапеност на масите во испитуваните примероци пченица во зависност од дозата на јонизирачко зрачење	142
График 8. Динамика на вредностите на масите во зависност од дозата на зрачење	142
График 9. Приказ на процентуалната застапеност на диететските влакна во испитуваните примероци пченица во зависност од дозата на зрачење	144
График 10. Динамика на вредностите на диететските влакна во зависност од дозата на зрачење	144
График 11. Приказ на процентот на влага во испитуваните примероци пченица во зависност од дозата на јонизирачко зрачење	145
График 12. Динамика на вредностите на влагата во зависност од дозата на зрачење	145
График 13. Приказ на процентот на пепел во испитуваните примероци пченица во зависност од дозата на јонизирачко зрачење	147
График 14. Динамика на вредностите на пепел во зависност од дозата на зрачење	147
График 15. Приказ на процентот на песок во испитуваните примероци пченица во зависност од дозата на јонизирачко зрачење	148
График 16. Динамика на вредностите на песок во зависност од дозата на зрачење	148

График 17. Процентуална застапеност на испитуваните параметри во примероците пченица после 9 месеци од третирањето со јонизирачко зрачење со различна вредност на дозата (второ одредување)	150
График 18. Разлики во застапеноста на јаглехидратите во зависност од стареењето на примероците	160
График 19. Разлики во застапеноста на протеините во зависност од стареењето на примероците	162
График 20. Разлики во застапеноста на мастите во зависност од стареењето на примероците	164
График 21. Разлики во застапеноста на диететските влакна во зависност од стареењето на примероците	165
График 22. Разлики во процентот на влага во зависност од стареењето на примероците	167
График 23. Разлики во процентот на пепел во зависност од стареењето на примероците	169
График 24. Приказ на вредностите на микробиолошките параметри после третирањето на примероците пченица со јонизирачко зрачење	178
График 25. Динамика на вкупниот број на микроорганизми во зависност од дозата на зрачење	182
График 26. Динамика на бројноста на видот <i>Bacillus cereus</i> во зависност од дозата на зрачење	184
График 27. Динамика на бројноста на фамилијата <i>Enterobacteriaceae</i> во зависност од дозата на зрачење	185
График 28. Динамика на бројноста на квасците и мувлите во зависност од дозата на зрачење	186
График 29. Приказ на вредностите на микробиолошките параметри после 9 месеци од третирањето на примероците пченица (<i>Triticum aestivum</i> L.) со јонизирачко зрачење	189
График 30. Разлики во вкупниот број на микроорганизми во двете последователни одредувања	191
График 31. Разлики во бројноста на <i>Bacillus cereus</i> во двете последователни одредувања	193
График 32. Разлики во бројноста на фамилијата <i>Enterobacteriaceae</i> во двете последователни одредувања	194
График 33. Разлики во бројноста на квасците и мувлите во двете последователни одредувања	195
График 34. Вредности на вкупните афлатоксини во испитуваните примероци пченица во двете последователни одредувања	201
График 35. Споредба на концентрациите на вкупни афлатоксини во зависност од дозата на зрачење	204

ЛИСТА НА СЛИКИ

Слика 1. Електромагнетен енергетски спектар	25
Слика 2. Разлики во длабочината на продирање на јонизирачките зраци	26
Слика 3. Изглед на кобалтни пенкала	27
Слика 4. Распаѓање на ^{60}Co	28
Слика 5. Индустриски гама озрачувач наменет за третирање на хранливи производи	28
Слика 6. Изглед на изворот на зрачење во гама озрачувачот	29
Слика 7. Шема за радиолита на водата	34
Слика 8. Приказ на ефектите на јонизирачкото зрачење врз молекулата на DNA	37
Слика 9. Летални дози за различните биолошки објекти	39
Слика 10. Подготовка на примероците пченица (<i>Triticum aestivum</i> L.)	96
Слика 11. Апарат за детекција на храна третирана со јонизирачко зрачење со методот на фотостимулирана луминисценција	110
Слика 12. Апарат за термолуминисценција	112
Слика 13. Подготовка на примероците за тестирање со методот фотостимулирана луминисценција	113
Слика 14. Подготовка на примероците за тестирање со методот термостимулирана луминисценција	113
Слика 15. Графичко претставување на зависноста на бројот на импулси од времето за нетретирана пченица	114
Слика 16. Луминисцентна крива 1 добиена за нетретиран примерок пченица	115
Слика 17. Луминисцентна крива 2 за нетретиран примерок пченица	116
Слика 18. Графичко претставување на зависноста на бројот на импулси од времето кај пченица третирана со доза со вредност 0,2 kGy	117
Слика 19. Луминисцентна крива 1 за примерок пченица третиран со доза со вредност од 0,2 kGy	118
Слика 20. Луминисцентна крива 2 за примерок пченица третиран со доза со вредност од 0,2 kGy	118
Слика 21. Графичко претставување на зависноста на бројот на импулси од времето кај пченица третирана со доза со вредност од 0,5 kGy	119
Слика 22. Луминисцентна крива 1 за примерок пченица третиран со доза со вредност од 0,5 kGy	120
Слика 23. Луминисцентна крива 2 за примерок пченица третиран со доза со вредност од 0,5 kGy	120

Слика 24. Графичко претставување на зависноста на бројот на импулси од времето кај пченица третирана со 1 kGy	121
Слика 25. Графичко претставување на зависноста на бројот на импулси од времето кај пченица третирана со доза со вредност од 5 kGy	122
Слика 26. Графичко претставување на зависноста на бројот на импулси од времето кај пченица третирана со 10 kGy	124
Слика 27. Споредување на сензорните особини на примероците во зависност од дозата на зрачење	171

ЛИСТА НА КРАТЕНКИ

CAC	—	Codex Alimentarius Commission - Комисија на Codex Alimentarius
EC	—	European Commission - Европска комисија
FAO	—	Food and Agriculture Organization - Организација за храна и земјоделство
FDA	—	Food and Drug Administration - Организација за храна и лекови
IAEA	—	International Atomic Energy Agency - Меѓународна агенција за атомска енергија
ICGFI	—	International Consultative Group on Food Irradiation - Меѓународна консултативна група за третирање на храна со јонизирачко зрачење
NASA	—	National Aeronautics and Space Administration - Национална аеронаутичка и вселенска агенција
PL	—	Photoluminescence - фотостимулирана луминисценција
TL	—	Thermoluminescence - термолуминисценција
USDA	—	United States Department of Agriculture - Министерство за земјоделство на САД
WHO	—	World Health Organization - Светска здравствена организација

КОМПАРАТИВНА АНАЛИЗА НА ПРОМЕНИТЕ ВО КВАЛИТАТИВНИОТ СОСТАВ КАЈ ХРАНА ТРЕТИРАНА СО ЈОНИЗИРАЧКО ЗРАЧЕЊЕ

АПСТРАКТ

Користењето на јонизирачкото зрачење за третирање на храната е постапка која отсекогаш предизвикувала бројни дилеми и нејасни ставови кај потрошувачите. Со цел да се испитаат ефектите на овој облик на енергија врз храната, во овој докторски труд е направена анализа на промените во квалитативниот состав кај храна третирана со јонизирачко зрачење. Извршени се споредбени физичко – хемиски и микробиолошки анализи на примероци од пченица (*Triticum aestivum* L.) третиран со јонизирачко зрачење со пет различни вредности на дозата: 0,2 kGy, 0,5 kGy, 1 kGy, 5 kGy и 10 kGy. Добиените резултати се конципирани во 6 подрачја.

Во првото подрачје е направена анализа на ефектите на јонизирачкото зрачење врз квалитативниот состав на пченицата. Согласно добиените резултати за јаглехидратите (64,34 % – 65,19 %), протеините (10,04 % – 10,52 %), мастите (1,31 % – 1,39 %), диететските влакна (12,30 % – 12,40 %), влагата (9,61 % – 9,78 %), пепелот (1,39 % – 1,47 %) и песокот (0,048 % – 0,05 %) сите испитувани примероци одговараат на барањата од Правилникот за квалитетот на житата, мелничките и пекарските производи.

Во второто подрачје е направено докажување на третирањето на примероците пченица со јонизирачко зрачење со методите фотостимулирана луминисценција и термолуминисценција. Според добиените резултати овие методи даваат несигурна потврда кога третирањето е извршено со многу ниски дози на јонизирачко зрачење (0,2 kGy и 0,5 kGy), а сигурна потврда кога третирањето е извршено со повисоки дози (1 kGy, 5 kGy и 10 kGy).

Во третото подрачје е испитувана долготрајноста на ефектите од јонизирачкото зрачење врз третираните примероци. Според резултатите постојат статистички сигнификантни разлики во процентуалната застапеност на јаглехидратите, влагата и пепелот, додека протеините, мастите и диететските влакна не покажуваат разлики ниту после период од 9 месеци од третирањето со јонизирачко зрачење. Не е утврдена промена во поважните органолептички својства (изглед, боја и мирис) кај пченицата, ниту веднаш после третирањето, ниту после девет месеци од третирањето со јонизирачко зрачење.

Во четвртото подрачје е испитуван микробиолошкиот профил на пченицата и ефектите на јонизирачкото зрачење врз бројот на детектирани микроорганизми. Утврдено е присуство на видот *Bacillus cereus*, видови од фамилијата *Enterobacteriaceae* и соеви на *квасци и мувли*. Во ниту еден од испитуваните примероци не е детектиран родот *Salmonella*, видовите *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli* и *Clostridium perfringens*. Констатирани се сигнификантни разлики во бројот на детектирани микроорганизми во корелација со вредноста на дозата на зрачење, како и редукација на бројот на микроорганизми паралелно со зголемување на дозата. Притоа при доза од 10 kGy не се детектирани колонии на ниту еден од детерминираниите видови микроорганизми.

Во петтото подрачје е анализирана долготрајноста на ефектите на јонизирачкото зрачење врз присутните микроорганизми. Констатирано е дека во сите испитувани примероци, после девет месеци од третирањето со јонизирачко зрачење, има редукација на бројот на микроорганизми. Притоа, при доза од 5 kGy детектирани се само квасци и мувли, додека при доза од 10 kGy не се детектирани колонии на микроорганизми во ниту еден од испитуваните примероци.

Во последното (шесто) подрачје, испитуван е ефектот на јонизирачкото зрачење врз концентрациите на афлатоксините. Утврдени се нивни средни вредности од 3,875 ppb кои се во рамки на дозволените концентрации за афлатоксини во житата и сите производи кои произлегуваат од жита, согласно законската регулатива. Констатирано е нивно сигнификантно намалување паралелно со зголемување на дозата на зрачење и редукација на нивните концентрации за 40 % при доза од 5 kGy т.е. за 48 % при доза од 10 kGy.

Врз основа на сите добиени резултати во овој докторски труд, може да се потврди дека третирањето на храната со јонизирачко зрачење е ефикасна и безбедна постапка со која се одржува квалитетот на храната и се продолжува нејзиниот рок на употреба. Овие резултати ќе придонесат за едукација на јавноста околу безбедноста и бенефитите на оваа постапка, со што ќе се надминат бројните дилеми, погрешни перцепции и отворени прашања кои постојат на овој план.

Клучни зборови: *пченица, Triticum aestivum L., јонизирачко зрачење, квалитативен состав, микробиолошка безбедност, фотостимулирана луминисценција, термолуминисценција.*

COMPARATIVE ANALYSIS OF CHANGES IN QUALITATIVE COMPOSITION IN FOOD TREATED WITH IONIZING RADIATION

ABSTRACT

Food irradiation is a method that has always caused numerous dilemmas, open questions and unclear views among consumers. In order to investigate the effects of this form of energy on food, in this doctoral thesis, an analysis of changes in the qualitative composition of food treated with ionizing radiation was made. Comparative physicochemical and microbiological analyzes of wheat (*Triticum aestivum* L.) has been conducted through subjecting samples to ionizing radiation treatment, with five different doses: 0.2 kGy, 0.5 kGy, 1 kGy, 5 kGy and 10 kGy. Wheat was obtained from the production facilities of ZK Pelagonija, immediately after the harvest in 2020. Results are conceptualized in 6 chapters.

The first chapter analyzes the effects of ionizing radiation on the qualitative composition of the wheat. The results of this section showed that all treated samples correspond to the requirements of the Rulebook on quality of cereals, mills and bakery products. Almost equal values of all examined parameters were determined, as follows: carbohydrates (64.34 % – 65.19 %), total proteins (10.04 % – 10.52 %), fats (1.31 % – 1.39 %), dietary fiber (12.3 % – 12.4 %), moisture (9.61 % – 9.78 %), ash (1.39 % – 1.47 %) and sand (0.048 % – 0.05 %).

The second chapter concerns the detection of food treated with ionizing radiation, conducted on the examined samples. Confirmation that the samples were treated wheat with ionizing radiation, was conducted with the methods of photostimulated luminescence and thermoluminescence. The results showed that both methods give unreliable results if the treatment is performed at low doses (0.2 kGy and 0.5 kGy) and reliable results if the treatment is performed at doses of 1 kGy, 5 kGy and 10 kGy.

The third chapter examines the longevity of the effects of ionizing radiation on treated specimens. The results in this section showed that there were no significant differences in the qualitative composition of wheat associated with the aging of the specimens, except for the values of carbohydrates (which decrease with storage) and the percentage of moisture (which increases in parallel with the length of storage).

The fourth chapter refers to the microbiological profile of wheat and the effects of ionizing radiation on the number of microorganisms present. The results showed presence of *Bacillus cereus*, *Enterobacteriaceae* species and yeasts and molds. *Salmonella*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli* and *Clostridium perfringens*, were not detected in the examined

samples. It has been found that the number of microorganisms decreases in parallel with increasing the dose, with no viable microorganisms at a dose of 10 kGy.

In the fifth chapter, the longevity of the effects of ionizing radiation was analyzed. It was concluded that in all examined samples, after a period of nine months after ionizing irradiation treatment, there is a noticeable reduction in the number of microorganisms. In fact at a dose of 5 kGy only yeasts and molds were detected, while at a dose of 10 kGy no microbial growth was observed. This confirms the prolonged effect of ionizing radiation on the microbiological safety of food.

In the last (sixth) chapter, the effect of ionizing radiation on aflatoxin concentrations was investigated. Their mean values were 3.85 ppb, which are within the allowed concentrations for aflatoxins in all cereals and products derived from cereals in accordance with the legislation. Their significant reduction was found in parallel with dose increasing. A reduction of their concentrations of 40 % has been determined at a dose of 5 kGy and by 48 % at a dose of 10 kGy. Based on all the results obtained in this doctoral thesis, it can be confirmed that the treatment of food with ionizing radiation is an efficient and safe procedure that maintains the quality of food and extends its shelf life.

These results will contribute to the public education about the safety and benefits of treating food with ionizing radiation, thus overcoming the numerous dilemmas, misconceptions and open questions that exist in this area.

Keywords: *wheat, Triticum aestivum L., ionizing radiation, qualitative composition, microbiological safety, photostimulated luminescence, thermoluminescence.*

1. ВОВЕД

Храната покрај тоа што е фундаментална потреба за човековиот живот, истовремено е и фактор за пренесување и предизвикување на голем број болести кои претставуваат глобален здравствен проблем и важна причина за намалена економска продуктивност. Еден од најголемите проблеми со кои се соочува човештвото е токму расипувањето на храната, бидејќи нејзината микробна контаминација е причина за голем број на смртни исходи и труења. Болестите кои се предизвикани од храната се една од најголемите закани за човековото здравје, бидејќи голем процент од суровата храна (особено таа од животинско потекло) додека да стигне до потрошувачите е веќе контаминирана. Истовремено, со глобализацијата на трговијата со храна значително се променети моделите за нејзино производство и дистрибуција, што создава услови за лесна трансмисија на болестите кои таа ги предизвикува. Поради тоа, современите програми за безбедност на храната, сè повеќе го нагласуваат пристапот „безбедно од нива до трпеза“ укажувајќи на можноста опасностите да се интегрираат во кој било сегмент од производството, пакувањето, транспортот и конзумирањето на производот.

Константната борба која човештвото ја води со факторите кои ја контаминираат и расипуваат храната има за цел да ги спречи и енормните загуби на храна, посебно кога се работи за храна која се складира на одреден период и е наменета за подоцнежна употреба. Од тие причини, технологијата за преработка на храна развила бројни постапки за нејзино зачувување. Секоја од овие постапки се применува на точно одреден начин, но секоја има и свои предности и одредени недостатоци. Генерално, сите овие постапки се темелат на забавување или запирање на микробниот раст, со што се продолжува рокот на траење на таа храна и се одржува нејзината безбедност.

Во поново време, кон веќе познатите традиционални методи за зачувување на безбедноста на храната, се придружува една понова метода наречена третирање на храната со јонизирачко зрачење. Таа ги има истите цели како и останатите методи, но технологијата и опремата која се употребува, здравствените мерки, како и мерките на претпазливост, ја прават посебна од многу аспекти.

Согласно досегашните податоци во литературата, како и од искуствата во светски рамки, третирањето на храната со јонизирачко зрачење со дози до 10 kGy е безбедно и од нутритивен и од токсиколошки аспект. Притоа, со правилна примена на енергијата од јонизирачкото зрачење може да се постигнат повеќе корисни ефекти: да се продолжи рокот на траење на храната, да се намали потребата од користење на конзерванси и презервативи, да се постигне микробиолошка безбедност, да се одложи зреењето и расипувањето на овошјето и зеленчукот и да се спречи 'ртење кај многу видови растенија.

Ниту еден друг метод за обработка на храната не е толку темелно и доготрајно проучуван од меѓународните релевантни институции, како што е третирањето на храната со јонизирачко зрачење. Истовремено, овие тела веќе ги потврдуваат придобивките од тоа, дозволувајќи интеграција на јонизирачкото зрачење во системот за безбедност на храната.

Третирањето на храната со јонизирачко зрачење е прифатено во голем број земји во светот и поткрепено со огромен број научни истражувања од сите домени на безбедноста по човековото здравје. Според последните податоци, повеќе од 60 земји во светот ги користат предностите кои ги нуди ваквата технологија, развивајќи ги регулативите за третирање на сè поголем број на производи.

Сепак, и покрај сите заложби за воведување на нови безбедни технологии за добивање на што поквалитетни производи за човекова употреба, постои голема резигнираност на потрошувачите кон храната третирана со јонизирачко зрачење. Тоа најчесто се должи на погрешната перцепција дека ваквата храна е радиоактивна, дека предизвикува токсиколошки, генетски, мутагени или канцерогени ефекти и дека истата е со намален и влошен нутритивен квалитет.

Од тие причини, во овој докторски труд е направена анализа на квалитативниот состав на храна третирана со јонизирачко зрачење. Со цел да се видат ефектите кои ги предизвикува јонизирачкото зрачење, направена е споредба на примероци од пченица кои не се третирани со јонизирачко зрачење, со примероци од пченица кои се третирани со јонизирачко зрачење, со дози чии вредности се одобрени согласно светските регулативи.

Истовремено направена е микробиолошка анализа, со цел да се испитаат ефектите на јонизирачкото зрачење врз развојот на микроорганизмите кои го влошуваат квалитетот на храната и го забрзуваат нејзиното расипување.

Докторскиот труд содржи поглавја низ кои е прикажан историскиот развој на третирањето на храната со јонизирачко зрачење, досегашните сознанија за ефектите на овој облик на енергија врз храната, различни дилеми и спротивставени гледишта во однос на примената на оваа технологија и конкретни сознанија од реално поставено и спроведено истражување. Испитувањата во докторскиот труд и добиените резултати се конципирани во шест поглавја. Во првото поглавје е направено одредување на ефектите на јонизирачкото зрачење врз квалитативниот состав на пченицата, а добиените резултати се анализирани во согласност со барањата од Правилникот за квалитет на житата, мелничките и пекарските производи. Во второто поглавје се испитувани методите фотостимулирана луминисценција и термолуминисценција, и нивната примена во докажувањето на третирањето со јонизирачко зрачење. Третото поглавје ја испитува долготрајноста на ефектите на јонизирачкото зрачење во корелација со стареењето на примероците. Во четвртото поглавје е испитуван микробиолошкиот профил на пченицата и ефектите на јонизирачкото зрачење врз детектираните видови микроорганизми. Во петтото поглавје е анализирана долготрајноста на ефектите на јонизирачкото зрачење врз детектираните микроорганизми во корелација со стареењето на примероците, додека во последното (шесто) поглавје се испитувани концентрациите на афлатоксините, како важни токсични соединенија во пченицата и ефектот на јонизирачкото зрачење врз нивните вредности.

Резултатите кои се добиени во овој докторски труд ги потврдуваат сите досегашни ставови околу безбедноста на овој процес, притоа давајќи нови сознанија за ефектите на јонизирачкото зрачење врз конкретен вид на храна. Со тоа ќе се збогатат научните бази кои го обработуваат овој домен и ќе се придонесе кон дополнителна едукација на јавноста за придобивките од овој метод. Сето ова ќе доведе до надминување на бројните погрешни ставови и перцепции кои потрошувачите ги имаат во однос на ваквата храна.

2. ПРЕГЛЕД НА ЛИТЕРАТУРАТА

*Способноста да се зачува храната
безбедна е услов за постоење на
човековата цивилизација...*

Третирањето на храната со јонизирачко зрачење е постапка која отсекогаш предизвикувала контроверзни ставови кај потрошувачите во сите земји во светот. Наспроти ова, ова е еден од најдолготрајно и најтемелно проучуваните методи кога е храната во прашање. Со цел да се направи една синтеза на сите досегашни сознанија на овој план, во ова поглавје ќе биде прикажан историскиот развој на третирањето на храната со јонизирачко зрачење, ефектите на овој облик на енергија врз храната, различните дилеми и спротивставени гледишта во однос на оваа технологија и заклучоците кои донесени од сето тоа.

2.1. БЕЗБЕДНОСТА НА ХРАНАТА-ПРИЧИНА ЗА РАЗВОЈ НА СОВРЕМЕНИ МЕТОДИ ЗА НЕЈЗИНА ОБРАБОТКА

Кога се зборува за безбедноста на храната, може да се анализираат различни елементи и аспекти. Од нутритивен аспект, храната треба да содржи материи потребни за здравјето и благосостојбата на организмот, но истовремено, таа не смее да содржи токсини, пестициди, хемиски и физички загадувачи или да е контаминирана со патогени микроорганизми кои преку неа може да предизвикаат различни болести (Roberts, 2001).

Храната која се користи за исхрана на човекот може да се контаминира за време на сите фази во нејзиното создавање, па сè до нејзината крајна конзумација. Притоа, додека да стигне до крајниот потрошувач, најголем дел од храната се транспортира, се подготвува, се лади, се претоплува и стапува во контакт со голем број на индивидуи вклучени во нејзината обработка. Иако сите овие одделни стадиуми (обработка, пакување, дистрибуција, транспорт, малопродажба, складирање и употреба од страна на потрошувачот) вклучуваат висок степен на контрола, секогаш постои можност за нејзино повторно контаминирање (Gould, 1996).

Постојат голем број на фактори кои го зголемуваат овој ризик, а најчести се: денешното масовно производство, новите технологии за преработка, можноста за

долготрајно складирање, желбата да се продолжи рокот на траење што повеќе, како и промените во нејзината употреба во однос на сè почестата потреба и конзумација на готови оброци (Loaharanu, 2003; Erkmen & Bozoglu, 2016; Roberts, 2001).

Контаминацијата на храната генерално е предизвикана од раст и развој на различни микроорганизми во неа, кои предизвикуваат нејзина деструкција. Ако пред 50 години научниците познавале едвај четири до пет патогени видови расипувачи на храната, денес, тој број е многукратно зголемен. Така, контаминацијата и расипувањето на храната во поново време се поврзуваат со следниве причинители: (а) патогените бактерии: *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Bacillus cereus*, *Campylobacter jejuni*, *Clostridium botulinum*, *Clostridium perfringens*, *Staphylococcus aureus*, *Yersinia enterocolitica*, *Salmonella*, *Shigella* и *Vibrio sp.*, (б) токсикогените мувли: *Penicillium*, *Aspergillus* и *Byssochlamys*, (в) ентеротоксичните вируси: *Hepatitis A*, *Norwalk вирус* и *Rotavirus* и (г) протозоите: *Cryptosporium parvum*, *Cyclospora cayetanensis*, *Giardia lamblia* и *Toxoplasma gondii*. Како и сите други живи организми, така и овие видови постојано еволуираат и се менуваат, па се предвидува дека и нивниот број во иднина ќе расте и ќе се зголемува (Roberts, 2001; Erkmen & Bozoglu, 2016).

Долги години човештвото правело напори за пронаоѓање на начини за заштита на храната од овие нејзини расипувачи. Може да се набројат различни постапки применувани од дамнешни времиња па сè до денес (сушење, загревање, ферментирање, солење, пушење, пастеризација, конзервирање, замрзнување, чување во фрижидер, итн.), сите со заедничка цел да се подобри нејзиниот квалитет, квантитет и да се зачува нејзината безбедност (Gould, 1996; Loaharanu, 2003). Сепак, иако толку многу е направено на ова поле, болестите кои се пренесуваат преку храната сè уште претставуваат една од најголемите закани за човековото здравје. Тоа се должи на фактот што висок процент од суровата храна, особено таа од животинско потекло, е редовно контаминирана со патогени бактерии. Во таа насока и Експертскиот комитет на FAO и WHO (Joint FAO/WHO Expert Committee) констатирал дека болестите кои се пренесуваат преку храната, се причина за особено висок процент на болести во светот (WHO, 1998).

Ова не е единствениот проблем кога се зборува за контаминацијата на храната. Истовремено, тоа е и важна причина за намалена економска продуктивност на светско ниво, бидејќи, скоро една третина од храната (во светски размери) се губи поради

дејството на штетните микроорганизми во неа (WHO, 1998; Erkmen & Vozoglu, 2016). Како потврда на ова може да се наведе податокот дека во голем број земји, загубите на складирани житарици се проценети на најмалку 10 %, додека кај други видови храна, загубите достигнуваат и над 25 % (WHO, 1998; Anon, 1993; Elmadfa *et al.* 1999).

Неоспорен е фактот дека во последниве децении е направен значителен напредок во поглед на одржувањето на храната безбедна, особено од аспект на нејзината микробна контаминација, контаминацијата со пестициди и нивни остатоци, зголемената употреба на адитиви, хемиски загадувачи и биолошки токсини (Elmi, 2008). Но, истовремено е јасно дека успешноста на човештвото да се заштити од болестите кои се пренесуваат преку храната зависи и од развојот на сè подобри методи и технологии за нејзина преработка (Pillai, 2004).

Од тие причини, во постапките за обработка на храната, во последниве децении сè повеќе се истакнува третирањето на храната со јонизирачко зрачење. Во големиот број методи развиени во минатото, за ниту една од нив немало толку високи очекувања, но истовремено и толку изразено ниво на критицизам (Pillai, 2004). Тоа најмногу се должи на фактот што третирањето на храната со јонизирачко зрачење користи посебна форма на електромагнетна енергија (јонизирачка енергија) и поради тоа, најчесто се опишува како постапка во која се употребува јонизирачка радијација за да се намали популацијата на непожелни биолошки организми во храната или да се спречи нивниот развој (WHO, 1988; Miller, 2005).

Примената на јонизирачкото зрачење во третирањето на храната воглавно има за цел да обезбеди нејзино зачувување. Ова постепено станува широко прифатен, докажан и ефикасен третман за намалување на контаминацијата на бактерии во храната, забавување на расипувањето и одржување на нејзиниот квалитет. Тоа се должи на фактот што јонизирачкото зрачење ги деактивира организмите кои ја расипуваат храната и го продолжува нејзиниот рок на траење, контролирајќи ги нормалните биолошки процеси (зреење, созревање, 'ртење и стареење). Истовремено, јонизирачкото зрачење ги уништува и штетните инсекти, нивните ларви и јајца, без притоа да го промени квалитетот и сензорните карактеристики на храната. После ова, храната останува непроменета и во иста состојба каква што била и претходно (WHO, 1988; Loaharanu, 2003; www.iaea.org).

2.2. ИСТОРИСКИ РАЗВОЈ НА ТРЕТИРАЊЕТО НА ХРАНАТА СО ЈОНИЗИРАЧКО ЗРАЧЕЊЕ

Почетоците на третирањето на храната со јонизирачко зрачење се поврзани со откривањето на рендгенското зрачење од страна на Roentgen во 1895 година и радиоактивните материјали од страна на Becquerel во 1896 година. Овие откритија отвориле поле за големи научни проучувања на можните ефекти од овој тип на зрачење врз биолошките организми. Со тоа, во раните декади од 20 век станало јасно дека јонизирачкото зрачење може да има корисна употреба и во преработката и безбедноста на храната. Како резултат на обемни истражувања од тогаш до денес, создадена е светски прифатена технологија за третирање на храната, со бројни предности и ниски трошоци (Miller, 2005).

Првиот конкретен интерес за оваа метода бил забележан во Германија во 1896 година (Stewart, 2004a; Miller, 2005). Сепак, идејата дека храната може да се зачува доколку се изложи на рендгенски зраци, всушност ја предложил професорот Samuel C. Prescott, од Институтот за технологија во САД, во 1904 година (CAST, 1989). Во 1916 година, овој метод бил предложена и од страна на Министерството за земјоделство на САД, како ефикасен начин за уништување на деструктивниот штетник кај тутунот *Lasioderma serricorne* (Diehl, 1995).

Иако веќе и со првите експерименти се увидело дека јонизирачкото зрачење ги убива бактериите, наспроти големите надежи кои ги отворила оваа нова метода, долг период немало достапна технологија за развој на постојан, сигурен и економски извор на јонизирачко зрачење, во количества потребни за апликација во индустриски цели (WHO, 1988). Поради тоа, позначајни достигнувања на ова поле биле направени дури по завршувањето на Втората светска војна (Diehl, 1995).

Во 1940 година напредокот во две области го отворил патот за развој на достапен извор на јонизирачко зрачење за индустриска примена: (1) биле дизајнирани акцелераторите на електрони и (2) била откриена атомската фисија која продуцира фисиони производи, како што се: цезиум – 137 и кобалт – 60, кои се всушност извори на гама зрачење. Овие откритија го обновиле интересот за употребата на јонизирачкото зрачење во прехранбената индустрија, по што следеле бројни испитувања кои потврдиле дека тоа има потенцијал да стане моќно оружје за превенирање на загуби од

храна и болести кои се пренесуваат преку неа. Со тоа, понатамошните истражувања се насочиле кон развивање на нова, комерцијална постапка за зачувување на безбедноста на храната (Miller, 2005; WHO, 1988).

Се претпоставува дека најголемиот стимул за примена на јонизирачкото зрачење за зачувување на храната е направен од страна на армијата на САД, која започнала вакви активности во 1953 година. Во тој период, Центарот на војници на американската армија (Natick Soldier Center) експериментирал со зрачење на воени оброци, како можна замена за дотогашното конзервирање или замрзнување на месото (Diehl, 1995). Во периодот помеѓу 1953 – 1961 година, армијата на САД продолжила да ја проучува безбедноста на храната третирана со јонизирачко зрачење, испитувајќи 21 производ третиран на овој начин. Потоа, следеле и првите официјални одобренія дадени од страна на FDA (FDA) и USDA (USDA), и тоа во 1963 година за третирање на сланина, пченица и производи од пченица, а во 1964 година за третирање на компири (CAST, 1989). Паралелно со ова, Американската комисија за атомска енергија која исто така ја истражувала конструктивната употреба на зрачењето започнала да инсталира постројки за третирање на храната со јонизирачко зрачење, при што првите вакви уреди биле поставени на неколку универзитети, во Националната служба за рибарство и во Центарот за ентомолошки истражувања при Министерството за земјоделство на САД (Diehl, 1995).

Ваквите активности не биле ограничени само на територијата на САД. Во 1950 година вакви слични дејствија започнале во Кембриџ (Англија), а подоцна и во Белгија, Канада, Франција, Германија, Холандија, Полска и Советскиот Сојуз (WHO, 1994).

Според податоците кои ги наведува Goresline (1973), во 1966 година, 33 земји биле вклучени во истражувањето на ефектите кои ги има јонизирачкото зрачење врз храната, додека до 1972 година, нивниот број се зголемил на 55.

Во 1973 година, Јапонија била првата држава која започнала комерцијално да третира околу 10 000 тони компири месечно, со цел да го спречи нивното 'ртење за време на складирањето. Сепак најголемата операција на овој план била спроведена во поранешниот Советски Сојуз (на пристаништето во Едеса), каде годишно (почнувајќи од 1959 година) биле зрачени околу 400 000 тони увезени житарици со цел да се изврши нивна дезинсекција (CAST, 1989).

Особено значаен напредок на ова поле бил постигнат после 1970 година, кога оброците од различни видови месо кои им биле доставувани на астронаутите, почнале да се стерилизираат со јонизирачко зрачење. По ова, следеле голем број научни испитувања, развојни програми, критички анализи и бројни експерименти во различни институции, сите со иста цел: да се донесе одлука дали третирањето на храната со јонизирачко зрачење е безбедно за човековото здравје (Anon,1995; CAST, 1989).

2.3. РАЗВОЈ НА РЕГУЛАТИВАТА ЗА ТРЕТИРАЊЕ НА ХРАНАТА СО ЈОНИЗИРАЧКО ЗРАЧЕЊЕ

Иако третирањето на храната со јонизирачко зрачење е испитувано многу повеќе од било која друга технологија во прехранбената индустрија (Diehl, 1995; Pillai, 2004; WHO, 1994), сепак односот на националните здравствени власти кон храната третирана со јонизирачко зрачење долго време бил под силно влијание на мислењата и изјавите на водечките меѓународни тела: Организацијата за храна и земјоделство (FAO), Меѓународната агенција за атомска енергија (IAEA) и Светската здравствена организација (WHO) (Diehl, 1979). Потребен бил долг временски период овие тела да постигнат усогласен став во однос на ова прашање, кое наметнувало бројни дилеми и нејаснотии.

Почетоците во развојот на законската регулатива започнале со одржување на Првата меѓународна конференција за употреба на атомската енергија, во 1955 година, во Женева, под покровителство на Обединетите Нации. Следната година, Организацијата за храна и земјоделство (FAO) основала посебна Агенција за атомска енергија во Рим, која имала за цел да им помага на земјите кои го користат јонизирачкото зрачење со цел намалување на загубите на храна (CAST, 1989).

Првиот меѓународен состанок посветен исклучиво на научните податоци поврзани со безбедноста на храната третирана со јонизирачко зрачење бил одржан во Брисел во 1961 година. На него присуствувале претставници од 28 земји, при што иако резултатите од бројните студии презентирани од повеќето земји биле позитивни, било заклучено дека сè уште е рано да се одобри третирање на храната со јонизирачко зрачење во индустриски цели. Сепак, било договорено формирање на експертски

комитет на FAO/IAEA/WHO, кој би давал совети и препораки за оваа проблематика (WHO, 1988). Така, во 1964 година бил оформен Заедничкиот експертски комитет (Joint FAO/IAEA/WHO) со седиште во Виена, кој работел на темите поврзани со безбедното конзумирање на храната третирана со јонизирачко зрачење (CAST, 1989).

Прв конкретен заеднички став околу безбедноста на храната третирана со јонизирачко зрачење, овие три меѓународни тела усогласиле во 1964 година, после прегледани бројни студии за ефектите од употребата на третираната храна врз животни и човечки волонтери. Заклучокот гласел: “зрачењето на храната во согласност со процедурите што треба да се следат во праксата, не даде индикации за несакани ефекти од било каков вид и нема докази дека хранливата вредност на зрачената храна е засегната на било каков начин”. Со ова, Експертскиот комитет одобрил регулаторна контрола на храната третирана со јонизирачко зрачење, како и списоци со производи за кои ваквото третирање се дозволува. Биле предложени и тестови за проценка на безбедноста од конзумирањето на зрачени прехранбени производи, слични на оние кои што се користат за проценка на конвенционалните адитиви за храна (WHO, 1988).

Во 1969 година, Експертскиот комитет дозволил „привремено прифаќање“ на компири, пченица и производи од пченица третирани со јонизирачко зрачење. „Привремената“ природа на прифаќањата значела дека тогашните достапни податоци сепак биле недоволни за целосно утврдување на нивната безбедност и дека биле потребни дополнителни докази. Подоцна, во 1976 година, зрачената пченица и компири добиле „безусловно прифаќање“, додека други производи добиле „привремено прифаќање“. Во годините кои следувале, бројот на производи за кои се дозволувало третирање со јонизирачко зрачење сè повеќе се зголемувал.

Позитивниот став на Експертскиот комитет (JECFI) кон храната третирана со јонизирачко зрачење и натамошните насоки дадени за дополнителни проценки на нејзината безбедност, имале одлучувачко влијание врз меѓународните случувања на ова поле. На тој начин се отворил патот кон забрзано воведување на оваа метода во многу земји во светот (Diehl, 1979; WHO, 1988). Сето ова ги интензивирало и научните истражувања за безбедноста на третираната храна, па врз основа на голем број научни студии, Организацијата за храна и земјоделство (FAO), Меѓународната агенција за атомска енергија (IAEA) и Светската здравствена организација (WHO) во нивниот

извештај од 1981 година истакнале дека: „секоја храна доколку е третирана со јонизирачко зрачење со/до максимална доза од 10 kGy се смета за безбедна и корисна“.

Како резултат на ваквиот извештај, во 1983 година Комисијата на Codex Alimentarius (CAC) ги прифатила препораките дадени од страна на Експертскиот комитет (JECFI), по што е донесен Општ стандард за храна третирана со јонизирачко зрачење (General Standard for Irradiated Foods). Во 1984 година е усвоен и Препорачан меѓународен кодекс за работа со радијациони објекти што се користат за третман на храната со јонизирачки зраци (Code for Operation of Radiation Facilities). Конечно, во 1998 година, Научниот комитет за храна (Scientific Committee on Food-SCF) дал поволно мислење за озрачување на голем број прехранбени производи, но со посебно предупредување дека „третирањето на храната со јонизирачко зрачење не смее да се користи за покривање на небрежност при ракување со прехранбените производи, ниту за маскирање на нивната несоодветност за употреба како храна“ (European commission, 2003).

Во периодот кој следел се наметнала потреба од зголемување на дозволената доза за третирање на одредени производи, па во 1997 година, Заедничкиот експертски комитет (Joint FAO/IAEA/WHO) ја разгледувал и потребата од тоа. Ова било последица на сознанијата дека зачините се толку многу контаминирани со микроорганизми, што е неопходно зголемување на дозволената доза. Поради тоа, било констатирано дека третирањето на храната со јонизирачко зрачење може да се врши со сите потребни дози, сè додека е неопходно, безбедно и ги исполнува нутритивните барања. Врз основа на ова, Генералниот стандард за озрачена храна во 2000 година бил ревидиран, а Експертскиот комитет (JECFI) заклучил дека „храната може да се озрачува до било која доза, доколку истата е соодветна за да се постигне предвидената технолошката цел, а храната е безбедна за конзумирање и нутритивно соодветна“.

Ваквиот заклучок бил заснован врз обемни научни докази кои укажувале дека ова може ефикасно да се искористи и за елиминација на спорите на протеолитичките соеви на *Clostridium botulinum*, како и на другите микроорганизми кои ја расипуваат храната. На тој начин, било утврдено дека не треба да се наметнува горна граница на дозата за зрачење и соодветно на тоа, озрачената храна се смета за добра во целиот опсег на технолошки корисните дози (од под 10 kGy до над 10 kGy) (FAO, 2003).

Досега САД се лидери во поглед на третирањето на храната со јонизирачко зрачење и оваа метода во тамошната регулатива има третман како додаток на храната. Согласно тамошните регулативи, третирањето на храната со јонизирачко зрачење е одобрено од страна на Агенцијата за храна и лекови (FDA), но третирање на секој нов тип на храна се одобрува одделно, со специфично и посебно ниво на одредување на вредностите на дозата на зрачење. Причината за големиот број на производи кои се третираат со јонизирачко зрачење во САД се бројните и чести епидемии со патогени бактерии, особено со бактериите *E.coli O157:H7* и *Listeria monocytogenes* (Roberts, 2001).

Во земјите членки на Европската унија, третирањето на храната со јонизирачко зрачење е регулирано со две директиви: 1999/2/ЕС и 1999/3/ЕС, кои се во рамките на Европската легислатива L66/16-25 (1999).

Директивата 1999/2/ЕС им наложува на земјите членки на ЕУ да ги обезбедат сите потребни услови со кои ќе се осигура користењето на храната третирана со јонизирачко зрачење, само доколку таа ги исполнува условите наведени во оваа директива. Истовремено, третирањето на храната на овој начин, мора да се врши во овластени објекти, за кои ќе постои посебен надзор и контрола, која покажува дали се исполнети барањата дадени од страна на FAO/WHO/CAC. Истовремено, земјите членки на ЕУ се обврзани да доставуваат годишен извештај за видот и количеството на производи кои се третирани со јонизирачко зрачење, како и за методите кои се користени.

Директивата 1999/3/ЕС предлага листа на производи или состојки за храна врз кои се дозволува третман со јонизирачко зрачење, како и максималните дози кои би можеле да се користат за тоа. Оваа директива дозволува третирање на суви ароматични растенија, зачини и зачински растенија со максимална доза од 10 kGy, бидејќи тие се најчесто контаминирани со микроорганизми или нивни метаболити кои се штетни за човековото здравје (<https://eur-lex.europa.eu>).

Во Р.С.Македонија, врз основа на член 8 став 1 од Законот за безбедност на храната и на производите и материјалите што доаѓаат во контакт со храната, постои Правилник за посебните барања за безбедност на храната произведена со јонизирачко зрачење (Службен весник бр. 54/2002 и 84/2007). Согласно овој Правилник одобрено е третирање на суви растенија, зачини и зеленчуци за зачини, со јонизирачко зрачење со

максимална вредност на вкупната средна апсорбирана доза од 10 kGy. Ваквата постапка може да се врши доколку има оправдана технолошка потреба, доколку е корисна и не претставува опасност по здравјето на луѓето, доколку се спроведува според точно определени услови и доколку не се употребува како замена за добрата производна или земјоделска пракса. Според член 6 од овој правилник, третирањето на храната со јонизирачко зрачење може да се примени со цел уништување на патогените микроорганизми, намалување на заболувања поврзани со храната, намалување на загуби на храна, предвремено зреење, 'ртење или проникнување на некои растителни производи, како и поради отстранување на организмите кои се штетни за растенијата и растителните производи (Службен весник на Република Македонија, бр. 63/2014).

Сепак, и покрај ваквата долгогодишна активност на овој план, може да се констатира дека сè уште постојат значителни празнини во однос на законската легислатива и потреба од развој на „генерички третмани“ против различните категории штетници кои се широко распространети. Со тоа ќе се дадат нови опции за заштита на земјоделското производство и ќе се отворат нови патишта за зголемена трговија на светско ниво (www.iaea.org).

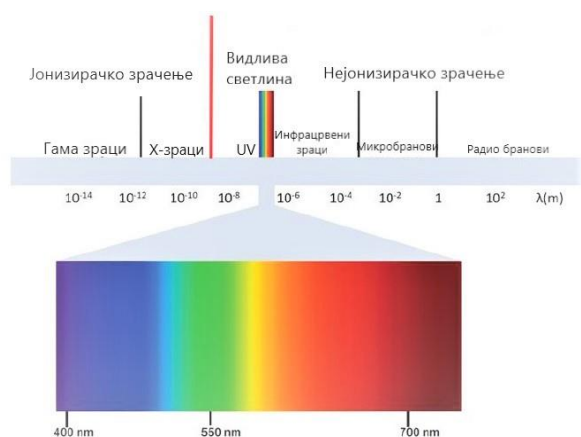
2.4. ВИДОВИ НА ЈОНИЗИРАЧКО ЗРАЧЕЊЕ И ИЗВОРИ

Согласно Codex Alimentarius, како и според Експертскиот комитет за безбедност на храната третирана со јонизирачко зрачење (Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee on Wholesomeness of Irradiated Food), за третирање на храната можат да се користат три видови на јонизирачко зрачење:

- високо енергетско гама зрачење кое е продукт на радиоактивни материјали наречени радионуклиди со енергија од 1.17 и 1.33 MeV (^{60}Co) и 0.662 MeV (^{137}Cs);
- брзи електрони кои настануваат во акцелератори и чија енергија не надминува 10 MeV;
- X-зраци кои се создаваат во акцелератори и чија енергија не надминува 5 MeV.

Сепак, не се сите видови јонизирачко зрачење адекватни за употреба, бидејќи или не продираат доволно во материјалот кој се третира или нивната употреба и примена е мошне скапа (Diehl, 1995; Riganakos, 2010).

Гама зраците и X зраците се дел од електромагнетниот спектар, заедно со радиобрановите, микробрановите, УВ зраците и зраците на видливата светлина (Слика 1). Тие спаѓаат во зраци со кратка бранова должина кои може да продраат во храната до длабочина од неколку десетици центиметри (Riganakos, 2010).



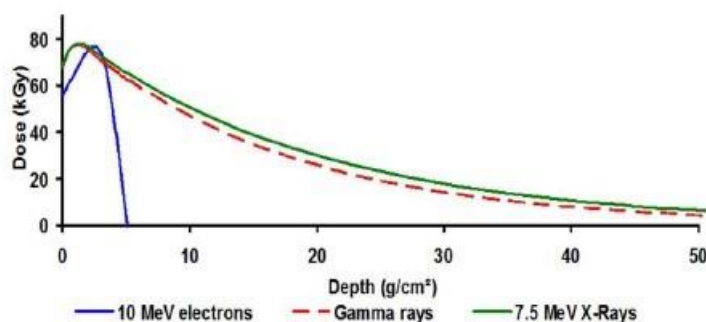
Слика 1. Електромагнетен енергетски спектар (Извор: Munir & Federighi, 2020)

Со споредба на гама зрачењето и зрачењето во микробрановите печки, потврдено е дека гама зраците се значително помоќни, имаат пократка бранова должина, повисока фреквенција и пенетрираат во храната многу брзо, пришто не создаваат скоро никаква или едвај минимална топлина. Наспроти ова, зраците во микробрановите печки мошне брзо ја загреваат храната создавајќи голема топлина, па поради ова, третирањето на храната со гама зрачење најчесто се споредува со постапката за ладна пастеризација (Roberts, 1998).

Првичните испитувања за третирање на храната со јонизирачко зрачење биле направени всушност со извори на X-зраци (WHO, 1988). Овие зраци се создаваат кога електрони со доволно висока кинетичка енергија и голема брзина удираат во метален таргет, предизвикувајќи емисија на X-зраци. X зраците имаат поголема продорна моќ и пенетрираат подлабоко во материјата (CAST, 1998), но испитувањата покажале дека нивната употреба за индустриски цели е доста скапа (WHO, 1988). Поради тоа, X-зраците денес повремено се користат во лабораториски експериментални цели и скоро никогаш не се употребуваат за третирање на храната (Diehl, 1995).

Ова покажува дека главен услов за употреба на јонизирачкото зрачење во индустриски цели е првенствено економичен извор на јонизирачка енергија, па поради тоа, денес се достапни два типа извори на јонизирачко зрачење: акцелератори на електрони и радионуклиди (WHO, 1988).

Електронските акцелератори за комерцијална употреба станале достапни во 1950 година и од тогаш до денес, достигнале подобрен дизајн. Со нив се стерилизираат медицински материјали, материјали за пакување, а се користат и за радиотерапија (Diehl, 1995). Овие уреди продуцираат снопови од брзи електрони, кои може да се користат за мошне ефтино третирање на храната, но тие пенетрираат во храната единствено до максимална длабочина од 3,8 cm. Тоа не е доволно да се постигнат потребните ефекти, па поради тоа тие се погодни единствено за третирање на жита или добиточна храна, која може да се обработи во тенки слоеви (Diehl, 1995; WHO, 1988; Roberts, 2001).



Слика 2. Разлики во длабочината на продирање на јонизирачките зраци (Извор: IAEA, 2015)

Радионуклидите направени од страна на човекот се радиоактивни материи, кои паралелно со своето распаѓање, оддаваат гама зрачење, кое потоа може да се употреби за третирање на храната. Ова гама зрачење е претставено со високо енергетски фотони, продуцирани со спонтани дезинтеграции на радионуклидите, а неговата главна предност е високата пенетрирачка моќ. Истовремено, бидејќи гама зраците не ги активираат неутроните, храната која е третирана со нив не е радиоактивна. Всушност, гама зраците и X-зраците се идентични во однос на нивните физички карактеристики и ефектот врз материјата, а единствено се разликуваат по своето потекло (Diehl, 1995).

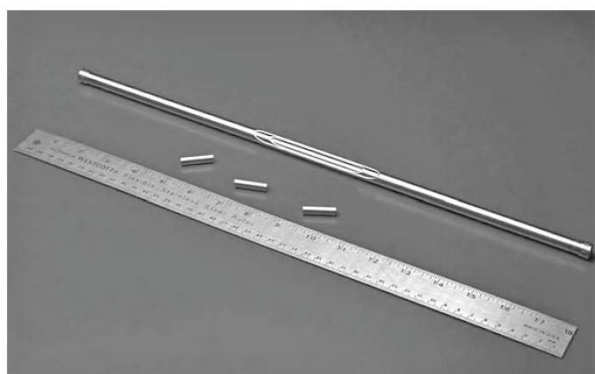
Денес се користат два радионуклиди кои продуцираат гама зрачење: кобалт-60 (^{60}Co) и цезиум-137 (^{137}Cs). Гама зрачењето и од двата радионуклиди е способно да пенетрира доволно длабоко во материјата за да ги исполнат сите барања кои ги има

оваа постапка, при што трошоците за негова употреба се сметаат за прифатливи во индустриски цели (WHO, 1988).

Кобалт-60 (^{60}Co) е радионуклид кој е лесно достапен во големи количини. Достапноста пак на другиот радионуклид, цезиум-137 (^{137}Cs), кој е нус производ на операциите во нуклеарните реактори, е ограничена и тој поради тоа не се користи многу за оваа намена (WHO, 1988; Diehl, 1995). Затоа, најчесто применуван радионуклид денес е кобалт-60, кој се добива со изложување на природниот кобалт-59 на неутрони во нуклеарен реактор (Diehl, 1995). Иако вообичаено се употребува за стерилизација на медицински продукти за еднократна употреба, овој радионуклид е мошне корисен и за третирање на козметички производи, пакувања за храна, како и храна од типот на овошје, зачини, живина и мелено месо.

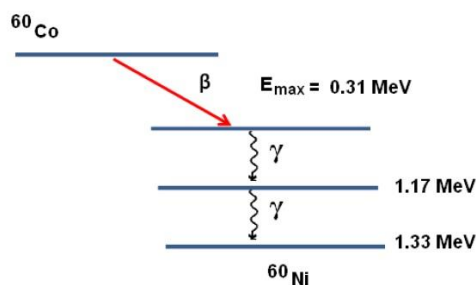
Во процесот на своето радиоактивно распаѓање, ^{60}Co емитува два вида на гама зраци со приближна енергија од 1,17 MeV и 1,33 MeV, кои се одговорни за ефикасноста на гама зрачењето. Истовремено, овој радионуклид емитува и ниско-енергетски електрони со максимална енергија од 0.3 MeV (O'Hara, 2013).

^{60}Co е достапен во облик нерастворлив во вода, па поради тоа претставува минимална опасност за околината. За јонизациски цели, се изработува во облик на активирани пелети од кобалт, кои се инкапсулирани во челични ленти, во форма на пенкало или игла, со должина од 450 mm и дијаметар од 12,5 mm (Diehl, 1995) (Слика 3). Активноста на една лента е околу 14,25 kCi, при што секоја лента има различна гама моќ, која зависи од нејзината старост. Главни комерцијални добавувачи на инкапсулиран ^{60}Co се компаниите MDS Nordion од Канада и REVISS од Обединето Кралство (Riganakos, 2010).



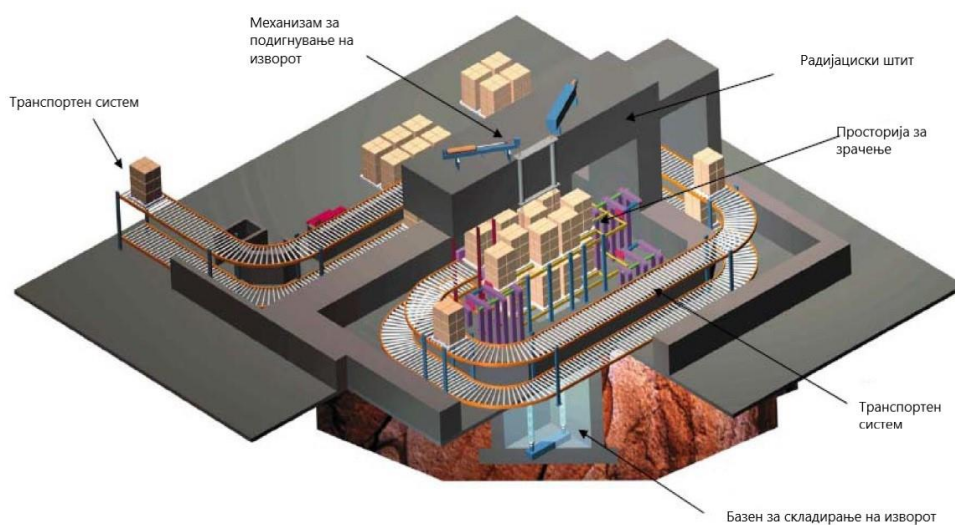
Слика 3. Изглед на кобалтни пенкала (Извор: Fan & Sommers, 2013)

Со период на полураспаѓање од 5,27 години и емисија на гама зрачење од (1,17 MeV и 1,33 MeV) и бета радијација (0,31 MeV), ^{60}Co се претвора во стабилен никел (^{60}Ni). Тоа настанува така што нестабилното јадро на ^{60}Co емитува фотони претворајќи се во ^{60}Ni (Слика 4) (Kaplan, 1955; Diehl, 1995).



Слика 4. Распаѓање на ^{60}Co (Извор: Adrović, 2012)

Кога се користи за комерцијални цели за третирање на храната, ^{60}Co е вграден во постројки наречени гама озрачувачи. Гама озрачувачот всушност претставува просторија во која е сместен изворот на гама зрачење. Типичниот гама озрачувач за третирање на храната ги содржи следните делови: радијациски штит со дебели бетонски ѕидови од две метра, базен со вода за складирање на изворот на зрачење, автоматски контролни и безбедносни системи и транспортен систем кој го внесува и изнесува производот кој се третира (Слика 5) (Diehl, 1995; O'Hara, 2013).



Слика 5. Индустриски гама озрачувач наменет за третирање на хранливи производи (Извор: MDS Nordion)

Првиот гама озрачувач бил конструиран во 1950 година и концептот за него останал ист до денес. До 1991 година биле инсталирани 170 гама озрачувачи во 45 држави, наменети воглавно за радијациска стерилизација на медицински помагала за еднократна употреба (Diehl, 1995; IAEA, 2015).

Основна карактеристика на гама озрачувачите е каков тип на радионуклид користат (^{60}Co или ^{137}Cs). Денес најчести се озрачувачите кои користат ^{60}Co , вметнат во запечатени метални цевки (“пенкала”), поставени на метална решетка која се нарекува извор на зрачење (IAEA, 2015) (Слика 6).



Слика 6. Изглед на изворот на зрачење во гама озрачувачот (Извор: IAEA, 2015)

Кога гама озрачувачот е активен, изворот на зрачење се подигнува од базенот со вода и се поставува помеѓу производите кои се третираат со зрачење. Дебелите бетонски ѕидови елиминираат било какво зрачење надвор од просторијата и затоа се наречени биолошки штит (Riganakos, 2010). Кога не се употребува за зрачење или кога персоналот е во просторијата, изворот на зрачење е спуштен на дното од базенот, на длабочина од околу 6-8 метри, каде што водата ја апсорбира енергијата на јонизирачкото зрачење (Roberts, 1998; IAEA, 2015).

Со цел да се минимизира можната корозија на кобалтните пенкала или на капсулите од цезиум, водата во базенот постојано рециркулира со помош на

дејонизатор, до кого има вграден чувствителен мерач на радиоактивност, кој може да детектира било каков случај на радијација (Diehl, 1995).

Важна карактеристика на гама озрачувачите е нивната активност, која се изразува во единица бекерел (Bq), што означува број на радиоактивни распади во секунда. Често пати за оваа намена се користи и единицата кири (Ci) при што $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$. Бидејќи радионуклидите во гама озрачувачот постојано се распаѓаат, нивната активност константно се менува (IAEA, 2015).

Најголемиот број гама озрачувачи имаат капацитет да третираат широк распон на производи и тоа со различни дози на зрачење. Тие се дизајнирани да обезбедат абсорбирана доза во самиот продукт, во рамките на дозволената максимална и минимална доза, согласно спецификациите на производот и регулаторните барања (O'Hara, 2013). Притоа, продуктите може да се третираат во нивното оригинално пакување, во посебни кутии или наредени во палети кои се транспортираат со помош на подвижни ваљаци (IAEA, 2015).

Главен критериум при изведбата на гама озрачувачите е радијациската безбедност и безбедноста при работењето. Ова значи дека било која абнормална појава како на пример: прекин на електрична енергија, заглавен транспорт, аларм за пожар или откажување на некој дел од системот, предизвикува автоматско спуштање на изворот на зрачење на дното на базенот и прекинување на зрачењето (IAEA, 2015). И покрај тоа, изведбата на постројките за зрачење често пати наметнува отпор кај потрошувачите кон третирањето на храната со кобалт-60, кој се заснова на погрешна констатација дека при зрачењето се создава радиоактивен отпад. Тоа е сосема неточно, поради фактот што кобалт-60 се конвертира во нерадиоактивен стабилен никел, додека цезиум-137 во нерадиоактивен бариум. На тој начин, ниту деловите од постројките за зрачење, ниту водата во која е потопен изворот, не се, ниту пак може да станат радиоактивни. На тој начин, доколку од било која причина гама озрачувачите треба да се затворат, нема да се појави никаков проблем со постоење на радиоактивен отпад. Истовремено и транспортот на ^{60}Co и ^{137}Cs од нивниот производител до корисниците се врши со посебни мерки на претпазливост, во челични буриња, дизајнирани да издржат сериозни сообраќајни незгоди, оган и други евентуални катастрофи (Wilson, 1974; Diehl, 1995).

2.5. ЕФЕКТИ НА ЈОНИЗИРАЧКОТО ЗРАЧЕЊЕ

2.5.1. ФИЗИЧКО-ХЕМИСКИ ЕФЕКТИ НА ЈОНИЗИРАЧКОТО ЗРАЧЕЊЕ

Јонизирачкото зрачење може да се дефинира како зрачење кое содржи доволно енергија за да предизвика формирање на јони, т.е. исфрлање на електрони од атомите (Diehl, 1995). Иако постојат многу форми на зрачење, само високо-енергетско зрачење (како што е јонизирачкото) може да продуцира јони или наелектризирани честички, откако ќе биде апсорбирано од страна на материјата (WHO, 1994).

Јонизирачкото зрачење е всушност енергија која патува во форма на електромагнетни бранови (гама или X-зраци), продира во храната и предизвикува низа ефекти. Овие ефекти може да се поделат на примарни и секундарни ефекти. Примарните се реакции од типот на јонизација, дисоцијација и екситација, бидејќи апсорбираната јонизирачка енергија од страна на молекулите на храната, предизвикува раскинување на постоечките хемиски врски. Секундарните ефекти пак се должат на создавање на високо реактивни слободни радикали, кои потоа предизвикуваат голем број на реакции како: рекомбинација, димеризација, задржување на електрони или создавање на дотогаш нови, непостоечки соединенија (радиолитички продукти). Слободните радикали создадени при овој процес се многу реактивни, но и многу краткотрајни, така што не можат да се детектираат во храната дури ни веднаш откако таа ќе биде озрачена. Но, токму на дејството на овие слободни радикали, отпаѓаат најголем дел од ефектите на јонизирачкото зрачење врз храната, а тие се: сузбивање на патогените бактерии, продолжување на нејзиниот рок на траење, стерилизација, итн. (CAST, 1986; WHO, 1994).

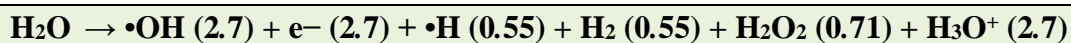
Конкретно, кога дадена материја се изложува на јонизирачка енергија, иницијалниот ефект се однесува на нејзините атоми, при што бројот на настанати реакции ќе зависи од количеството на јонизирачка енергија. Притоа, атомите од материјата изложена на јонизирачко зрачење може да претрпат две различни промени: или дел од нивните електрони да се преместат во повисоки енергетски состојби (екситација) или да изгубат електрони, по што стануваат наелектризирани атоми (јонизација). Со оглед на фактот што овие изменети атоми може да бидат дел од некоја молекула, ова истовремено доведува и до создавање на возбудени (екситирани) молекули (Miller, 2005).

Вообичаено, првиот ефект на јонизирачкото зрачење е создавање на екситирани молекули кои потоа можат да се деекситуираат или да примат дополнителна енергија, која ќе предизвика нивна дисоцијација или јонизација. Ваквите модификации кај атомите и молекулите се познати како примарни или директни ефекти од јонизирачкото зрачење. Како што ќе се зголемува количеството на апсорбирана енергија, хемиските врски ќе почнат да се кинат, што ќе доведе до создавање на нови соединенија или наелектризирани слободни радикали. Во зависност од карактеристиките на храната и бројни други фактори, овие нови соединенија ќе почнат да реагираат помеѓу себе или со други соседни молекули, кои примарно не биле променети од дејството на јонизирачкото зрачење. Новодобиените производи, потоа ќе можат и сами да стапуваат во реакција со претходно споменатите слободни радикали (Wilson, 1974; Fan, 2013; Fernandes *et al.*, 2018; Diel, 2002; WHO, 2004). Слободните радикали создадени на овој начин, содржат неспарен електрон па поради тоа се исклучително реактивни и понатаму предизвикуваат бројни дополнителни реакции. Сите овие реакции се таканаречени секундарни или индиректни ефекти на јонизирачкото зрачење, за кои е потврдено дека претставуваат дури 70% од вкупните ефекти на јонизирачкото зрачење (Wilson, 1974; Fan, 2013; Fernandes *et al.*, 2018; Diel, 2002; WHO, 2004).

Јонизирачкото зрачење не е селективно и може да стапи во интеракција со секоја молекула до која ќе стигне и да ја доведе до јонизирана или екситирана состојба. Штом ова зрачење ќе продре во материјата, неговата енергија се губи како последица на веќе опишаната интеракција со електроните во атомите и молекулите (Wilson, 1974). Притоа, додека примарните ефекти од јонизирачкото зрачење се во принцип неспецифични, секундарните ефекти ќе зависат првенствено од хемиската структура, природата и концентрацијата на состојките на материјата која е изложена на ваква енергија (WHO, 2004).

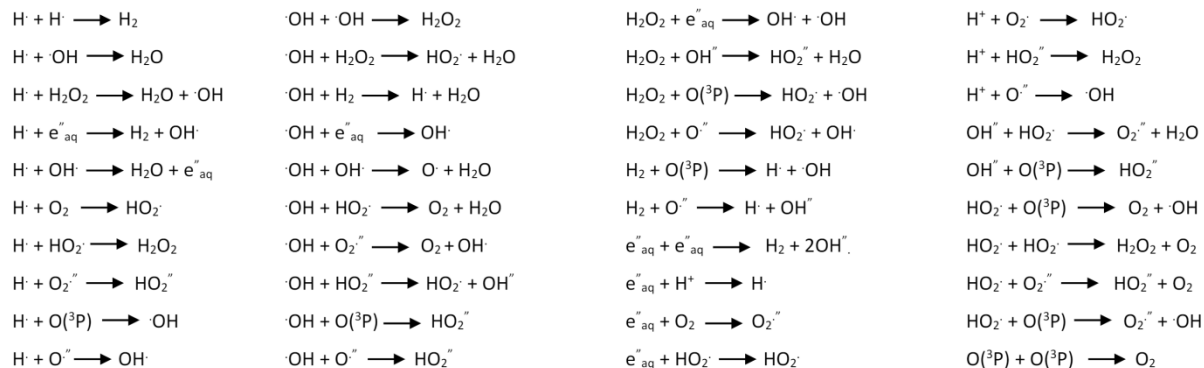
Ефектот кој го предизвикува јонизирачкото зрачење кога поминува низ материјата најдобро може да се прикаже преку молекулата на водата. Бидејќи водата е главна компонента во најголем дел хранливи состојки, особено во свежата храна, месото и месните продукти, нејзината радиолиза игра главна улога и најголем број промени предизвикани од јонизирачкото зрачење се токму последица на овој процес.

Според Miller (2005), радиолизата на водата сумарно се претставува со следната равенка:



Од равенката може да се забележи големиот број на добиени продукти, од кои секој поединечно може да стапува во реакции со останатите компоненти во храната (WHO, 2004). Од овие продукти, исклучително реактивни кон останатите компоненти во храната се неколку: хидроксилниот радикал ($\bullet\text{OH}$), хидрираниот електрон (e^-) и водороден радикалот ($\bullet\text{H}$). Бидејќи хидроксилниот радикал ($\bullet\text{OH}$) е силен оксидирачки агент, а хидрираниот електрон (e^-) е силен редуцирачки агент, радиолизата на водата предизвикува низа понатамошни оксидо-редукциски реакции во храната, кои се прикажани во Табела 1 (Miller, 2005; NASA, 2010).

Табела 1. Приказ на реакциите кои настануваат со радиолиза на водата (Извор: NASA, 2010).

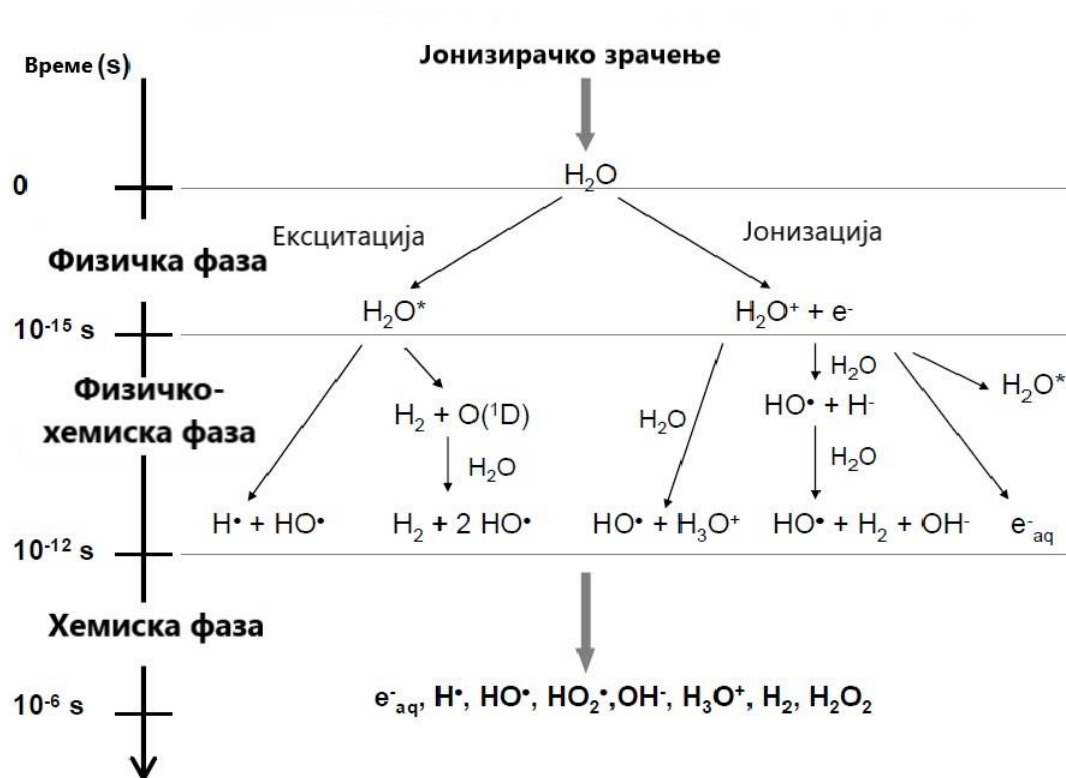


Според поновите испитувања, радиолизата на водата се одвива во 3 фази, од кои секоја трае временски различно: физичка фаза ($< 10^{-15}$ s), физичко-хемиска фаза (10^{-15} - 10^{-12} s) и хемиска фаза (10^{-12} - 10^{-6} s). Овие фази и нивните производи се прикажани на Слика 7. Притоа, во првата (физичката) фаза, материјата го апсорбира јонизирачкото зрачење при што се создаваат: јонизиран молекул на вода (H_2O^+), екситиран молекул на вода (H_2O^*) и електрон (e^-).

Во втората (физичко-хемиска фаза), јонизираниот и екситираниот молекул на водата стапуваат во низа хемиски реакции, при што главни продукти се хидроксилен

радикал ($\bullet\text{OH}$), водороден радикал ($\bullet\text{H}$), водороден молекул (H_2) и хидриран електрон (e_{aq}^-).

Конечно во третата (хемиска) фаза, овие соединенија збогатени со водороден пероксид (H_2O_2) се создаваат во големи количества и дифундираат во материјата реагирајќи со други соседни молекули или повторно меѓусебно (Le Caer, 2011; Miller, 2005).



Слика 7. Шема за радиолита на водата (Извор: Le Caer, 2011)

Ефектите од радиолитата на водата зависат првенствено од апсорбираната доза (количеството на енергија што е апсорбирана по единица маса материјал). Поради тоа не е за изненадување што макроскопските ефекти од радиолитата на водата во принцип не се набљудуваат, освен во случаите кога апсорбираната доза е многу голема (Miller, 2005).

2.5.2. ЕФЕКТИ НА ЈОНИЗИРАЧКОТО ЗРАЧЕЊЕ ВРЗ БИОЛОШКИТЕ ОРГАНИЗМИ

Организмите кои се од примарен интерес за зачувување на безбедноста на храната се бактериите, квасците, мувлите, вирусите, разните паразити, инсекти и грини. Сите тие имаат своја конкретна улога во однос на безбедноста на храната. Така на пример, квасците и мувлите можат да бидат особено опасни поради отровните токсини што ги произведуваат. Вирусите иако не се развиваат во храната, можат да се пренесат преку неа, како што е случај со инфективните вируси на хепатитис и полиомиелитис кои се пренесуваат преку сурово млеко и контаминирани школки. Инсектите, грините и другите слични штетници се одговорни за значителни загуби кај свежите производи и житата, а истовремено можат да послужат и како вектори за пренесување патогени паразити и бактерии. Постојат и многу други паразити, особено протозои, тении и прстенести црви, кои иако не се развиваат во храната, сепак се одговорни за бројни болести пренесени преку неа (Miller, 2005).

Третирањето на храната со јонизирачко зрачење се покажало како мошне ефикасен метод за уништување на овие штетници. Иако дозите на зрачење одобрени за третирање на храната се до 10 kGy и не се доволни да ги уништат сите микроорганизми кои може да се присутни во неа, тие се сосема доволни за да предизвикаат значителна редукција на бројот и разновидноста на овие микроорганизми (WHO, 1994).

Дејството на јонизирачкото зрачење врз клетките на биолошките организми присутни во храната е јасно опишано од страна на Ibarz (2008). Според него, во клетките кои се третирани со јонизирачко зрачење се предизвикуваат два вида оштетувања: формирање на токсични соединенија или генетско оштетување. Ова се должи на фактот што кога дадена клетка е озрачена, зрачењето врз неа може да делува на два начини: директно (на нејзиниот генетски материјал и на нејзините макромолекули) или индиректно (врз водата содржана во клетката или преку реакции на јонизираните молекули со околната материја). Се смета дека сето ова всушност се одвива во три различни фази: физичка, хемиска и биохемиска фаза. Во првата, физичката фаза (10^{-15} до 10^{-17} s) зрачењето стапува во интеракција со материјата во клетката и може да ги возбуди или ги јонизира нејзините атоми. Во втората, хемиската фаза (10^{-12} s) се формираат слободни радикали, додека во последната (молекуларна или биохемиска фаза), слободните радикали се рекомбинираат и формираат различни нови радиолитички продукти.

Овие нови молекули можат да бидат токсични или штетни за клетката и нивното присуство ја поттикнува клетката да ги активира сопствените механизми за репарација. Притоа можни се следните ситуации:

- (а) клеточна смрт, доколку количеството на произведени токсични радиолитички продукти е многу големо;
- (б) преживување на клетката, без можност за понатамошна клеточна репродукција т.е репродуктивна инсуфициенција;
- (в) репарација на генетските оштетувања и задржување на можноста за клеточна репродукција, но со бројни мутации, кои ќе се пренесуваат на следните генерации (Ibarz, 2008).

Во принцип, во клетките постојат нормални биохемиски и физиолошки процеси како што се на пример, β -оксидацијата на масните киселини, транспортот на електрони и други, кои се ендогени извори на слободни радикали. За да се заштитат од нивното дејство, клетките поседуваат свои природни одбранбени механизми кои ги вклучуваат во таков случај. Такви се на пример, активацијата на ензимот супероксид дисмутаза (SOD), молекулите со дејство на антиоксиданси (витамин С, глутатион) и некои други реакции за таа намена. Сепак за клетките, јонизирачкото зрачење претставува егзоген извор на вакви слободни радикали, бидејќи ги создава надвор од нормалните биолошки процеси и овие соединенија предизвикуваат силен клеточен оксидативен стрес. Тоа особено се должи на најреактивниот од сите - хидроксилниот радикал ($\bullet\text{OH}$), кој исклучително брзо реагира со молекулите на протеините, липидите и нуклеински киселини во клетката (NASA, 2010).

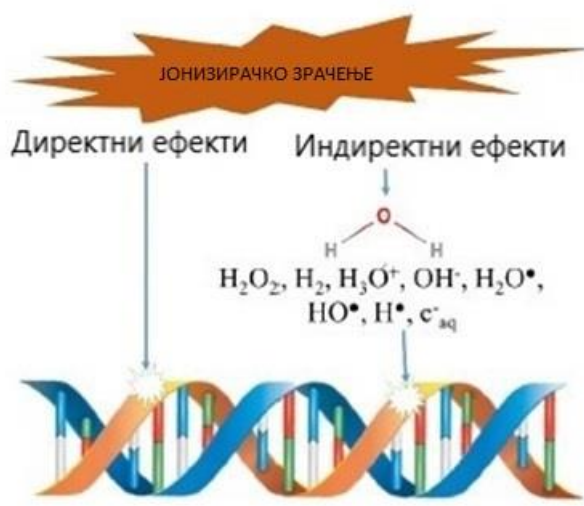
Поголемиот број испитувања покажале дека јонизирачкото зрачење ги уништува биолошките организми првенствено преку оштетување на нивниот генетски материјал т.е двојната спирала на DNA или нивната RNA (Pillai, 2004). Истовремено постојат сознанија дека и радијациското оштетување на протеините кои се конјугирани за DNA има големо значење за виталноста на биолошките организми (Garrison, 1985).

Тоа се должи на фактот што апсорбираното јонизирачко зрачење предизвикува јонизација и екситација на биомолекулите на DNA, RNA и протеините, но сепак, главниот биолошки ефект е нарушувањето на молекулата на DNA. До ова сознание се дошло при испитување на селективното дејство на јонизирачкото зрачење врз одделните клеточните органели, при што се утврдило дека токму јадрото е

најосетливиот дел од клетката. Ваквото откритие било предвесник на фактот дека јадрената DNA е веројатно најкритичната таргет молекула, па поради тоа, најголемиот дел од истражувањата за ефектите на јонизирачкото зрачење врз биолошките организми се фокусирале токму на нејзините промени (NASA, 2010).

Сензитивноста на DNA молекулата кога е изложена на јонизирачко зрачење се должи на нејзината структурна организација, која всушност и го овозможува овој феномен. Имено, двојната спирала на DNA составена од две полинуклеотидни низи изградени од молекули на деоксирибоза, фосфорна група и азотна база (аденин, гванин, тимин или цитозин), е поврзана со мошне слаби и лабилни водородни врски. Притоа, бидејќи постои само една или едвај неколку копии на DNA во клетката, доколку тие се оштетат (со јонизација или преку секундарните слободни радикали), ќе биде спречена нејзината понатамошна репликација, а тоа ќе предизвика клеточна смрт (Miller, 2005).

Оштетувањата во молекулата на DNA или таканаречени лезии, може да се манифестираат на различни начини: оштетување или губење на азотните бази, нивни модификации, промени во деоксирибозата, како и прекини во едната или во двете полинуклеотидни низи (Von Sontag, 1991; Nikjoo *et al.*, 1997). Ваквите оштетувања можат да настанат истовремено и под дејство на директните, но и под дејство на индиректните ефекти од јонизирачкото зрачење (Слика 8).



Слика 8. Приказ на ефектите на јонизирачкото зрачење врз молекулата на DNA (Извор: Munir & Federighi, 2020)

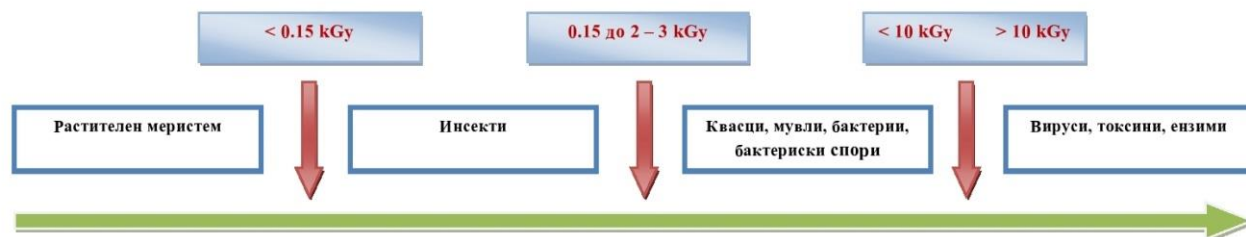
Во принцип, директните ефекти на јонизирачкото зрачење предизвикуваат јонизација на DNA молекулата, создавајќи DNA^+ катјон и електрон, или доведуваат до нејзина екситација, создавајќи екситирана DNA^* . Индиректните ефекти пак доведуваат до интеракција помеѓу DNA и слободните радикали (особено со хидроксилниот радикал ($\bullet\text{OH}$)) и тие претставуваат 2/3 или скоро 90 % од вкупното радијациско оштетување на DNA (Ward, 1988; NASA, 2010).

Важна причина за релативно високата чувствителност на DNA од ефектите на јонизирачко зрачење е и тоа што DNA молекулата е многу поголема од другите молекулски структури во клетката. На пример, хромозомската DNA на *E.coli* се состои од околу $3,5 \times 10^6$ нуклеотидни базни парови, секој со просечна молекуларна тежина од 660 и вкупна молекуларна тежина од околу 2×10^9 . Се потврдило дека апсорбирана доза од само 1 kGy ќе произведе приближно 200 оштетувања (лезии) во едната полинуклеотидна низа, кои иако вообичаено не се смртоносни, ќе предизвикаат бројни мутации при нејзината репликација. Истовремено, истата оваа доза може да предизвика околу 14 лезии во двете низи на DNA, кои потоа ќе доведат до сигурна смрт на клетката (Miller, 2005).

Истражувањата покажале дека паралелно со зголемување на дозата на јонизирачко зрачење, линеарната густина на ваквите оштетувања се зголемува и крај доведува до трајни прекини на двојната спирала (Daly, 2012). Така на пример, доза од само 0,1 kGy резултира со оштетување на 2,8 % од молекулата на DNA (Diehl, 1990), додека доза од 10 kGy, предизвикува околу 4000 промени во нејзината молекула. И во случај кога сите овие промени би биле на едната низа и нелетални за организмот, се проценува дека истата оваа доза ќе предизвика околу 70 промени во двете полинуклеотидни низи, кои ќе резултираат со сигурен летален исход (WHO, 1994).

Бидејќи големината на DNA се зголемува паралелно со сложеноста на организмите, испитувањата покажале дека различните организми претрпуваат различни степени на оштетување на нивната DNA (Слика 9). Така на пример, вирусите се поотпорни отколку бактериите, при што малите и едноставни DNA вируси се меѓу најотпорните биолошки агенси во овој поглед. Помалку отпорни се бактериите и спорите на мувлите, а нивната отпорност се должи на слабо хидрираната цитоплазма. Притоа, бактериите не се исто осетливи, што се потврдува со поголемата отпорност на видовите кои продуцираат спори.

Во однос на квасците и мувлите, се покажало дека квасците се генерално поотпорни во споредба со мувлите, додека најосетливи кон јонизирачкото зрачење се клетките на растителниот меристем и инсектите. Виталноста на клетките за растителниот меристем и на инсектите лесно се нарушува и при многу ниски дози на јонизирачко зрачење (Diehl, 1995; Miller, 1995; Munir, 2020).



Слика 9. Летални дози за различните биолошки објекти (Извор: Munir & Federighi, 2020)

2.5.3. ЕФЕКТИ НА ЈОНИЗИРАЧКО ЗРАЧЕЊЕ ВРЗ ХРАНАТА

2.5.3.1. КАРАКТЕРИСТИКИ НА ТРЕТИРАЊЕТО НА ХРАНАТА СО ЈОНИЗИРАЧКО ЗРАЧЕЊЕ

Кога јонизирачкото зрачење се користи за третирање на храната, главниот акцент се става на поимот “апсорбирана доза”. Таа претставува количеството на јонизирачка енергија која е пренесена на единица маса на одредена материја (медиум). Всушност, кога јонизирачката енергија продира низ медиумот (храната), дел или целата радијацииска енергија се апсорбира од страна на тој медиум. Единицата со која се мери оваа доза е греј, при што 1 греј (Gy) одговара на апсорпција на 1 џул енергија на маса од 1 килограм ($1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$). Во праксата, почесто се користи единицата килогреј, при што $1 \text{ kGy} = 1000 \text{ Gy}$. Постара единица кој се користела во минатото е Рад, при што $1 \text{ Gy} = 100 \text{ рад}$ или $1 \text{ Мрад} = 10 \text{ kGy}$ (Diehl, 1995; Miler, 2005; IAEA, 2015).

За време на третманот на храната со јонизирачка енергија, таа апсорбира точно определена и специфична доза. За да се знае прецизно оваа доза, мора да се знае излезот на енергија од изворот во единица време, да има дефинирана просторна врска меѓу изворот и храната, а храната да се изложи на јонизирачко зрачење во точно определено времетраење. Дозите кои вообичаено се користат за третирање на храната се движат помеѓу 50 Gy и 10 kGy, што сепак зависи од видот на храната и целта која треба да се постигне (WHO, 1988).

Акумулираната доза во единица време се нарекува стапка на апсорбирана доза. Изворите на гама зрачење имаат релативно ниска стапка на апсорбирана доза (100-10,000 Gy/h), за разлика од акцелераторите на електрони кои обезбедуваат висока стапка на апсорбирана доза ($10^4 - 10^9 \text{ Gy/sec}$). Според тоа, за да се постигне апсорпција на специфична доза, третирањето на храната со гама зрачење може да трае подолго отколку зрачењето со електронски акцелератори (Diehl, 1995).

Количеството на јонизирачка енергија која е апсорбирана од храната е најважниот фактор за ефикасноста на оваа метода. Најчесто, за секој различен тип храна мора да се употреби специфична доза на зрачење за да се постигне посакуваниот резултат. Дозата на јонизирачко зрачење која е препорачана од страна на WHO/FAO/CAC за третирање на храната не треба да надминува 10 000 Gy односно 10 kGy. Ова претставува многу мал износ на енергија, еднаков на количеството на топлина

која е потребна да се зголеми температурата на водата за 2,4 °C. Со толку мало количество на енергија, храната минимално се менува за време на процесот, па поради тоа ваквата храна се смета за безбедна за човекова употреба (WHO, 1988).

При третирањето на храната со јонизирачко зрачење, од есенцијално значење е поставување на две гранични вредности: минималната и максималната доза за третирање на тој производ. Притоа, минималната доза е дозата над која би се постигнал саканиот ефект, додека максималната доза е границата над која квалитетот на тој производ на некој начин е загрозен. Поедноставно кажано, доколку дозата која се применува е пониска од потребната, нема да се постигне потребниот ефект, а доколку дозата е повисока од потребното, храната може значително да се оштети, па истата потоа да биде неупотреблива.

Одредувањето на минималната и максималната доза зависи од типот на производот, чувствителноста кон јонизирачко зрачење, видот и концентрацијата на организми со кои тој производ е контаминиран, начинот на негово пакување, температурата за време на третманот, како и посакуваните резултати (IAEA, 2015). Сепак, согласно Генералниот стандард на Codex Alimentarius, максималната апсорбирана доза во храната не смее да надмине 10 kGy, освен во одредени случаи кога е неопходно постигнување на одредена легитимна технолошка цел (CAC, 2003).

2.5.3.2. КОЈА ХРАНА МОЖЕ ДА СЕ ТРЕТИРА СО ЈОНИЗИРАЧКО ЗРАЧЕЊЕ И ДОЗИ КОИ СЕ ПРИМЕНУВААТ

Списокот на хранливи продукти кои може да се третираат со јонизирачко зрачење денес е голем. Така на пример, црвеното месо, живината, компирите, кромидот, зачините, мешавините од зачини, свежото овошје и зеленчук, морските плодови, јајцата и млечните производи, може успешно да се третираат со јонизирачко зрачење за да се спречи развојот на штетните бактерии во нив, да се елиминираат паразитите или да се забави нивното зреење и расипување (Roberts, 1998).

Според Farkas (2006) во зависност од дозата аплицирана врз храната, ќе се постигнат различни ефекти: намалени загуби при складирањето, продолжен рок на траење на храната и подобрена микробиолошка и паразитолошка безбедност.

Генерално, кога јонизирачкото зрачење се аплицира врз храната, опсегот на дозите што се користат може да се класифицира во 3 категории: ниски, средни и високи дози. Секоја категорија има определена намена која соодветствува со целта која треба да се постигне и видот на храната која се третира.

Во продолжение е даден приказ на овие три категории на јонизирачки дози и ефектите кои притоа се постигнуваат.

- **Ниски дози на зрачење од 10 Gy до 1 kGy се применуваат за:**

(а) Спречување на 'ртење на компири, кромид и лук, во распон од 20 kGy – 150 Gy. Долготрајното складирање на компирите е можно само доколку се спречи нивното 'ртење, што обично се прави со запрашување со хемикалии, чии резидуи остануваат во компирот и стигнуваат до конзументите. Испитувањата потврдиле дека ниските дози на зрачење успешно ги инхибираат клеточните делби во меристемските ткива кај компирите и кромидот, спречувајќи го развојот на 'ркулци, без да остават било какви резидуи во него. Притоа, никнувањето на компирите ефикасно се спречува со дози од само 100 Gy, а значително се одложува со дози од 30 Gy. За инхибиција на никнувањето на кромидот се потребни дози од 50 Gy – 60 Gy, додека за лукот 100 Gy – 120 Gy. Кромидот и лукот најдобро е да се третираат веднаш после бербата, додека за компирите, третманот со зрачење не треба да се врши веднаш по бербата, бидејќи може да ја намали можноста за формирање на перидерм околу местата на механичко оштетување. Без заштитниот перидерм, паразитите лесно може да навлезат во клубенот и да предизвикаат негово расипување, па практичен период на чекање помеѓу жетвата и зрачењето е околу две недели (O'Beirne 1985; Miller, 2005).

(б) Одложување на физиолошките процеси, како што е зреење на овошјето, со дози во распон од 0,1 kGy – 1 kGy. Овие процеси се должат на ензимските промени во растителните ткива и се нормални физиолошки промени кај овошјето. Сепак, овошјето како на пример, манго и папаја, во многу земји во светот редовно се третира со јонизирачко зрачење со дози од 750 Gy, после што лесно и економски исплатливо се транспортира во други земји, со двојно поголем рок на траење од вообичаено (O'Beirne, 1985; IAEA, 2002; <https://www.nordion.com/industries/food-irradiation/>).

(в) Дезинсекција на инсекти во складирани жита, житарици, брашно, кафе, грав, зачини, суво овошје, сушени ореви, сушени рибини производи и други сушени прехранбени производи, со дози од 0,2 kGy – 1 kGy. Контролата на инсектите во житото и житните производи вообичаено се прави со помош на фумиганти од кои најчесто се користат етилен дибромид (EDB) или етилен оксид (EtO). Но, употребата на овие инсектициди е забранета или строго ограничена во повеќето земји од здравствени и еколошки причини. Така, етилен дибромид (EDB) е веќе потврден канцероген и неговата употреба е забранета, додека другите фумиганти не се толку ефикасни, а истовремено се штетни и за животната средина. Затоа, третирањето на овие производи со јонизирачко зрачење е предложено како мошне ефикасна алтернатива на фумигацијата, а практичното искуство покажало дека за оваа намена се доволни дози во опсег од 150 Gy – 700 Gy (IAEA, 2002; Miller, 2005).

(г) Дезинсекција на разни видови мушички кај свежото овошје и зеленчук со минимална апсорбирана доза од околу 200 Gy, како и спречување на развојот на инсекти од други видови со минимална доза од 500 Gy. Големите земји увознички (САД, Австралија и Јапонија) бараат овие производи да се сертифицирани за отсуство на овошни мушички или да подлежат на карантински третман пред увозот. Но, во многу земји, регулаторните барања и барањата на конзументите сè повеќе ја ограничуваат употребата на фитосанитарни хемиски третмани кои се потребни за третирање на овошјето и зеленчукот за оваа цел. Постапките кои вклучуваат ладење и загревање, кај овошјето и зеленчукот успешно ја прават потребната дезинсекција, но значително ги нарушуваат вкусот и изгледот на производот, па поради тоа, сè до 1984 година овошјето и зеленчукот биле третирани со фумигација со етилен дибромид. Сепак, зголемената свесност на јавноста околу употребата на оваа опасна хемикалија, довела до негова забрана и пораст на интересот за третирање на овошјето и зеленчукот со јонизирачко зрачење. Притоа, многу овошја доста добро го поднесуваат третманот на зрачење со горенаведените дози, со исклучок на авокадото кое развива дамки и потемнува на површината (Miller, 2005).

- **Средни дози на зрачење од 1 kGy до 10 kGy се применуваат за:**

(а) **Контрола на патогени** кои се пренесуваат преку храната, во говедското, свинското месо, живината, морските плодови, јајцата и млечните производи. Најсериозни загадувачи на говедското месо се *Escherichia coli* серотип O157:H7, *Listeria sp.* и *Taenia saginata*, кои исто така може да ги има и во свинското месо, каде често се сретнуваат и *Taenia solium* и *Trichinella spiralis*. Во живината и јајцата преовладуваат патогените микроорганизми *Salmonella* и *Campylobacter*, во млекото и меките сирења *Listeria monocytogenes*, додека морската храна, особено школките, често се контаминирани со *Salmonella*, *Vibrio parahaemolyticus* и *Shigella*. Одлична контрола на сите овие организми може да се постигне со дози во опсег од 1 kGy – 3 kGy (IAEA, 1985; Miller, 2005).

(б) **Продолжување на рокот на употреба** на свежото месо, морската храна, зеленчукот и овошјето со истите дози наменети за контрола на патогени во нив. Продолжувањето на рокот на траење кај наведените продукти се врши преку намалување на популацијата на бактерии, мувли и квасци во нив, со дози кои се движат од 1 kGy – 10 kGy, во зависност од производот. Овој процес на продолжување на рокот на употреба се нарекува радуризација. На пример, доза од 2,5 kGy може да го продолжи рокот на траење на пилешкото и свинското месо за неколку недели, додека рокот на траење на рибите може да се продолжи од вообичаените 3-4 дена до неколку недели, со дози од 5 kGy. Покрај тоа, рокот на траење на разните видови сирења може да се продолжи со елиминирање на мувлите со дози помали од 0,5 kGy, додека рокот на траење на јагодите, морковите, печурките, папајата и спакуваниот лиснат зеленчук, може да се продолжи со дози од неколку kGy или помалку (Miller, 2005). Ниски дози од 1 kGy се сосема доволни за постигнување на продолжена безбедност на рибите, но, испитувањата покажале одредени загуби во квалитетот кога се третира цела риба. Така, нетретирани риби покажале расипување после 16 дена чување на мраз, додека исти такви примероци кои биле третирани, траеле до 28 дена, но нивниот вкус после 16 ден се влошил како последица на активноста на ендогените ензими. Слични дози (на пример 1,4 kGy) употребени за третирање на ракчиња, ефикасно ги деконтаминирале истите, зачувувајќи го истовремено и нивниот квалитет (IAEA, 1985). Печурките, чиј квалитет значително брзо опаѓа поради ензимското потемнување на нивната површина,

на овој начин успешно се третираат, при што зрачењето го спречува нивното потемнување и отворањето на дршките, со што го продолжува нивниот рок на траење и при чување на температури за одржување во фрижидерите (O'Beirne, 1985).

(в) Пастеризација на цврстата храна за третирање на месо, живина и морска храна. Тоа е всушност начин на елиминација на патогените микроорганизми во нив, при што се користат дози со вредност помеѓу 2 kGy и 8 kGy. Целта е да се постигне намалување на бројот на специфични живи неспорогени микроорганизми, така што тие воопшто не можат да се детектираат во третираниот производ, со кој било стандарден метод. Оваа апликација со средна доза е многу слична на пастеризацијата со топлина и поради тоа се нарекува и радиопастеризација (IAEA, 2002).

(г) Третирање на зачини и зеленчуци кои се наменети за производство на зачини. Свежите растенија од кои се добиваат зачините, скоро секогаш се контаминирани со микроорганизми од почвата, воздухот или со фекалии од птици. За време на процесот на сушење, овие микроорганизми може да достигнат значителна густина, при што е потврдено дека различните зачини може да бидат контаминирани со над 1 милион бактерии/грам материјал. На тој начин тие не можат да се користат од страна на потрошувачите без да подлежат на соодветен хигиенски третман. Кога зачините се користат во преработена храна и кога процесот на производство не вклучува нивно стерилизирање, овие микроорганизми можат да предизвикаат брзо расипување на храната и појава на потенцијална болест. Бидејќи влажниот термички третман генерално не е соодветен за вакви суви производи, во минатото, за дезинсекција на зачините се вршела рутинска фумигација со етилен оксид (EtO). Но, поради неговите штетни ефекти, производителите сè повеќе се ориентираат кон третирање на зачините со јонизирачко зрачење и всушност, најголемиот ефект на јонизирачкото зрачење е поврден токму кај зачините. Затоа комерцијалното зрачење на зачините се одобрува и се практикува во многу земји во светот веќе низа години наназад. Потврдено е дека после третманот со јонизирачко зрачење бројот на микроорганизми во нив се редуира и за 99,9 %. Иако дозите од 5 kGy – 10 kGy даваат доста задоволителни резултати без било какво негативно влијание врз хемиските или сензорните својства, во САД за третирање на зачините се одобрени дози од дури 30 kGy (IAEA, 1985; Miller, 2005).

- **Високи дози на зрачење од > 10 kGy се применуваат за:**

(а) **Радијациска стерилизација** за продолжување на рокот на траење на свежите прехранбени продукти или прехранбени производи во херметички затворени садови на неодредено време, со дози во опсег од 25 kGy – 70 kGy. Во принцип, ваквите високи дози на зрачење се користат за стерилизирање на повеќе од 50 % од медицинските помагала за еднократна употреба, како што се: стерилни гази, хируршки ракавици и друг хируршки материјал. Но, истата ваква техника може да се употреби и за храната, а опсежните истражувања покажале дека употребата на високи дози на зрачење (од над 10 kGy), заедно со благ термички третман и соодветно пакување, може да ги уништи сите микроорганизми во храната и да овозможи истата да се чува долг временски период на собна температура. Овој ефект е аналоген на конзервирањето, при што месото, некои видови риби, школки, зеленчук, па дури и цели готови оброци се мошне соодветни за ваквата радијациска стерилизација. Сепак, за да се спречи развојот на непријатен вкус кој во овој случај настанува како резултат на оксидацијата на липидите, зрачењето мора да се изврши на ниски температури (од -20 °C до -40 °C) со истовремено отстранување на кислородот со вакуумско пакување. Овие дополнителни процедури значително ги зголемуваат трошоците на овој процес, но, овие производи се многу важни за хоспитализирани пациенти со нарушен имунолошки систем и за астронаутите во НАСА (NASA). Овој процес е аналоген на термичкото конзервирање и се нарекува радапертизација (IAEA, 2002; Miller, 2005; Loaharany, 2003).

2.5.3.3. ПРИКАЗ НА ТРЕТИРАЊЕТО НА ХРАНАТА СО ЈОНИЗИРАЧКО ЗРАЧЕЊЕ ВО РАЗЛИЧНИ ЗЕМЈИ ВО СВЕТОТ

Типот на храна која што може да се третира со јонизирачко зрачење, мошне се разликува во различни земји во светот. Во Табела 2 е дадена класификација на главните класи на храна, целите и максималните дози кои се препорачани од страна на ИАЕА (2002).

Табела 2. Типови храна, цели на третирањето со јонизирачко зрачење и максимално дозволени дози (Извор: ИАЕА,2002)

ТИПОВИ ХРАНА	ЦЕЛ	МАКСИМАЛНА ДОЗА (kGy)
Тип 1: Луковици, корени, грукти	Спречување на ртењето за време на складирањето	0,2
Тип 2: Свежо овошје и зеленчук	Одложување на зреењето, дезинсекција, продолжување на рокот на траење, карантинска контрола	1,0 1,0 2,5 1,0
Тип 3: Житарици и нивни мелени производи, ореви, маслодајни семиња, сушено овошје	Дезинсекција, редукција на микробиолошката контаминација	1,0 5,0
Тип 4: Риба, морски плодови и нивни производи (свежи или замрзнати)	Редукција на одредени патогени микроорганизми, продолжување на рокот на траење, контрола на инфекции со паразити	5,0 3,0 2,0
Тип 5: Сурово месо и живина и нивни производи (свежи или замрзнати)	Редукција на патогени микроорганизми, продолжување на рокот на траење, контрола на инфекции со паразити	7,0 3,0 2,0
Тип 6: Сув зеленчук, зачини, храна за животни, суви растенија и растителни чаеви	Редукција на одредени патогени микроорганизми, дезинсекција	10,0 1,0
Тип 7: Сушена храна од животинско потекло	Дезинфекција, контрола на развојот на мувли	1,0 3,0
Тип 8: Разновидна храна, мед, храна за астронаути, болничка храна, војнички оброци, зачини, течни јајца, згуснувачи	Редукција на бројот на микроорганизми, стерилизација, карантинска контрола	>10 >10 >10

Бидејќи генералниот стандард на Codex Alimentarius (CAC, 2003) не одредува која храна може да се третира со јонизирачко зрачење, во повеќето земји во светот се издаваат посебни одобренія за различни видови и категории храна. Така на пример, во САД, Канада, Австралија и Нов Зеланд, нови одобренія може да се добијат и само како одговор на поднесена петиција, од било која тамошна релевантна агенција (GHI, 2018). Со цел да се видат различните пристапи на овој план, во продолжение е даден приказ на видовите храна врз кои е дозволен третман со јонизирачко зрачење во различни земји во светот (GHI, 2018).

Табела 3. Листа на хранливи производи врз кои е дозволен третман со јонизирачко зрачење и дозволени дози во САД (Легислатива: 21 CFR 179)

Храна врз која е дозволен третман со јонизирачко зрачење во САД	Гранични дози
Свински трупови	мин. доза 0,3 kGy, макс.доза до 1 kGy
Инхибиција на растење и зреење на свежа храна	до 1 kGy
Дезинсекција на штетни членконоги во храната	до 1 kGy
Суви или дехидрирани ензимски препарати	до 10 kGy
Суви или дехидрирани ароматични растителни материи, кулинарски растенија, семиња, зачини, сушен зеленчук	до 30 kGy
Свежи или замрзнати, термички нетретирани производи од живина	до 4,5 kGy за свежите производи и до 7,0 kGy за замрзнатите
Стерилизација на замрзнато, пакувано месо што се користи единствено во програмите за вселенски летови	минимална доза 44 kGy
Ладни или замрзнати, термички нетретирани производи, нуспроизводи од месо или месни прехранбени производи	до 4,5 kGy за оладените производи и до 7 kGy за замрзнатите производи
Свежи јајца од школка	до 3 kGy
Семиња за никнување	до 8 kGy
Свежи или замрзнати школки	до 5,5 kGy
Свежа зелена салата и свеж спанаќ	до 4,0 kGy
Термички нетретирано месо, нуспроизводи од месо и одредени прехранбени производи од месо	до 4,5 kGy

Табела 4. Листа на хранливи продукти врз кои е дозволен третман со јонизирачко зрачење и дозволени дози во Канада (Легислатива: С.Р.С., с.870)

Храна врз која е дозволен третман со јонизирачко зрачење во Канада	Гранични дози
Компири	0,15 kGy
Кромид	0,15 kGy
Пченица, брашно, интегрално пченично брашно	0,75 kGy
Цели или мелени зачини и дехидрирани зачини	10 kGy
Свежо сурово мелено говедско месо	мин. доза 1,0 kGy, макс. доза до 4,5 kGy
Замрзнато сурово мелено говедско месо	мин. доза 1,5 kGy, макс. доза до 7 kGy

Табела 5. Листа на хранливи продукти врз кои е дозволен третман со јонизирачко зрачење и дозволени дози во Европската Унија (Легислатива Директива 1999/2/ЕС и Директива 1999/3/ЕС)

Храна врз која е дозволен третман со јонизирачко зрачење во земјите од Европската Унија	Гранични дози
Сушени ароматични растенија, зачини и зеленчуци наменети за производство на зачини	Вкупна апсорбирана доза 10 kGy

Табела 6. Листа на хранливи продукти врз кои е дозволен третман со јонизирачко зрачење и дозволени дози во Австралија и Нов Зеланд (Легислатива FSANZ Стандард 1.5.3)

Храна врз која е дозволен третман со јонизирачко зрачење во Австралија и Нов Зеланд	Гранични дози
Растенија, зачини и растителни екстракти	мин. доза 2 kGy - макс. доза до 30 kGy
Тропско овошје, домати и пиперки	мин. доза 1,15 kGy - макс. доза до 1 kGy

Табела 7. Листа на хранливи продукти врз кои е дозволен третман со јонизирачко зрачење и дозволени дози во Азија

Табела 7.1. Листа на хранливи продукти врз кои е дозволен третман со јонизирачко зрачење и дозволени дози во Бангладеш (Легислатива Влада на Бангладеш 1983. Ревидиран САС стандард за храна третирана со јонизирачко зрачење, Кодекс Стан. 106,1983)

Храна врз која е дозволен третман со јонизирачко зрачење во Бангладеш	Гранични дози
Пилешко месо	микробиолошка контрола, 7 kGy
Растенија наменети за зачини	дезинсекција 1 kGy микробиолошка контрола 10 kGy
Риба	микробиолошка контрола, макс.доза 2,2 kGy
Сушена риба	за дезинсекција макс.доза 5 kGy
Рибини производи	микробиолошка контрола, продолжување на рокот на траење, макс.доза до 7 kGy
Жабји копани	макс.доза до 1 kGy
Манго	макс.доза до 0,15 kGy
Кромид	макс.доза до 1 kGy
Папаја	макс.доза до 0,15 kGy
Компири	макс.доза до 1 kGy
Семиња од легуминозни растенија	макс.доза до 1 kGy
Ориз	дезинсекција, карантин 5 kGy
Ракчиња	микробиолошка контрола, макс.доза 1 kGy
Зачини	дезинсекција, макс.доза 1kGy микробиолошка контрола макс.доза 10 kGy
Пченица и пченични производи	дезинсекција, макс.доза 1kGy микробиолошка контрола макс.доза 8 kGy

Табела 7.2. Листа на хранливи продукти врз кои е дозволен третман со јонизирачко зрачење и дозволени дози во Кина (Легислатива Национален стандард за хигиена на храна третирана со јонизирачко зрачење, 1994)

Храна врз која е дозволен третман со јонизирачко зрачење во Кина	Гранични дози
Живина, добиток, термички месо (свинско, говедско, пилешко, паткино)	макс.доза до 8 kGy
Зрна (пченка, хељда, сирак, сусам, сончоглед, астрагус)	макс.доза до 8 kGy
Суви ореви, кандирано овошје, кикирики, јаболка, лонган, орев, сурави бадеми, црвени урми, праска, кајсија, глог и други	мин.доза 0,4 до 1 kGy
Зачини, сушени (сите)	макс.доза до 10 kGy
Овошје, зеленчук, свежи	макс.доза до 1,5 kGy
Свинско месо (свежо)	макс.доза до 0,65 kGy
Живина, добиток, замрзнато и спакувано месо (свинско, говедско, пилешко, паткино)	макс.доза до 2,5 kGy
Грав и производи	макс.доза до 0,2 kGy
Житарки и производи	мин.доза до 0,4 - макс.доза 0,6 kGy
Вино од сладок компир	макс.доза до 4 kGy

Табела 7.3. Листа на хранливи продукти врз кои е дозволен третман со јонизирачко зрачење и дозволени дози во Филипини (Легислатива Администрација за храна и лекови (DOH AO 152) и канцеларија за карантин за растенија (BPI AO 02) за санитарни и фитосанитарни апликации)

Храна врз која е дозволен третман со јонизирачко зрачење на Филипини	Гранични дози
Манго	Дезинсекција на инсекти 1 kGy
Кромид	За спречување на 'ртење со дози од 0,3-1 kGy
Лук	Дезинсекција на инсекти 0,3-1 kGy

Табела 7.4. Листа на хранливи продукти врз кои е дозволен третман со јонизирачко зрачење и дозволени дози во Индија (Легислатива Закон за безбедност и стандарди на храна 2006 година и правила за атомска енергија 2012 година)

Храна врз која е дозволен третман со јонизирачко зрачење во Индија	Гранични дози
Луковици, клубени и стебла	за спречување на ртење од 0,02 – 0,2 kGy
Свежо овошје и зеленчук	одложено созревање, дезинсекција на инсекти 0,2 – 1 kGy продолжување на рокот на траење 1,0 – 2,5 kGy
Житарки, зрна и нивни бланширани производи, семе од масло од ореви, суво овошје и нивни производи	дезинсекција на инсекти 0,25 -1,0 kGy редукција на растот на микроорганизми 1,5 – 5,0 kGy
Риба, аквакултура, морски плодови и нивни производи (свежи / замрзнати)	елиминација на патогени 1,0 -7,0 kGy продолжување на рокот на траење 1,0 – 3,0 kGy контрола на човечки паразити 0,3 – 2,0 kGy
Сув зеленчук, зачини, растенија наменети за производство на зачини, суви растенија, чај, кафе, какао и растителни производи	елиминација на патогени 6,0 -14 kGy дезинсекција на инсекти 0,3-1 kGy
Сушена храна од животинско потекло	дезинсекција на инсекти 0,3 -1 kGy контрола на мувли 1 - 3 kGy елиминација на патогени 2 - 7 kGy
Етничка храна, воени оброци, вселенска храна	апликација за карантин мин. 0,25 - 1 kGy намалување на микроорганизмите 2-10 kGy стерилизација 5-25 kGy

Табела 7.5. Листа на хранливи продукти врз кои е дозволен третман со јонизирачко зрачење и дозволени дози во Република Кореа (Закон за санитација на храна и Уредба за радиоактивна заштита)

Храна врз која е дозволен третман со јонизирачко зрачење во Р.Кореа	Гранични дози
Компири, кромид и лук	≤ 0,15 kGy
Костен	≤ 0,25 kGy
Свежи или исушени печурки	≤ 1 kGy
Јајца во прав, житарки, мешунки и нивно брашно како состојка на прехранбени производи, скроб како состојка на прехранбени производи	≤ 5 kGy
Сушено месо, брашно од риба и школки како состојка на прехранбен производ, брашно од соја, црвена пиперка, соја сос, сув зеленчук како состојка на прехранбени производи, храна од квасец и ензими, храна од алги, алое во прав, женшен (вклучително црвен женшен)	≤ 7 kGy
Сушен зачин; сосови, чај во прав, стерилни оброци за второ пастеризирање	≤ 10 kGy

Табела 7.6. Листа на хранливи продукти врз кои е дозволен третман со јонизирачко зрачење и дозволени дози во Индонезија (Владина регулатива, 1999 година за обележување и рекламирање храна; Регулатива на Владата 2004 година, безбедност на храна, квалитет и исхрана; Закон за храна 18, 2012 година)

Храна врз која е дозволен третман со јонизирачко зрачење во Индонезија	Гранични дози
Луковици и клубенести корени	спречување на 'ртење 0,15 kGy
Свежо овошје и зеленчук	одложено созревање, дезинсекција на инсекти, карантински третман 1 kGy продолжување на рокот на траење 2,5 kGy
Преработен зеленчук и овошни производи	продолжување на рокот на траење 7 kGy
Манго	продолжување на рокот на траење 0,75 kGy
Мангостин	дезинсекција на инсекти/ карантински третман 1 kGy
Житарки, ореви, маслени семиња	дезинсекција на инсекти 1 kGy редукција на микроорганизми 5 kGy
Риба и морска храна (свежа и замрзната)	редукција на патогени микроорганизми 8 kGy продолжување на рокот 3 kGy контролирање на инфекции 2 kGy
Преработени производи од риба и морска храна	редукција на патогените микроорганизми 8,0 kGy продолжување на рокот на траење 10 kGy
Месо и живина и преработени производи (свежо / замрзнато)	редукција на патогените микроорганизми 7,0 kGy продолжување на рокот на траење 3 kGy контролирање на инфекции 2 kGy
Сушен зеленчук, зачини, растенија, суви растенија, растителни чаеви	редукција на патогените микроорганизми 10,0 kGy дезинсекција на инсекти 1 kGy
Сушена храна од животинско потекло, преработена храна од животинско потекло	дезинсекција на инсекти 1,0 kGy ерадикација на микроорганизми, габи и квасци 5,0 kGy стерилизација и продолжување на рокот на траење 6,5 kGy

Табела 7.7. Листа на хранливи продукти врз кои е дозволен третман со јонизирачко зрачење и дозволени дози во Малезија (Легислатива: Прописи за зрачење со храна 2011 година)

Храна врз која е дозволен третман со јонизирачко зрачење во Малезија	Гранични дози
Луковици, корени и клубени	спречување на ртење од 0,05-0,2 kGy
Свежо овошје и зеленчук	одложено зреење 0,2-1 kGy, продолжување на рокот на траење 1-2,5 kGy карантинска контрола 0,15-0,25 kGy
Житарици и нивни мелени производи, ореви (вклучувајќи костен, кокос), маслени семиња, зрна, суво овошје и нивни производи	дезинсекција на инсекти 0,25-1 kGy редукција на микроорганизми 1,5-5 kGy спречување на ртење (костен) 0,1-0,25 kGy
Риба и производи од риба, жабји копани	редукција на патогените микроорганизми 1-7 kGy продолжување на рокот на траење 1-3 kGy контролирање на инфекции од паразити 0,1-2 kGy дезинсекција на инсекти 0,3-2 kGy
Месо и месни производи	редукција на патогени микроорганизми 1-8 kGy продолжување на рокот 1-3 kGy контролирање на инфекции од паразити 0,3-2 kGy
Сушен зеленчук, зачини, зачини, суви растенија, чај	дезинсекција на инсекти 0,3-1 kGy редукција на патогени микроорганизми 2-10 kGy
Какао и производи од какао	редукција на патогени микроорганизми 2-5 kGy редукција на микробниот раст 0,3 -1 kGy

Табела 7.8. Листа на хранливи продукти врз кои е дозволен третман со јонизирачко зрачење и дозволени дози во Пакистан

Храна врз која е дозволен третман со јонизирачко зрачење во Пакистан	Гранични дози
Луковици, корени и клубени	инхибиција на никнување од 0,2 kGy одложување на зреењето 1 kGy дезинсекција на инсекти 1 kGy продолжување на рокот на траење 2 kGy третман со карантин од 1 kGy
Свежо овошје и зеленчук	одложено зреење 1 kGy, продолжување на рокот на траење 2 kGy карантински третман 1 kGy
Житарици/ зрна, нивни производи, сушен зеленчук/ ореви овошје	дезинсекција на инсекти 1 kGy

Компаративна анализа на промените во квалитативниот состав кај храна третирана со јонизирачко зрачење

Сурова риба, морски плодови и нивни производи (свежи / замрзнати)	редукција на патогените микроорганизми 5 kGy продолжување на рокот на траење 3 kGy
Сурова живина и месо и нивни производи (свежи и замрзнати)	редукција на патогени микроорганизми 5 kGy продолжување на рокот 3 kGy
Сушени билки, зачини	дезинсекција на инсекти 1 kGy редукција на патогени микроорганизми 10 kGy
Сушена храна од животинско потекло	дезинсекција на инсекти 1 kGy

Табела 7.9. Листа на хранливи продукти врз кои е дозволен третман со јонизирачко зрачење и дозволени дози во Виетнам (Легислатива: Одлука 3616/2004/QD-VYТ за безбедност и санитација на 7 намирници преку зрачење (Упатства од Министерството за здравство)

Храна врз која е дозволен третман со јонизирачко зрачење во Виетнам	Гранични дози
Земјоделски производи (луковици, корени и клубени)	Инхибиција на никнувањето за време на складирањето 2,0–7,5 kGy
Свежо овошје и зеленчук	Одложување на созревањето 0,3–1,0 kGy дезинсекција на инсекти 0,3–1,0 kGy продолжување на рокот на траење 1,0–2,5 kGy контрола на карантин 0,2–1,0 kGy
Житарки, мелени житни производи, ореви, маслени семиња, зрна, сушен зеленчук и суво овошје	Дезинсекција на инсекти 0,3–1,0 kGy намалување на патогени 1,5–5,0 kGy одложување на зреење 0,1–0,25 kGy
Храна од аквакултура и нејзини производи, вклучувајќи без 'рбетни животни, водоземци (свежи или замрзнати)	Намалување на патогените микроорганизми 1,0–7,0 kGy продолжување на рокот на траење 1,0–3,0 kGy контрола на инфекција со паразити 0,1–2,0 kGy
Сурова живина и месо и нивни производи (свежи и замрзнати)	Намалување на патогените микроорганизми 1,0–7,0 kGy продолжување на рокот на траење 1,0–3,0 kGy контрола на инфекција со паразити 0,5–2,0 kGy
Сув зеленчук, зачини и суви растенија	Намалување на патогените микроорганизми 2,0–10,0 kGy контрола на инфекција со паразити 0,3–1,0 kGy зачини до 12 kGy
Сушена храна од животинско потекло	Контрола на инфекција со паразити 0,3–1,0 kGy контрола на мувли и габи 1,0–3,0 kGy намалување на патогените 2,0–7,0 kGy

Табела 7.10. Листа на хранливи продукти врз кои е дозволен третман со јонизирачко зрачење и дозволени дози во Тајланд (Легислатива Закон за санитација на храна и Уредба за радиоактивна заштита)

Храна врз која е дозволен третман со јонизирачко зрачење на Тајланд	Гранични дози
Корени и клубенести луковици	макс 0,15 kGy
Одложување на зреењето	макс 0,25 kGy
Контрола на дезинсекција на инсекти (свежо овошје)	макс 1 kGy
Намалување на бројот на паразити (во месни производи)	макс 5 kGy
Продолжување на рокот на траење	макс 7 kGy
Намалување на бројот на микроорганизми и патогени (во растенија и зачини; сушен зеленчук; сушено месо, живина и морска храна)	макс. 10 kGy

Од горенаведените табели може да се констатира дека зачините, растенијата и зеленчуците наменети за производство на зачини, се единствената категорија на храна за која што секаде во светот е дозволен третман со јонизирачко зрачење, па според тоа, тие се и најчестата озрачена храна во меѓународната трговија. После нив, доаѓа озраченото свежо овошје и зеленчук, со кое исто така се тргува насекаде низ светот.

Сепак, општа констатација е дека еден од најголемите предизвици со кои се соочува глобалниот прехранбен сектор во користењето на јонизирачкото зрачење е усогласување на регулативите и еквивалентноста на стандардите, дозите и обележувањето на ваквата храна (GHI, 2018). Тоа може да се забележи и од Табела 8 во која е направена споредба помеѓу дозволените дози за неколку типови храна во различни региони во светот. Може да се воочи дека САД дозволуваат значително поголеми дози за третирање на зачините, овошјето и зеленчукот, во споредба со останатите земји.

Постојат само неколку земји чии регулативи овозможуваат третман со зрачење на било која храна. Така на пример, Бразил (ANVISA, 2001), Мексико (Codex 1983, Rev.1-2003) и Сингапур (AFVAS, 2017) дозволуваат третман со јонизирачко зрачење на секоја храна, за било која намена. Куба (NC 38-02-03, 1986) и Чиле (DТО.№977/96, D.OF. 13.0597) дозволуваат третман на било која храна, со вкупна просечна

абсорбирана доза од 10 kGy. За разлика од нив, Јапонија ја ограничува употребата на зрачењето врз храната единствено за инхибиција на 'ртењето кај компирите (GHI, 2018).

Табела 8. Разлики помеѓу дозволените дози за третирање на исти типови храна во различни земји во светот (Извор: GHI, 2018)

Регион	САД	Канада	Европска унија	Кина	Индија	Австралија и Нов Зеланд
Зачини, растенија и зеленчук наменет за производство на зачини						
Максимална дозволена доза (kGy)	30	10	10	10	6 - 14	2 - 30
Овошје, зеленчук, лиснати продукти за продолжување на рокот на траење						
Максимална дозволена доза (kGy)	4,0	-	1,0 - 2,0 (само за Обединето кралство)	1,5	1 - 2,5	0,15 - 1,0
Месни производи						
Максимална дозволена доза (kGy)	4,5 Разладени, термички нетретирани	1,0 - 4,5 Свежо сурово мелено говедско	-	8 Живина, добиток, готвено месо	-	-

2.6. НУТРИТИВНИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ХРАНАТА ТРЕТИРАНА СО ЈОНИЗИРАЧКО ЗРАЧЕЊЕ

Уште од самите почетоци на третирањето на храната со јонизирачко зрачење, јавноста била загрижена за можните последици кои оваа постапка може да ги има врз нејзината нутритивна вредност. Поради тоа, биле направени голем број испитувања токму со цел да се утврдат ефектите на јонизирачкото зрачење врз квалитетот на третираната храна.

Според Ibarz (2008) аплицирањето на јонизирачкото зрачење врз храната треба да се анализира на посебен начин. Тој истакнува дека јонизирачкото зрачење во храната ги предизвикува истите карактеристични ефекти, но во овој случај постои можност од намалување на содржината на хранливи материи или во најлош случај, од создавање на токсични радиолитички продукти. Затоа, кога е во прашање храната, од сите можни ефекти на јонизирачкото зрачење, единствено посакуван е ефектот на уништување на микроорганизмите. Притоа, бидејќи јонизирачкото зрачење предизвикува генетско оштетување и на клетките од храната, овој ефект не треба да загрижува бидејќи репродуктивната одржливост на клетките од храната е завршена и тие понатаму нема да се репродуцираат.

Со самото откривање на овој метод, здравствените власти барале цврсти докази за безбедноста на храната третирана со јонизирачко зрачење пред да одобрат нејзин маркетинг (Elias, 1980). За среќа, сите досегашни испитувања потврдиле дека дозите до 10 kGy немаат ефект врз нутриентите во храната и дека третирањето на храната со јонизирачко зрачење е безбедна и ефикасна постапка во однос на зачувување на нејзината хранлива вредност. Всушност, резултатите на голем број автори покажале дека третираната храна има иста хранлива вредност, па дури и подобра од онаа која е третирана со конвенционални методи (термички третман, сушење и замрзнување). Притоа, станало јасно дека губењето на хранливи материи не се случува единствено кога храната се третира со јонизирачко зрачење, туку дека тоа е карактеристична појава и при останатите постапки, особено при термичките процеси. Истовремено се потврдило и дека појавата на токсични соединенија, не е ефект што е карактеристичен само за третирање на храната со јонизирачко зрачење, туку дека вакви супстанции се забележани и при хемиските и термичките третмани на храната (Josephson *et al.* 1974;

Josephson *et al.* 1975; Josephson & Peterson, 1983; Nawar, 1986; Ibarz, 2008; Kilonzo-Nthenge, 2012).

Сепак, истражувања потврдиле дека постојат принципи на предвидливост на ефектите од зрачењето, т.е. дека евентуалното губење на хранливите материи во третираната храна ќе зависи од дозата на зрачење, при што степенот на загуба може значително да се разликува. Тоа се должи на фактот што некои хранливи материи се многу стабилни кога се изложени на јонизирачко зрачење и не покажуваат значителни загуби дури и при високи дози, додека други се значително поосетливи. Притоа, постојат и одредени фактори (кислород, вода или температура) кои што дополнително влијаат на ефектите од зрачењето во различните видови храна (WHO, 1999). Затоа, може да се сумира дека појавата на хемиски промени во компонентите на храната зависи од видот на јонизирачко зрачење, апсорбираната доза, стапката на апсорбирана доза, присуството или отсуството на кислород, температурата при зрачењето, како и составот на храната и нејзината физичка состојба (замрзната, свежа, цврста, течна или прашкаста) (EFSA, 2011).

Кога јонизирачкото зрачење се аплицира врз храната, интеракцијата помеѓу храната и гама зраците резултира со апсорпција на енергија и последователна јонизација или екситација и на молекулите во нејзиниот состав (WHO, 1999). Притоа, радиолизата на одделните компоненти во храната е специфична и генерално зависи од нивната хемиска природа (Taub, 1981). Мажните хемиски промени кои настануваат при овој процес се проучувани од голем број автори (Diehl, 1995; Elias & Cohen, 1977; Josephson & Peterson, 1983; Nawar, 1986; Stevenson & Johnston, 1990; Thakur & Singh, 1994; Urbain, 1986; Wilkinson & Gould, 1996). Нивните истражувања покажале дека хемиски промени во храната може да настанат или поради примарна радиолиза на нејзините состојки или како последица на секундарните (индиректни) ефекти, предизвикани од создадените слободни радикали.

Активноста на ваквите слободни радикали ја потврдуваат и Fernandes *et al.* (2018) и според нив, слободните радикали, особено тие создадени со радиолиза на водата (хидроксилниот радикал ($\bullet\text{OH}$), хидроген радикалот ($\text{H}\bullet$) и хидрираниот електрон (e^-)) стапуваат во реакции со компонентите од храната: нуклеинските киселини, ензимите, витамините, липидите, протеините и шеќерите, предизвикувајќи одредени промени во нив. Притоа, иако скоро сите реактивни продукти формирани за

време на радиолизата на водата, ја оштетуваат клеточната структура, хидроксилниот радикал ($\bullet\text{OH}$) претставува најчестиот нарушувач на останатите соединенија, бидејќи неговата силна оксидирачка моќ доведува до неповратното оштетување на биолошките молекули во непосредна близина на неговото формирање (Munir & Federighi, 2020).

Сепак, мора да се нагласи дека создавањето на слободни радикали не е карактеристично само за храната третирана со јонизирачко зрачење. Тие може да се создадат и при други постапки за обработка на храната (Mollins, 2001), а постои и начин за одредување на нивното количество, па според тоа и предвидување на ефектите од нив. Така, утврдено е дека количеството на хидроксилниот радикал ($\bullet\text{OH}$) што се создава во газирана вода при доза од 1 kGy изнесува $2.9 \times 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$, што доколку се пресмета во однос на храна со густина од 1 kg/dm^3 , би било еквивалентно на 580 mg/kg (EFSA, 2011).

2.6.1. ЕФЕКТИ НА ЈОНИЗИРАЧКОТО ЗРАЧЕЊЕ ВРЗ ОДДЕЛНИТЕ КОМПОНЕНТИ НА ХРАНАТА

Направени се бројни испитувања со цел се утврди ефектот на јонизирачкото зрачење врз примарните компоненти на храната, особено во однос на промените кај макронутриентите (јаглехидрати, липиди, протеини), витамините и некои поважни микроелементи. Нивните резултати покажале дека овие соединенија, од аспект на нутритивната вредност и квалитет, не се значително засегнати кога се подложени на јонизирачко зрачење во дози со низок и среден опсег. Дури било утврдено дека третирањето на храната со традиционалните постапки како на пример, загревање, сушење и термички третман, предизвикува нивни поголеми загуби (Miller, 2005).

Студиите потврдуваат дека протеините, мастите и јаглехидратите претрпуваат минимални промени само при дози со вредност од над 10 kGy (Wilkinson & Gould, 1996). Според одредени истражувања, радијациските ефекти кај овие три групи соединенија се манифестирале дури при дози од 50 kGy. Поради тоа, долго време биле потребни специфични аналитички методи за детектирање на настанатите промени во нив (WHO, 1994).

2.6.1.1. ЕФЕКТИ НА ЈОНИЗИРАЧКОТО ЗРАЧЕЊЕ ВРЗ ЈАГЛЕХИДРАТИТЕ

Кога се во прашање јаглехидратите, се покажало дека ниските и средни дози на јонизирачко зрачење имаат мал ефект врз нивните вредности. Сепак, високите дози може да предизвикаат нивни модификации, особено кај растителните клетки, каде можат да го ослабат клеточен ѕид и да ја нарушат структурата на клетката (Diehl, 1995).

Според Adam (1983) моносахаридите и полисахаридите претрпуваат одредени модификации кога се изложени на јонизирачко зрачење т.е се распаѓаат до попусти соединенија. Притоа, кога моносахаридите се изложени на јонизирачко зрачење, се распаѓаат до истите состојки како и при вообичаена хидролиза, додека полисахаридите (скроб, целулоза и пектин) се распаѓаат на попусти шеќери. Причина за тоа е што некои од гликозидните врски кои ги поврзуваат моносахаридите се кинат под дејство на јонизирачкото зрачење, со што се намалува степенот на нивна полимеризација. Тоа може да се потврди на пример со скробот, кој во вакви услови се распаѓа до декстрини,

малтоза и глукоза (Metlitski *et al.*, 1968; McGivney, 1988; Cottee *et al.*, 1995; WHO, 1994; Diehl, 1995).

Бидејќи во храната јаглехидратите најчесто се присутни во водената компонента или се поврзани со водата, примарно значење за нивната радиолиза има хидроксил радикалот ($\bullet\text{OH}$). Тој може да предизвика различни реакции реагирајќи со нив, како на пример: апстракција на водороден атом од нивната молекула, димеризација, дехидратација или диспропорција (Stewart, 2001; Fan & Sommers 2013). Како последица на тоа се создаваат различни соединенија, како на пример: кетони, алдехиди или киселини, за што потврда дале Dauphin & Saint Lebe (1977). Тие при зрачење на пченкарен скроб во воден раствор добиле алдехиди, кетони, алкохоли, киселини и пероксиди.

Во принцип, радијациската хемија на јаглехидратите е мошне сложена, бидејќи после нивното третирање со јонизирачко зрачење може да се создадат голем број различни радиолитички продукти. Von Sonntag (1980) наведува дека само глукозата може да создаде најмалку 34 радиолитички продукти, додека Ramírez-Cahero & Valdivia-López (2017) утврдиле дека концентрацијата на создадени радиолитички продукти се зголемува паралелно со зголемување на дозата на зрачење.

Испитувањата покажале дека природата и количеството на вака создадените радиолитички продукти не зависи само од количината на вода во храната, туку и од присуството на други соединенија кои имаат заштитен ефект кон јаглехидратите. Според Diehl *et al.* (1978), присутните протеини и аминокиселини во храната ги штитат јаглехидратите од оштетувања кои може да настанат под дејство на јонизирачкото зрачење, па поради тоа јаглехидратите кога се во склоп на храната се многу помалку склони кон деградација, отколку кога се зрачени самостојно (WHO, 1994).

Според Josephson (1974) главниот ефект на јонизирачкото зрачење врз јаглехидратите е или нивна хидролиза или оксидативна деградација. Тој истакнува дека сложените јаглехидрати кога се изложени на јонизирачко зрачење доживуваат деполимеризација, целулозата станува поподложна на ензимска хидролиза, а пектинот го губи својството на гелирање.

Однесувањето на јаглехидратите не е исто доколку се изложени на јонизирачко зрачење во растворена или во цврста состојба. Тоа се должи на фактот што радиолизата на јаглехидратите во воден систем се случува воглавно поради интеракција на

хидроксил радикалот ($\bullet\text{OH}$) со нивните C-H врски, а како последица од тоа се создаваат нови јаглехидратни радикали. Овие јаглехидратни радикали потоа лесно доживуваат дисмутација, димеризација и дехидратација (Nawar, 1995).

Според Dauphin & Saint Lebe (1977) кога јонизирачкото зрачење дејствува на јаглехидрати растворени во вода, рН на растворот станува кисела, достигнувајќи вредности од 3 до 5, а степенот на деградација на јаглехидратите во растворот е пропорционален со дозата на зрачење. Поврда за ова е фактот што при зрачење на глукозата се создава глукуронска киселина, која ја намалува рН на растворот.

Наспроти тоа, кога јонизирачкото зрачење дејствува на јаглехидратите во цврста агрегатна состојба, настанува раскинување на гликозидните врски и создавање на макрорадикали (Al-Assaf *et al.* 2016), а кај некои јаглехидрати како што се: глукозата, фруктозата и галактозата се забележува и одредено потемнување (Dauphin & Saint Lebe, 1977).

2.6.1.2. ЕФЕКТИ НА ЈОНИЗИРАЧКОТО ЗРАЧЕЊЕ ВРЗ ПРОТЕИНИТЕ

Радијациската хемија на протеините и аминокиселините отсекогаш била активно поле на истражување и податоци за нивната промена под дејство на јонизирачкото зрачење наведуваат Singh & Singh (1982); Delincee (1983b); Taub (1981) и други автори.

Хемиските промени кои може да настанат кај протеините кога се изложени на јонизирачко зрачење зависат од неколку фактори: од нивната структура (глобуларни или фибрилари протеини), од физичката состојба (растворена, цврста или замрзната состојба), од нивниот аминокиселински состав, од присуството на други супстанции во храната, како и од дозата на зрачење (EFSA, 2011).

Според сознанијата на Delincee (1983b) и Taub (1983), дејството на јонизирачкото зрачење врз протеините може да резултира со различни видови реакции од типот на деаминација, декарбоксилација, редукција на дисулфидни врски, оксидација на хидросулфидните групи, кинење на пептидните врски и промена во валентноста на металниот јон во ензимите.

Ефектите на јонизирачкото зрачење врз протеините биле испитувани од две причини: прво, за да се утврди дали зрачењето предизвикува нивна загуба и второ, да се утврди како тоа дејствува врз активноста на ензимите (Diehl, 1990). Во однос на

првата дилема, а и во споредба со останатите методи за обработка на храната, сознанијата покажале дека ниските дози на зрачење не влијаат на застапеноста на протеините во храната. Така на пример, De Groot *et al.* (1972) при испитување на нутритивната вредност на пилешко месо зрачено со дози од 600 Krad (6 kGy), утврдиле дека нутритивната вредност на протеините во него не била забележително променета. Frumkin *et al.* (1973) пријавиле дека нема редуција во нутритивната вредност на протеините кај сурово говедско месо третирано со дози од 0,6 Mrad (6 kGy), додека Kennedy & Ley (1971) покажале дека при зрачење на месни оброци, јајца, риба и пченица со дози до 10 kGy, нутритивната вредност на протеините била незасегната, за разлика од термичките процеси, кога нивниот губиток изнесувал 9 %.

Хемиските промени кај протеините кога се подложени на јонизирачко зрачење биле детално испитувани уште на самите почетоци од воведување на оваа метода. Меѓу првите сознанија на ова поле се резултатите на Ley (1969), кој утврдил дека зрачењето дури и при дози од 7 Mrad (70 kGy) нема сигнификантно влијание врз квалитетот на протеините и врз составот на аминокиселините.

И други студии направени на овој план покажале минимални или незначителни промени кај протеините кога се подложени на јонизирачко зрачење. Сепак, како и во случајот со јаглехидратите, било откриено дека евентуалните промени кои може да настанат кај протеините зависат од тоа дали се работи за протеини во раствор или во цврст систем. Тоа повторно се должи на ефектите од радиолизата на водата и понатамошното реагирање на хидроксил радикалот ($\bullet\text{OH}$) со нивните аминокиселини (Draganic & Draganic, 1971; Garrison, 1985). Во таа насока Nawar (1977) наведува дека доколку зрачењето се аплицира на храна во замрзната состојба, хидроксил радикалот ($\bullet\text{OH}$) ќе биде значително редуциран, со што и количеството на радиолитички продукти ќе биде намалено.

Во овој контекст може да се спомене истражувањето направено од страна на Ciesla *et al.* (2000) кои го испитувале однесувањето на хемоглобинот, миоглобинот и глобулинот, третиран со јонизирачко зрачење со дози од 3 kGy, 20 kGy, 25 kGy и 30 kGy, во услови на различна агрегатна состојба. Тие утврдиле дека зрачењето имало поголем ефект врз наведените протеини кога тие биле зрачени во воден раствор, одколку кога биле третираны во цврста состојба.

Според Urbain (1986) ниските и средни дози на зрачење кај протеините предизвикуваат нивно делумно распаѓање во помали протеински фрагменти или аминокиселини, додека високите дози доведуваат до денатурација на протеинската структура и важни загуби во однос на квалитетот на храната. Тоа настанува така што со кинење на полипептидните врски во протеинската молекула, се создаваат пептиди со пократки ланци. Понатаму, аминокиселините во овие пептиди може да реагираат дополнително со слободните радикали создадени при радиолизата на вода, што доведува до понатамошно дополнително кинење на останатите пептидни врски. На овој начин зрачењето може да предизвика денатурацијата на протеините и промени во нивната секундарна и терцијарна структура. Потврда за ова се резултатите на Dogan *et al.* (2007) кои констатирале нивна денатурација и агрегација при дози од 10 kGy. Сепак, треба да се нагласи дека ваквата денатурација е помала од таа која настанува кога протеините се подложени на термички третмани или на третман на стерилизација со пара (Singh, 1987; Ibarz, 2008).

Голем дел од направените испитувања за радиосензитивноста на протеините биле насочени кон тоа дали и како јонизирачкото зрачење влијае на нивните мономери-аминокиселините. Иако е потврдено дека аминокиселините сами по себе се доста чувствителни на слободните радикали создадени од јонизирачкото зрачење, сепак се покажало дека тие се значително помалку чувствителни кога се врзани во протеинска молекула (Urbain, 1986). Истовремено, потврдено е дека не се сите аминокиселини подеднакво осетливи кон зрачењето, т.е. дека ароматичните аминокиселини и тие кои содржат сулфур се повеќе радиолабилни. Доказ за тоа наведува Fan (2007) кој утврдил присуство на испарливи сулфурни соединенија во зрачени производи од месо, за кои се верува дека настанале при реакција на овие аминокиселини со слободните радикали создадени при радиолизата на водата (EFSA, 2011). Бидејќи постојат повеќе од 20 различни аминокиселини, вкупниот број на можни радиолитички продукти од нив е голем. Воглавно радиолитичките производи што произлегуваат од зрачењето на аминокиселините се: амонијак, кетокиселини, производи слични на амид и диаминокиселини (Delincée, 1983b).

Со оглед на тоа дека и ензимите се протеини, ефектите на јонизирачкото зрачење се одразуваат и врз нивната состојба. Таквите ефекти всушност предизвикуваат промени во нивната активност, па на овој начин зрачењето го одложува

зреењето на некои овошја, дејствувајќи на ензимите поврзани со тој процес (D'Innocenzo & Lajolo, 2001). Сепак, се потврдило дека дозите ≤ 10 kGy предизвикуваат минимални промени во ензимската активност (Fan, 2013), за разлика од дозите над таа вредност. Потврда за ова е студијата која ја направиле Dului *et al.* (2004) кога ја испитувале активноста на ензимите α -амилаза, габична α -амилаза, глукоамилаза и пектиназа. Тие утврдиле корелација помеѓу намалувањето на ензимската активност и зголемувањето на дозата на зрачење, како резултат на добиените резултати за намалување на ензимската активност за 20 - 50 %, при зрачење со дози со вредност од 20 kGy.

2.6.1.3. ЕФЕКТИ НА ЈОНИЗИРАЧКОТО ЗРАЧЕЊЕ ВРЗ ЛИПИДИТЕ

Бидејќи липидите се соединенија кои се нерастворливи во вода, ефектите од зрачењето врз нивните молекули се сосема поинакви. Така, се докажало дека ниските и средни дози на јонизирачко зрачење предизвикуваат минимални ефекти врз нивната нутритивна содржина (Diehl, 1995).

Ефектите од јонизирачката енергија врз липидите се слични со тие кои настануваат кога липидите се загреваат или се изложени на оксидативни процеси. Притоа, при апсорбирана доза до 50 kGy, промените кои настануваат се одразуваат на помалку од 0,2 % од вкупната липидна компонента во храната и не ја менуваат нутритивната вредност на таквата храна (CAST, 1986). И според Urbain (1986) доколку дозата на зрачење е пониска од 35 kGy, промените во хемиските и физичките карактеристики на липидите се незначителни. Наспроти ова, Dogan *et al.* (2007) истакнуваат дека високите дози на јонизирачко зрачење драматично ја намалуваат содржината на липиди во храната.

Испитувањата покажале дека јонизирачкото зрачење кај липидите може да предизвика неколку видови хемиски реакции и тоа: оксидација, полимеризација, декарбоксилација и дехидратација (Josepson, 1978; CAST, 1986). Притоа, нивниот интензитет ќе зависи од концентрација на липиди во храната, нивниот физички статус (течни или цврсти), профилот на заситеност (присутни заситени масни киселини (SFA), мононезаситени масни киселини (MUFA) и полинезаситени масни киселини (PUFA)), присуство на антиоксиданти, условите во средината (светлина, топлина, кислород,

влага, рН), типот на складирање (вакуум, модифицирана атмосфера, итн.) и условите при складирањето (време, температура и светлина) (Delincée, 1983a).

Кога јонизирачкото зрачење дејствува врз липидите, се создаваат катјонски радикали и ексцитирани молекули, кои понатаму реагираат создавајќи нови соединенија. Бројот на вака создадени крајни продукти е голем и тие најчесто се: масни киселини, естери, алдехиди, кетони, глицериди, алкани, алкени и др. Сепак мора да се нагласи дека овие соединенија се создаваат и кога липидите се термички обработени, дури и во поголеми количества одколку при зрачење, па тие не се ексклузивен производ на зрачењето (Delincée, 1983a).

Одредени испитувања покажале дека зрачењето ја забрзува оксидацијата на липидите (O'Bryan *et al.*, 2008; Stewart, 2009a). Ваквиот ефект е повеќе значаен за храна која содржи поголема концентрација на липиди и повисока содржина на незаситени масни киселини, поради слободните радикали кои се формираат при зрачењето. Тоа се објаснува со констатацијата на Josepson (1978) кој истакнува дека незаситените масни киселини полесно се оксидираат отколку заситените. Според Стефанова *et al.* (2010) овој ефект може да се минимизира со употреба на ниски температури и со намалување на присуството на кислород за време на третманот со зрачење. Во таа насока, Nawar (1977) истакнува дека главните радиолитички продукти кои може да настанат при зрачење на масните киселини во отсуство на кислород се: јаглерод диоксид, водород, јаглерод моноксид, алкани, алкени и алдехиди, при што создадениот јаглерод моноксид може да предизвика појава на црвенило во месото.

Во овој контекст може да се споменат и испитувањата на Rady *et al.* (1988), чии резултати не покажале значителни разлики во вкупните заситени и неаситени масни киселини, кога биле зрачени со дози од 1 kGy, 3 kGy и 6 kGy. За разлика од нив, Katta *et al.* (1991) утврдиле значително намалување на палмитинската киселина и зголемување на олеинската киселина, паралелно со зголемување на дозата од 0,5 kGy до 3 kGy.

Важно е да се нагласи дека ниските и средни дози на јонизирачко зрачење не предизвикуваат формирање на ароматични или хетероциклични прстени или кондензација на ароматичните прстени кои се сметаат за канцерогени, а се знае дека се формираат при високи температури за готвење. Сепак, високите дози на јонизирачко зрачење, особено во присуство на кислород, може да доведат до формирање на течни хидропероксиди, кои иако не се штетни, често имаат непожелен мирис и вкус и

предизвикуваат заматеност. Тоа може да се редуцира со замрзнување на храната или со отстранување на кислородот, пред да биде јонизирачкото зрачење аплицирано (Diehl, 1995).

2.6.1.4. ЕФЕКТИ НА ЈОНИЗИРАЧКОТО ЗРАЧЕЊЕ ВРЗ ВИТАМИНИТЕ

Чувствителноста на витамините во храната третирана со јонизирачко зрачење е мошне важна од нутриционистичка гледна точка. Тоа се должи на фактот што секој витамин е различно радиосензитивен, така што загубата на витамини поради зрачењето ќе зависи од видот и составот на храната (Fan, 2013).

Според Scott & Pillai (2004) најголем број од истражувањата покажале дека витамините ја задржуваат својата активност и после зрачењето. Имено, примарниот ефект на јонизирачкото зрачење врз витамините не е особено изразен поради нивните мали молекули, но антиоксидантните витамини можат да се комбинираат со слободните радикали генерирани за време на зрачењето, па да претрпат промени во структурата и да изгубат дел од својата моќ (Murano, 1995; Stewart, 2001).

Утврдено е дека врз губитокот на витамините најголемо влијание има дозата на зрачење, па при ниски дози на зрачење губењето на витамините е дури помало отколку во традиционалните постапки за обработка на храната (конзервирање, замрзнување или сушење). Некои витамини се губат ако се применат поголеми дози на зрачење, но тие можат да бидат дополнително додадени во храната, како што се додаваат и при други технолошки процеси (Urrows, 1968).

Податоците во литературата укажуваат дека витамините D, K и повеќето витамини од групата B (особено витаминот B₃ (ниацин) и витаминот B₆ (пиридоксин)), се релативно отпорни кон зрачење, додека витаминот C (аскорбинска киселина) и витаминот B₁ (тиамин) се најмалку отпорни. Од витамините растворливи во масти, само витамините A и E покажуваат одредена сензитивност кон зрачењето (Stewart, 2001; Woodside, 2015).

Редоследот на чувствителност на хидросолубилните витамини наведен во литературата според опаѓачка низа гласи: тиамин > аскорбинска киселина > пиридоксин > рибофлавин > кобаламин > ниацин. За липосолубилните витамини,

чувствителноста според опаѓачка низа е: витамин Е > витамин А > витамин D > витамин К (Diehl, 1995; Woodside, 2015).

Одредени истражувања даваат и конкретни проценки во однос на губитокот на витамините при зрачењето. Пресметано е дека загубата на витаминот В₁ при зрачење на свинско месо со доза од 1 kGy била 1,5 % (Wilkinson & Gould, 1996). Всушност овој витамин се покажал како најрадиолабилен од сите анализирани витамини од групата В, при што негово значително губење било забележано дури и при најниска доза на зрачење од 0,5 kGy (Khattak & Klopfenstein, 1989). Така, Stewart (2009a) утврдил значително намалување на тиаминот за 16 %, после третирање на пилешки оброци со јонизирачко зрачење со доза од 1 kGy.

Ефектот на јонизирачкото зрачење врз содржината на ниацинот (В₃) се наведува како незначителен, при што значително намалување на овој витамин се случува само при поголеми дози од 2 kGy, 5 kGy и 5,0 kGy (Khattak & Klopfenstein, 1989). Во овој контекст, ниту Kilcast (1994) не утврдил промени во концентрацијата на ниацин ни при зрачење со доза од 5 kGy, ниту при зрачење со дози до 10 kGy.

Прилично стабилни кон јонизирачкото зрачење се покажале и витамините В₂, В₆ и В₁₂ (Diehl, 1991). Потврда за ова се резултатите на Hanis *et al.* (1988) кои утврдиле загуби на рибофлавин единствено при зрачење со висока доза од 10 kGy. Слично на ова и Fox *et al.* (1989) не утврдиле губење на витамин В₁₂ при зрачење на свински филети со дози од 6,6 kGy. Исклучок од ова наведуваат Underdal *et al.* (1976) кои констатирале загуба на витаминот В₆ во износи од 13 - 16 %, после зрачење со доза од 1 kGy.

Витаминот Е се покажал како најчувствителен од сите витамини, за што потврда даваат резултатите на Lakritz & Thayer (1992). Тие утврдиле негова редукција од 15 до 30 % при доза од 3 kGy. Ваквите губитоци според Diehl (1979) би можеле да се намалат доколку озрачувањето на храната се врши во отсуство на кислород.

Степенот до кој се јавува губење на витамините при третирање на храната со јонизирачко зрачење може да варира врз основа на голем број фактори, вклучително и видот на храната, температурата на зрачење и достапноста на кислород. Истовремено, ефектите на јонизирачкото зрачење врз витамините не се исти кога тие се зрачат одделно (во чист раствор) и кога се во склоп на храната, поради заштитниот ефект на останатите компоненти од храната (CAST, 1986). Сепак, неоспорно е дека загубата на витамини скоро секогаш се зголемува паралелно со зголемување на дозите на

јонизирачко зрачење, а нивното уништување продолжува и после зрачењето, т.е. за време на складирањето на третираната храна (Diehl, 1967).

Деградација на витамините се забележува и при термичка обработка на храната, но испитувањата потврдиле дека со истовремена комбинација на овие два третмани, губитоците на витамини се значително повисоки.

Во таа насока, Kennedy & Ley (1971) утврдиле дека витаминот B₂ при третман со зрачење бил намален за 6 %, при термички третман за 9 %, а после двата третмани заедно, неговиот губиток бил 16 %. Губитокот на витамин B₁ пак, со јонизирачко зрачење била 47 %, со термички третман 10 %, додека со двата третмани заедно дури 54 %. Mitchell *et al.* (1992) утврдиле 11 % губиток на витамин C во овошје и негов губиток од дури 79 % после 3 недели од складирањето. Сето ова потврдува дека термичкиот третман дополнително го забрзува уништувањето на витамините во зрачената храна и тоа значително повеќе отколку во незрачената (Diehl, 1967).

Потврда за дополнителни загуби на витамините поврзани со складирањето на третираната храна се наведени од страна на Diehl (1995) кој констатирал дека во свински црн дроб подложен на зрачење со доза од 5 kGy имало 4 % помалку витамин A и 13 % помалку по 4 недели од складирањето. Слично, загуби од 2 до 7 % на β-каротин биле забележани кај свежо мелено пченично брашно зрачено со доза од 1 kGy (Diehl *et al.* 1991) и околу 44 % за витамин E во производи од овес зрачени со доза од 1 kGy и складирани во период од 6 месеци (Diehl, 1991).

Витамините кои се чувствителни на ефектите од јонизирачкото зрачење може да бидат заштитени доколку се отстрани кислородот за време на третманот или доколку зрачењето се врши на ниски температури (Stewart, 2001). Во таа насока, Diehl (1979) утврдил значителни подобрувања во губитокот на витамините E и B₁ со исклучување на атмосферскиот кислород и пакувања со азот и вакуум.

Постојат и примери кога има зголемени концентрации на некои витамини после третманот со зрачење. Ова веројатно се должи или на претворање на витаминските прекурсори во активни витамини под дејство на зрачењето или на нивна подобра екстракција од храната (Diehl *et al.*, 1991; Diehl, 1992).

2.6.1.5. ЕФЕКТИ НА ЈОНИЗИРАЧКОТО ЗРАЧЕЊЕ ВРЗ ОРГАНОЛЕПТИЧКИТЕ СВОЈСТВА НА ХРАНАТА

Одредувањето на сензорните или органолептичките карактеристики на еден продукт и неговото прифаќање од страна на потрошувачите е мошне важен сегмент во постапките за обработка на храната (Sighn, 1991). Во принцип сите постапки за обработка на храната на некој начин влијаат врз нејзините органолептички својства, па во овој поглед и третманот со јонизирачко зрачење не е исклучок. Имено, како и останатите технолошки процеси, и третирањето на храната со јонизирачко зрачење предизвикува одредени хемиски промени, кои може да влијаат врз нејзиниот сензорен квалитет. Поради тоа, наспроти бројните корисни ефекти кои ги има оваа постапка, таа не е соодветна за третирање на сите видови храна (Loaharany 2003).

Одредени истражувања покажале дека високите дози на зрачење доведуваат до појава на непријатен мирис или вкус во храната (Jay, 2000), како и дека одредени видови храна реагираат неповолно дури и при ниски дози на зрачење (Loaharany 2003). Притоа, млекото и млечните производи се меѓу најосетливите во овој поглед. Така, доза од само 0,1 kGy кај млекото развива непријатен вкус, кој повеќето потрошувачи го сметаат за неприфатлив, па поради тоа, млекото и млечните производи генерално и не се третираат со јонизирачко зрачење (Loaharany 2003). Течните и сувите јајца можат да толерираат дози поголеми од 3 kGy, но за цели јајца, доза од 2 kGy може да предизвика раскинување на мембраната на жолчката (Diehl, 1983).

Наспроти млекото, млечните производи и јајцата, многу видови свежо овошје и зеленчук третирани со дози од 1 kGy или пониски, не манифестираат никакви промени во изгледот, текстурата, вкусот и нутритивниот квалитет (Fan & Sokorai, 2002). Во принцип, овошјето може да биде третирано и со дози до 2 kGy без да се афектираат неговите сензорни својства. Исклучок од ова е одредено мешано овошје (ананас и гуава) кај кое се појавуваат сензорни промени при дози повисоки од 1 kGy (IAEA, 2006).

Во однос на зеленчукот, голем број испитувања потврдиле дека третманот со јонизирачко зрачење не влијае врз неговите сензорни карактеристики. Така, Horak *et al.* (2006) не забележале сензорни промени кај различни видови зеленчук третиран со дози со вредност помеѓу 1 kGy и 2 kGy.

Слично и Lopez *et al.* (2006) не утврдиле промени кај 13 видови зеленчук третирани со дози од 1 kGy до 4 kGy. Единствено, кај некои видови овошје и зеленчук третманот со зрачење може да предизвика нивно омекнување и губење на цврстината како резултат на распаѓањето на клеточните ѕидови на клетките, како и губење на витамин С (Loaharany, 2003). Потврда за ова се резултатите на Lacroix *et al.* (2006) кои утврдиле 17 % намалена цврстина на моркови третирани со јонизирачко зрачење со дози од 0,5-1 kGy.

Во храната со висока содржина на протеини и масти, како што е на пример месото, може да настанат промени во вкусот и мирисот после третирање со високи, но и со ниски дози на јонизирачко зрачење. Овие промени се особено нагласени доколку постапката е направена на амбиентална температура. Тоа се должи на фактот што при зрачење на месото се создаваат голем број на испарливи соединенија и тоа: амини, јагледорододи, сулфурни и карбонилни соединенија, кои потекнуваат од протеините и од липидите во него (Jay, 2000). Поради нив, уште при самите почетоци од воведување на оваа метода за третирање на храната, било констатирано дека главна пречка за третирање на месото со јонизирачко зрачење (особено со високи дози) е развивањето на непријатен мирис, кој го прави неприфатливо за консумирање. Потврда на тоа се испитувањата на Champagne & Nawar (1969), кои детектирале 41 испарливо соединение, при третман на говедско и свинско месо со 7 различни дози (0,5-6 Mrad). Притоа, непријатниот мирис бил забележлив уште при дози од 2 Mrad (20 kGy) и се интензивирал паралелно со зголемување на дозата на зрачење. Слични резултати добиле и Wick *et al.* (1967), кои испитувајќи мелено говедско месо третирано со дози од 20 kGy до 60 kGy, утврдиле постоење на повеќе од 45 испарливи соединенија, чие количество се зголемувало паралелно со дозата на зрачење.

Според испитувањата на Ahn *et al.* (2000), за непријатниот мирис кај месото се одговорни сулфурните соединенија, но нивната концентрација не зависи од дозата, доколку истата е пониска од 10 kGy. Тие истакнуваат дека непријатниот мирис во месото не е резултат на процесите на липидна оксидација (како што се мислело порано), туку се јавува поради распаѓањето на аминокиселините кои содржат сулфур. Затоа, за да се спречи појавата на непријатен мирис и вкус кај месото (особено кај говедското и свинското месо), максималната доза при зрачењето не треба да надминува

2,5 kGy, а зрачењето треба да се врши на ниски температури, па дури и на температури на мрзнење (Diehl, 1983; Loaharany 2003).

Бидејќи третманот со јонизирачко зрачење е особено често применуван врз зачините, ефектите на јонизирачкото зрачење врз сензорните карактеристики на зачините се испитувани и опишани од страна на многу автори (Farkas, 1988; IAEA, 1992; Sadecka, 2007). Праксата покажала дека третирањето на зачините со јонизирачко зрачење е подобар избор отколку нивната термичка стерилизација, која значително ја намалува содржината на етерични масла во нив. Овај факт исто така дава можност честото третирање на зачините со соединенија фумиганти, успешно да се замени со нивно третирање со јонизирачко зрачење. Според Farkas (1988), дозите до 10 kGy ефикасно го елиминираат микробиолошкиот раст кај зачините, без притоа да предизвикаат промени во нивниот сензорен квалитет. Единствено, промени во мирисот и вкусот може да се јави при дози од над 10 kGy, но тие зависат и од други дополнителни фактори (видот на зачинот, температурата на чување, влагата, видот на пакувањето и сл.) (Wilkinson & Gould, 1996). Посебно е анализиран ефектот на јонизирачкото зрачење врз црниот бибер, при што Sadecka *et al.* (2005) утврдиле дека единствени промени во неговите сензорни особини се јавуваат при високи дози од дури 30 kGy. Слични резултати објавиле и Magda *et al.* (2014), во чие истражување дозите до 10 kGy не ги промениле ароматичните ефекти на белиот и црниот бибер.

2.7. БЕЗБЕДНОСТ НА ХРАНАТА ТРЕТИРАНА СО ЈОНИЗИРАЧКО ЗРАЧЕЊЕ

Кога ќе се спомене третирањето на храната со јонизирачко зрачење, првиот впечаток на потрошувачот е дилемата „дали оваа метода е безбедна“. Тоа е секако разбирливо кога се работи за нова технологија за обработка на храна и очекувано е потрошувачите и законодавството на државите да бараат сигурни докази и потврда за безбедноста на ваквата храна.

Може да се констатира дека ниту еден друг метод за обработка на храната не е толку темелно и долготрајно проучуван, како што е третирањето на храната со јонизирачко зрачење. Првите истражувања за безбедноста на зрачената храна започнале уште во 1925 година и биле иницирани од страна на Ludwig & Hopf. Од тогаш па сè до 1986 година, биле направени повеќе од 1200 студии на ова поле (CAST, 1986).

Според Elias (1980) основа за проценување на безбедноста на храната третирана со јонизирачко зрачење се податоците за хемиските промени во неа и податоците од студиите за хранење на животни со ваква храна. Од големиот број научни студии, вредни за истакнување се: повеќегодишни експерименти со хранење на околу 400 000 животни со зрачена храна, со цел за да се утврди нејзината евентуална токсичност, бројни компаративни студии за споредба на промените во нутритивниот состав кај зрачена и незрачена храна, студии за утврдување на канцерогениот ефект на ваквата храна врз животни, испитувања на крвта, ткивните ензими и постмортални хистопатолошки испитувања на експериментални животни хранети со зрачена храна (Ugrows, 1968).

Третирањето на храната со јонизирачко зрачење е можеби единствената постапка која е проучувана од токсиколошки аспект. Голем број на токсиколошки студии биле направени со цел да се одреди дали јонизирачката енергија генерира токсични соединенија во храната (CAST, 1986). Испитувањата на овој план започнале уште во 1950 година и биле најобемни во периодот помеѓу 1950 и 1960 година (WHO, 1999). Во нив, експериментални животни (стаорци, глвци, кучиња, мајмуни, хрчаци и свињи) биле хранети со разновидна храна зрачена со различни дози, со цел да се проценат сите можни токсиколошки ефекти. Бидејќи базата на податоци на овој план е импресивна, тоа овозможило одобрување на третирањето на различни типови на храна во над 60 земји во светот (Sommers *et al.* 2013).

Еден од позначајните проекти направени на овој план бил Меѓународниот проект за третирање на храна со јонизирачко зрачење (IFIP). Овој проект бил спроведен под надзор на Експертскиот комитет за зрачена храна (FAO/IAEA/WHO Expert Committee on Wholesomeness of Irradiated Food), во периодот од 1970 до 1981 година. Истиот имал за цел добивање на сигурни информации околу безбедноста на зрачената храна, со што би им се олеснило на властите во различните земји прифаќање на ваквите производи. Во рамките на овој проект биле спроведени бројни студии за евентуална мутагеност, должина на животот, повеќе-генерациска репродукција и конгенитални абнормалности кај експериментални животни хранети со зрачена храна (Elias, 1980). Податоците од истражувањата во рамките на овој проект резултирале со над 60 технички извештаи со податоци за безбедноста на зрачената храна (CAST, 1986).

Генерално, до 1982 година биле направени над 400 студии со хранење на животни, а нивната ревизија направена од страна на FDA покажала дека само во неколку од нив биле пријавени несакани ефекти. Притоа, несакани ефекти биле забележани само при зрачење со дози поголеми од 10 kGy. Овие несакани ефекти биле поврзани со деструкција на одредени витамини и некои микронутриенти во храната наменета за хранење на лабораториските животни.

Во оваа насока, може да се споменат и одредени конкретни истражувања на овој план. Така на пример, Poling *et al.* (1955) не утврдиле промени во опстанокот, хистопатологијата и репродукцијата на три генерации стаорци хранети со радијациски стерилизирано месо. Thayer *et al.* (1987) не утврдиле зголемен канцероген ризик кај стаорци хранети со радијациски стерилизирано пилешко месо. FDA (1987) не утврдила промени во тежината, хематолошките параметри, ниту хистопатолошки промени кај стаорци хранети со пилешко месо зрачено со дози од 3 kGy до 6 kGy. Strik (1986) не констатирал разлики во поглед на растот, репродукцијата, хематологијата и хистопатологијата кај глувци хранети со храна третирана со дози од 50 kGy.

Негативни ефекти од јонизирачкото зрачење не биле забележани ниту при долготрајните студии за токсичност. Така на пример, Swallow (1991) наведува дека 40 генерации на животни хранети со храна стерилизирана на овој начин не покажале ефекти на токсичност. Nagiawara *et al.* (2005) не утврдиле несакани ефекти кај стаорци хранети во период од 90 дена со засладувач зрачен на 5 kGy. Во 63 релевантни долготрајни канцерогени студии анализирани од страна на FDA, не биле забележани

канцерогени ефекти и значајни токсиколошки наоди кај експериментални стаорци. Најпосле, од 60 студии за индукција на мутагенезата поради зрачена храна прегледани од страна на FDA, само во неколку имало несигурни негативни резултати од јонизирачкото зрачење.

Сепак и покрај ваквите импресивни резултати, постојано се наметнувало прашањето: „дали оваа голема база на податоци е соодветна за да се потврди безбедноста на храната третирана со јонизирачко зрачење за човекова употреба“. Наспроти многубројните студии направени со експериментални животни, студиите врз човечки волонтери наведени во литературата се оскудни.

Меѓу првите такви испитувања е една студија спроведена од страна на армијата на САД, во која човечки волонтери биле хранети со 54 различни видови на храна, зрачена на високи дози (25-40 kGy) во период од 15 дена. Резултатите не покажале токсични ефекти, ниту некакви клинички промени кај испитаниците, дури ниту после период од една година (Bierman *et al.* 1958). Слично, Plough *et al.* (1957) во студија со човечки доброволци хранети 15 дена со свинско месо зрачено со дози од 30 kGy, не утврдиле постоење на негативни ефекти. Пообемна студија со човечки волонтери била направена во Кина, каде 70 здрави доброволци поделени во 2 групи (контролна и експериментална), биле следени 90 дена. Притоа, контролната група добивала нетретирана храна, додека експерименталната група користела различна храна третирана со јонизирачко зрачење. Извршените физички прегледи, хромозомски, хематолошки и мутагени тестови, не покажале негативни ефекти ниту било какви разлики помеѓу единките од двете групи (Shao & Feng, 1988).

Посебна загриженост поврзана со третирањето на храната со јонизирачко зрачење била дилемата дали оваа метода предизвикува радиоактивност во храната. Поради тоа, голем дел од испитувањата биле насочени токму кон таа проблематика. Согласно извештаите на Светската здравствена организација, третирањето на храната со дозите кои се одобрени, не продуцира никаква радиоактивност во храната. Всушност енергијата која храната ја прима кога е изложена на јонизирачко зрачење е многу помала од таа кога храната се загрева (WHO, 1981).

Elias (1980) истакнува дека третирањето на храната со јонизирачко зрачење не се разликува во физичка смисла од било која друга постапка за преработка на храна која вклучува примена на енергија. Притоа, нивото на енергија што се користи врз храната е

премногу ниско за да предизвика индуцирана радиоактивност, но уникатноста на оваа метода е во однос на посебниот тип на енергија што се користи и токму тоа предизвикува посебно внимание. Бројните студии кои биле направени на овој план потврдиле дека износот на радиоактивност индуцирана во храната кога таа е третирана со кобалт 60 или цезиум 137 е толку минимален, што е всушност немерлив. Потврда за ова се и резултатите од експериментите спроведени од страна на армијата на САД, во кои не биле утврдени мерливи нивоа на радиоактивност, дури ни при дози од 68 kGy до 71 kGy (CAST, 1986).

Во стручната литература се наведуваат и податоци дека при третирање на храната со јонизирачко зрачење се создаваат одредени хемиски супстанции, наречени радиолитички продукти, кои припаѓаат на различни хемиски групи (јаглеводороди, фурани, 2-алкилциклобутанони, холестерол оксиди и алдехиди). Поради загриженоста која се појавила за нивните ефекти врз човековото здравје, биле направени опсежни студии поврзани со овие соединенија. Проучувањата на нивната природа, количествата во кои се создаваат и нивното однесување, потврдиле дека поголемиот број од овие соединенија се создаваат во храната и при останатите третмани за нејзина обработка, така што тие не се ексклузивен производ на зрачењето. Сепак, количествата во кои тие се јавуваат кога храната е третирана со јонизирачко зрачење, во споредба со нејзиното изложување на други процеси, може значително да се разликуваат.

Elias (1980) истакнува дека многу од овие новосоздадени соединенија може да се најдат и во храна која не е третирана со зрачење, а нивните концентрации во зрачената храна се движат во граници на ppm (parts per million) или пониски од тоа. Тој наведува дека сите достапни податоци за нивното присуство во зрачената храна и многу ниските концентрации во кои се јавуваат, сугерираат на општ заклучок дека опасноста по човековото здравје од нивното присуство е занемарлива.

До неодамна се верувало дека хемиските соединенија наречени 2-алкилциклобутанони, се единствени радиолитички производи карактеристични за храната третирана со јонизирачко зрачење. Студиите за нивно создавање покажале дека тие настануваат од масните киселини присутни во масната храна и не се јавуваат во нетретираната храна. Но, наспроти ваквите убедувања и долгогодишни сомнежи, Variyar *et al.* (2008) сепак го детектирале нивното присуство и во комерцијалната нетретирана храна.

Покрај опишаните 2-алкилциклобутанони, загаженост предизвикало и создавањето на фурани, за кои се знае дека се токсични и канцерогени органски соединенија. Но и за нив испитувањата потврдиле дека може да се формираат и во готовата храна која содржи состојки како глукоза, фруктоза или сахароза. Така, студијата со водни раствори на такви шеќери направена од страна на Fan (2005) покажала дека при доза од 5 kGy се создаваат концентрации на фурани од 2 до 7 ng/mL, додека при термички третман со автоклав, за време од 25 минути, се создаваат од 0 до 3 ng/ml фурани. Притоа, било утврдено дека рН вредноста на растворот е главниот фактор кој влијае врз формирањето на фуран, при што како што се зголемува рН вредноста на растворот од 3 до 8, фуранот предизвикан од зрачењето се намалува.

Студии за формирање на фурани во водни раствори на мед, сируп од пченка, натриум аскорбат и натриум ериторбат биле направени и од страна на Fan & Sommers (2006). Според нив, во таквите водни раствори, зрачењето доведува до формирање на фурани. Спротивно, фураните не биле пронајдени при зрачење на готови оброци од месо, со дози од 4,5 kGy и 10 kGy. Истите автори наведуваат дека концентрации на фурани до 9 ng/g биле детектирани и во незрчена, готова за употреба храна. Спротивно на овие сознанија, Fan & Mastovska (2006) пронашле дека третманот со зрачење дури и го намалува формирањето на фурани во месо кое содржело високо ниво на фурани генерирани со термички третман.

Може да се заклучи дека истражувањата поврзани со безбедноста на зрачената храна покажале дека сите добиени радиолитички производи се многу слични, ако не и идентични со оние што се наоѓаат во непреработената храна или во храната која била подложена на конвенционална обработка. Ова јасно укажува на фактот дека загаженоста на јавноста за безбедноста на ваквата храна е неоснована, т.е дека третирањето на храната со јонизирачко зрачење, доколку се спроведува во услови на добра производна практика (GAP) е високо ефикасен и безбеден процес во однос на човековото здравје. Ваквиот став е потврден и од страна на меѓународните тела: Светската здравствена организација (FAO), Организацијата за храна и земјоделство (WHO) и Codex Alimentarius.

Според последните податоци во литературата, на годишно ниво, 26 нации произведуваат повеќе од 500 000 тони зачини, коренови култури, пченица, мелено месо, овошје и зеленчук, третирани со јонизирачко зрачење, притоа без извештаи за

морбидитет поврзан со тоа (GHI, 2018). Сепак, мора да се потенцира дека за да се задржи потребното високо ниво на безбедност со минимални нутритивни промени, а истовремено повеќе корисни ефекти од оваа метода, мора да се исполнат посебни барања и тоа: користење на специфични извори на зрачење, ниско ниво на енергија, проверка на дозите на зрачење за време на процесот, следење на стандардите за задржување на физичките и хемиските својства на амбалажата и примена на брзи и лесни аналитички методи за докажување дека храната била третирана со јонизирачко зрачење (Elmadfa *et al.* 1999). Ваквите услови се јасно наведени во Анекс 1 од Европската директива 1999/2 ЕС, при што третирањето на храната со јонизирачко зрачење е одобрено само кога е технолошки разумен и неопходен процес, безбеден за човековото здравје, кога се спроведува во контролирани услови и кога не се користи како замена за добрите производствени практики (Directive 1999/2/EC).

2.8. ОЗНАЧУВАЊЕ НА ХРАНАТА ТРЕТИРАНА СО ЈОНИЗИРАЧКО ЗРАЧЕЊЕ

Со цел потрошувачите да бидат информирани дали одредена храна е третирана со јонизирачко зрачење или не, регулативите ширум светот предвидуваат таквата храна да биде соодветно етикетирани. Таа мора да биде означена со симболот за зрачење (Radura) заедно со изјавата „Третирана со зрачење“ (www.fda.gov). Симболот Радура, кој е меѓународен симбол за храна третирана со јонизирачко зрачење е создаден во Холандија, кон крајот на 1960-тите години. Овој симбол мора да стои во непосредна близина на името на храната. Притоа, Генералниот стандард на Codex alimentarius наложува и секоја состојка која е третирана на овој начин, а која во храната е застапена повеќе од 5 %, исто така да биде соодветно декларирана. Истовремено, кога некој производ е подготвен од една состојка која била третирана со јонизирачко зрачење, етикетата на производот мора да содржи писмена изјава за тоа (IAEA 2015).

Спротивно на овој став, во последно време се појавуваат и други размислувања. Така, врз основа на долгата историја на употреба и потребите на меѓународната трговија, работната група на GHI (Global Harmonization Initiative) препорачува сите намирници кои се третирани под дозите што не го загрозуваат сензорниот квалитет на храната и се сметаат за здрави, да не носат задолжителна етикета. Според овој став, подобро е на производите да има ознака која што ќе биде едукативна, поттикнувајќи го на тој начин купувањето на безбедна и здрава храна од страна на потрошувачите (GHI 2018).

2.9. ПРИФАЌАЊЕ НА ХРАНАТА ТРЕТИРАНА СО ЈОНИЗИРАЧКО ЗРАЧЕЊЕ ОД СТРАНА НА ПОТРОШУВАЧИТЕ

И покрај сите познати позитивни ефекти кои јонизирачкото зрачење ги има кога се аплицира врз храната, сепак, ставовите на потрошувачите кон оваа методологија се генерално негативни и нејзиното прифаќање од страна на јавноста оди исклучително тешко. Јавните дебати за прифаќање на храната третирана со јонизирачко зрачење започнале уште во 1980 година, а нивната контроверзност поттикнала различни потрошувачки групи, академски институции и компании специјализирани за следење

на мислењето на потрошувачите, да определат став за тоа (Loaharanu, 2003). Направени биле многу истражувања со цел да се проценат ставовите на потрошувачите (ICGFI, 1990; Gunes & Tekin, 2005; Fox, 2002), а резултатите постојано покажувале дека најголем број од нив имаат бројни заблуди за оваа технологија и веруваат дека зрачењето ја прави храната радиоактивна (Jankuloski *et al.* 2021). Голем дел од потрошувачите не биле доволно информирани за предностите и безбедноста на оваа метода и редовно истакнувале дека им се потребни дополнителни информации за тоа (Elmadfa *et al.* 1999; Loaharanu, 2003; Jankuloski *et al.* 2021).

Голем поттик за прифаќање на храната третирана со јонизирачко зрачење се случил во САД, во 1993 година, после масовно труење со храна контаминирана со *E.coli O157:H7*. Овој настан не бил единствен на ова поле. Епидемијата со *E. coli* во свеж спанаќ во 2006 година, честите појави на труење со свежи производи (зелена салата, семиња и спанаќ), потребата од постојана контрола на бактеријата *Listeria monocytogenes* и опасноста од труење со бактеријата *Vibrio vulnificus*, го издвоиле третирањето на храната со јонизирачко зрачење како една од најсигурните постапки за одржување на храната безбедна (Fan & Sommers, 2013).

Од сето ова може да се констатира дека ставовите на потрошувачите и нивното прифаќање на храната третирана со јонизирачко зрачење во голема мера зависат од правилното информирање за предностите, безбедноста и бенефитите од оваа постапка. Или, како што наведува Bruhn (1998), информациите за третирањето на храната со јонизирачко зрачење би требало да вклучуваат: придобивки од таквиот производ, негова безбедност, сигурност по здравјето на конзументот, безбедност на животната средина и одобрување на производот од светски признати здравствени власти. Само во такви услови потрошувачите ќе имаат можност да донесат правилна одлука за купување на производ со висок квалитет и безбеден за нивното здравје.

2.10. ДЕТЕКЦИЈА НА ХРАНАТА ТРЕТИРАНА СО ЈОНИЗИРАЧКО ЗРАЧЕЊЕ

Иако третирањето на храната со јонизирачко зрачење веќе е докажано безбеден процес, неопходно е да постои контрола како во неговото спроведување, така и при тргувањето со ваквата храна. Тоа произлегува од правото на потрошувачите да знаат дали одредена храна е третирана со јонизирачко зрачење или не, како и од правото на преработувачите на храна кои треба да бидат информирани дали материјалите кои ги користат биле третирани со јонизирачко зрачење. Од тие причини, идентификацијата на храната третирана со јонизирачко зрачење е важен сегмент за конзументите, за властите, за трговците и за индустријата за храна (Hayashi, 1993).

Во последните децении, неопходноста од детекција дали одредена храна била или не била третирана со јонизирачко зрачење, произлегува и од потребата за контрола на трговијата со ваква храна. Имено, голем број хранливи производи (пилешко месо, ракчиња, жабји копани, различни видови на сушен зеленчук, компири и овошје), легално се третираат со јонизирачко зрачење во земјите во кои тоа е дозволено, а потоа се извезуваат во земји во кои не е дозволено нивно зрачење. Поради тоа, сите држави мора да имаат развиени сигурни аналитички методи со кои ќе одредат дали дадена храна била или не била третирана со јонизирачко зрачење (Meier, 1991).

Според Stewart (2001) ефектите кои јонизирачкото зрачење ги има врз главните состојки во храната (шеќерите, протеините, мастите) се толку минимални, што биле потребни долги години да се развијат сигурни аналитички методи. Поради тоа, методите за детекција на третираната храна се развивале континуирано и постепено, паралелно со развивањето на стандардните регулаторни процедури поврзани со овој процес (Chauhan *et al.* 2009).

Во 1990 година, FAO и IAEA предложиле неколку групи на аналитички постапки за детекција на храна третирана со јонизирачко зрачење и тоа: физички методи, хемиски методи и биолошки методи. Причината за постоење на повеќе вакви методи се должи на фактот што поголемиот број физички, хемиски и биолошки промени во храната која е третирана со јонизирачко зрачење не се уникатни или не се доволно долготрајни за да бидат детектирани после одреден временски период (Hayashi, 1993).

Праксата покажала дека не постои еден универзален аналитички метод кој би можел да се примени на сите видови храна. Тоа се должи на фактот што секоја храна

има различен хемиски состав и физичка состојба, а и дозите на јонизирачко зрачење кои се аплицираат се различни по интензитет и зависат од посакуваната цел. Поради тоа, комбинацијата на неколку аналитички методи често пати е најдобрата алтернатива во праксата (Rosental, 1991).

Според Stevenson & Stewart (1995) најчести методи кои се користат во праксата се: физичките постапки (ESR и TL), хемиските постапки за одредување на циклобутанони и јаглеводороди и биолошките анализи DEFT/APC, DNA comet assay методот, enzyme-linked immunosorbent assay или ELISA тест и LAL (limulus amebocyte lysate) тестот.

Бидејќи секој од овие методи има свои карактеристики, предности и специфична апликација, во продолжение е даден нивен краток опис.

Физичките методи кои се користат во праксата, детектираат одредени специфични карактеристики на храната третирана со јонизирачко зрачење. Иако постојат повеќе видови физички методи, најдоверливи резултати покажале методите кои ги идентификуваат слободните радикали во зрачената храна (ESR) и методите кои мерат луминисценција ослободена од храната третирана со јонизирачко зрачење (Gryczka *et al.* 2018).

Методите на *електрон-спинска резонанција (ESR)* се прифатени како стандардни методи во земјите од ЕУ и се применуваат за детекција на третирањето на различни видови храна со јонизирачко зрачење, бидејќи се специфични, брзи, едноставни и недеструктивни. Тие се применуваат за детекција на слободните радикали во зрачената храна. Иако слободните радикали формирани во храната се лабилни и не остануваат долго време во меките ткива, радикалите формирани во цврстата храна или храната која содржи коски, школки и семиња, се доволно стабилни за да се детектираат и неколку месеци по зрачењето. Според тоа, овие методи не се погодни за детекција на храна која содржи поголемо количество на влага во неа. Сепак, одредени автори потврдиле дека постои можност овие методи да се применат и врз одредена растителна храна, како на пример: сушена зелка, моркови, лук и кромид, па дури и после 6 месеци од нивното озрачување и складирање (Hayashi, 1993; Chauhan *et al.* 2009; Arvanitoyannis, 2010; Meier, 1991). Во истражувањата на Shimoyama & Nakamura (2006), овие методи се покажале ефикасни и за детекција на третирано пченично брашно,

додека според Helle *et al.* (1992), ESR методите може да се користат за детекција на месо, риба, сушено овошје, зачини и ореви.

Луминисцентните методи се покажале мошне корисни за детекција на зрачењето во повеќе видови сува храна која содржи минерално загадување од почвата. Овие минерални контаминанти, најчесто содржат кварц или фелдспат, кои со својата кристална форма ја акумулираат јонизирачката енергија во кристалните решетки, задржувајќи ја со години. Потоа, оваа енергија може ефикасно да се ослободи од нивните кристални решетки во облик на луминисценција, под дејство на загревање, со хемиски соединенија или со стимулација со светлина со соодветна бранова должина (Gryczka *et al.* 2018). Согласно тоа, постојат неколку типови луминисцентни техники кои се објаснети во продолжение.

Термолуминисценцијата претставува емисија на светлина под дејство на топлотна стимулација на третираната храна. Ова се должи на фактот што апсорбираната енергија од јонизирачкото зрачење, останува складирана во минералниот дебрис (присутен во најголем број видови храна), па кога температурата на вака озрачената храна ќе биде доволно висока, оваа енергија се ослободува во вид на светлосни фотони. Овие фотони потоа може да се детектираат со осетлив апарат, при што количеството на ослободена светлина (фотони) е во корелација со дозата на зрачење. Оваа метода е посебно применлива за сува храна во која ефектите од зрачењето остануваат стабилни долг период од складирањето, како и за храна која била третирана и складирана во замрзната состојба (Rosental, 1991; Wilkinson & Gould, 1996). Во нашата држава согласно оваа метода е развиен протокол за испитување на храна третирана со јонизирачко зрачење која содржи силикатни минерали од страна на Сандева (2019), а се спроведува во Лабораторијата за контрола на храна третирана со јонизирачко зрачење при Факултетот за електротехника и информациски технологии - Скопје.

Хемолуминисценцијата претставува емисија на светлина од третираната храна, која се иницира со додавање на хемиски раствори кои се фотосензитивни, како што е на пример луминол-хемин растворот. Уште се нарекува и лиолуминисценција. Според Schreiber (1993) со неа успешно се детектира замрзната храна после период од 30 дена од нејзиното третирање со јонизирачко зрачење, додека според испитувањата на Meier

(1991), чувствителноста на оваа метода е релативно мала, бидејќи само 65 % од примероците може да се детектираат прецизно.

Фотостимулираната луминисценција била предложена, а подоцна со темелни истражувања и потврдена од страна на Sanderson (1990; 2003), како алтернативна замена за термолуминисценцијата. Се темели на употреба на оптичка стимулација (фотостимулација) за детектирање на примероци од храна третирана со јонизирачко зрачење. Претставува брз и едноставен физички метод, кој вообичаено се користи како прв метод за детекција на храна третирана со јонизирачко зрачење. Заробената енергија од зрачењето се ослободува со стимулација со светлина со бранова должина од 450-950 nm, а ослободениот фотолуминисцентен сигнал се детектира преку броење на емитираните фотони. Според Citrubinis *et al.* (2005) фотостимулираната луминисценција и термолуминисценцијата се најпогодни техники за детекција на житарици третирани со јонизирачко зрачење, додека останатите методи (ESR и DNA comet assay) се применуваат само во одредени ситуации. Оваа метода успешно се применува и во нашата држава, во Лабораторијата за контрола на храна третирана со јонизирачко зрачење при Факултетот за електротехника и информациски технологии - Скопје (Сандева, 2014; Сандева *et al.* 2015; Ginovska *et al.* 2016).

Постојат и други физички методи за оваа намена (мерење на електроспроводливост, мерење на електричен отпор, мерење на вискозност), но истите во праксата се покажале помалку ефикасни. Мерењето на електроспроводливост се покажало корисно за детекција на третирани компири складирани во период од 6 месеци. Мерењето на електричен отпор било применето за детекција на зрачена риба, додека мерењето на вискозноста се покажало ефикасно за откривање на зрачени зачини и дехидриран зеленчук (Ehlermann, 1972; Farkas *et al.* 1990; Hayashi, 1982).

Хемиските методи за детекција на храна третирана со јонизирачко зрачење се темелат на откривање на одредени хемиски промени во компонентите од храната. Овие методи не се строго специфични, бидејќи ваквите промени, зависат и од видот на храната, количеството на протеини, липиди, јаглехидрати, масти и вода во неа, како и од условите во средината (дозата на зрачење, температурата и присуството или отсуството на кислород).

Бидејќи количеството на енергија апсорбирана од страна на зрачената храна е доста помала отколку количеството на енергија апсорбирана при нејзино загревање,

ваквите хемиски промени се значително помали во споредба со тие кои настануваат кога храната се загрева. Истовремено, се покажало дека одделните хемиски компоненти во храната (протеини, масти, јаглехидрати и сл.) се многу поосетливи на јонизирачкото зрачење кога се третираат одделно (самостојно), отколку кога се заедно во комплексната хранлива матрица. Поради ова постојат потешкотии при воспоставување на сигурни хемиски методи за оваа намена.

Генерално, хемиските методи кои се користат во праксата се темелат на одредување на промени во протеините, создавање на радиолитички продукти од аминокиселините, мастите и јаглехидратите, одредување на промени во вискозноста, промени во хемискиот состав на нуклеинските киселини, промени во концентрацијата на витамини, како и создавање на испарливи и други соединенија во храната (IAEA, 1991).

Биолошките методи за детекција на храната третирана со јонизирачко зрачење се темелат на следење на различни промени во клетките и ткивата на третираната храна. Во принцип сите видови на складирање или преработка на храната предизвикуваат некакви промени во прехранбениот производ, било да е тоа во профилот на DNA, во цитолошките и физиолошките карактеристики или во микробиолошката флора. Поради тоа, биолошките методи може да се користат само како методи за скрининг, бидејќи не се строго специфични и можат да дадат само индикација за евентуален третман на храната со јонизирачко зрачење (Rodrigues & Venancio, 2018).

Во одреден број истражувања, како биолошки методи се користат промените во морфолошко-хистолошките карактеристики на растителните и животинските ткива. Така на пример, инхибицијата на р'тењето на компирите, кромидот и житариците, не е само посакуван ефект од зрачењето, туку и видлива биолошка промена. Сепак, оваа појава е доста спора и долготрајна, па оттаму и несоодветна како метода за рутинска анализа на третираната храна (Rosental, 1991; IAEA, 1991).

Најчесто користени биолошки методи во праксата се четири постапки кои даваат поверодостојни резултати, а тоа се: техниката на директен епифлуоресцентен филтер (DEFT), одредување на вкупен број на колонии (APC-Aerobic Plate Count), DNA comet assay методот и LAL тестот (Limulus Amebocyte Lysate test) (Rodrigues & Venancio, 2018).

Техниката на директен епифлуоресцентен филтер (DEFT) и броењето на вкупен број на колонии (APC) се методи за идентификација на микробиолошката флора во храната, бидејќи оваа флора значително се менува под дејство на јонизирачкото зрачење. Притоа, со комбинирана употреба на овие две постапки успешно се покажува бројот на организми кои се елиминирани со зрачењето. Детекцијата на зрачењето со оваа техника се заснова на компарација помеѓу вкупниот број на клетки и бројот на клетки способни да се удвојат. Оваа метода успешно се користи за детекција на третирано месо, рибини производи, млеко, билки и зачини (Fink & Rehmann, 1994).

DNA comet assay методот е развиен од страна на Östling & Johanson (1984) и е мошне често користен биолошки метод за детекција на зрачењето бидејќи молекулата на DNA е особено осетлива на неговите ефекти. Многу истражувања се темелат токму на детекција на нејзините промени, при што се покажало дека фрагментациите на DNA се одлични биолошки маркери за детекција на зрачењето. Според Cerda *et al.* (1997) промените во DNA успешно може да се следат со микрогел електрофореза, при што оваа постапка е ефикасен и брз скрининг, применлив за различни видови храна, како од растително, така и од животинско потекло (Cerda *et al.* 1997; Araujo *et al.* 2004; Khawar *et al.* 2011).

LAL тестот се користи како микробиолошки метод за одредување на ендотоксин во комбинација со броење на грам негативните колонии на микроорганизми. Кога голем број грам негативни колонии се присутни во примерокот, се добива висок LAL титар и обратно. Притоа, кога висок титар се добива без детектирани грам негативни колонии, тоа е индикативна вредност за бројот на мртви бактериски клетки. Оваа метода успешно се спроведува за детекција на зрачено пилешко месо и тоа како стандардизирана скрининг постапка (Hayashi, 1982; IAEA, 1991; Rodrigues & Venancio, 2018).

За сите овие наведени методи, изготвени се и европски стандарди кои се прикажани во Табела 9. Во табелата може да се види името на стандардот, методот на кој истиот се заснова, компонентите кои се идентификуваат како и храната за која тој стандард се однесува.

Табела 9. Европски стандарди за детекција на храна третирана со јонизирачко зрачење (Адаптирано од Arvaitoyannis, 2010).

Методи	Стандард	Метод за детерминација	Компоненти кои се идентификуваат	Храна за која се однесува стандардот
Физички методи	EN 1786:1996	ESR (електрон-спин резонанс)	Парамагнетни соединенија	Храна која содржи коски (говедски коски, коски од пастрмка, пилешки коски)
	EN 1787: 2000	ESR (електрон-спин резонанс)	Парамагнетни соединенија	Храна која содржи целулоза (фстаџи, црвен пипер, свежи јагоди)
	EN 1788:2001	TL (термо-луминисценција)	Силикатни минерали	Храна која содржи силикатни минерали (растенија, зачини, ракчиња, свежи и дехидрирани плодови и зеленчук, компири)
	EN 13708:2001	ESR (електрон-спин резонанс)	Парамагнетни соединенија	Храна која содржи кристален шеќер (суви смокви, сушено манго, сушена папаја, суво грозје)
	EN 13751:2002	PSL (фотостимулирана луминисценција)	Минерални остатоци	Школки, растенија, зачини и зеленчуци за зачини
Хемиски методи	EN 1784:1996	(GC) Гасна хроматографија на јагледороди	Радиолитички продукти	Храна која содржи масти (сурово пилешко, свинско, говедско месо, камембер, авокадо)
	EN 1785:2003	GC/MS Гасна хроматографија/ масена спектрометрија	DCB (dodecylcyclobutane) TCB (tetradecylcyclobutane)	Храна која содржи масти (сурово пилешко, свинско, течно цело јајце, лосос, камембер)
Биолошки методи	EN 13783:2001	DEFT/ APC директен епифлуоресцентен филтер (DEFT) и аеробното вкупно броење (APC)	Компарација на бројот на живи клетки со вкупниот број добиен со DEFT	Растенија, зачини
	EN 13784:2001	DNA comet assay Electrophoresis time and field strength	Микрогел електрофореза за одредување на оштетувањата на DNA	Месо (пилешко, паткино, свинско, говедско, телешко, јагнешко), риба (пастрмка, лосос), бадеми, смокви, леќа, соја, грав, јагоди, грејлфрут, ленено семе, сусам, семки од сончоглед
	EN 14569:2004	Limulus amebocyte lysate (ЛАЛ тест)/ Gram negative bacteria	Ендотоксин со LAL тест и енумерација на вкупниот број на грам негативни бактерии во примерокот	Месо од живина (гради, нозе, свежи крилца разладени или замрзнати трупови со или без кожа)

3. ПРОБЛЕМ И ПРЕДМЕТ НА ИСТРАЖУВАЊЕ

Од претходно образложените научни достигнувања, како и поради сè уште постоечките дилеми и отворени прашања на ова поле, може да се дефинира проблемот на истражувањето, кое во овој докторски труд гласи: „дали јонизирачкото зрачење предизвикува промени во квалитативниот состав на храната и колкав е степенот на изразеност на ваквите промени, доколку се направи споредба помеѓу храна третирана со јонизирачко зрачење и храна која не е третирана со јонизирачко зрачење”.

Компаративната анализа на евентуалните промени во квалитативниот состав е извршена на примероци од пченица (*Triticum aestivum* L.), чиј избор како предмет на истражување е направен поради неколку причини:

- Пченицата претставува најважната житна култура која се одгледува во светот за човекова исхрана, а како најважно лебно жито е најзастапена култура и во нашата држава. Според официјалните статистички податоци на Државниот завод за статистика, во Р. С. Македонија се произведуваат 6 видови житни култури: пченица, 'рж, јачмен, овес, пченка и ориз. Притоа, за Р. С. Македонија од најголемо значење се пченицата и оризот, кои се користат за исхрана на населението, додека останатите култури служат главно како добиточна храна. Производството на пченица во Р. С. Македонија во 2019 година изнесувало 239 916 тони, со принос од 3485 kg/ha, а според извештаите на Државниот завод за статистика, во 2019 година со пченица биле засадени 80 924 хектари или 34 % од вкупната земјоделска површина. Овие засадени површини, во 2020 година се зголемиле на 159 059 хектари (<https://zelenaberza.com.mk/>).
- Главниот проблем кој се јавува при чување на житните производи после жетвата е наездата од инсекти. Контролата на инсектите во ваквите житни производи вообичаено се прави со употреба на соединенија наречени фумиганти, како што се: етилен дибромид (EDB), етилен оксид (EtO), метил бромид, водород фосфид и други. Употребата на овие пестициди е забранета или строго ограничена во повеќето земји во светот од здравствени и еколошки причини, а етилен дибромидот (EDB) е признат и како канцерогена супстанција. Неговата употреба е забранета од страна на Агенцијата за заштита на животната средина на САД

уште од 1984 година. И останатите фумиганти (метил бромид и водород фосфид) се особено штетни за животната средина, па поради тоа третирањето на житата со јонизирачко зрачење е постапка која е предложена во многу земји во светот како одлична алтернатива за фумигацијата (Lorenz & Miller, 1975; Miller, 2005). Потврда на ова е фактот дека употребата на јонизирачкото зрачење во дози од 0,2 kGy до 0,5 kGy е одобрена од страна на Агенцијата за храна и лекови на САД уште во 1963 година, за контрола на инсекти во пченицата и пченичното брашно (Thayer, 2004).

- Освен проблемот со инсектите, познато е дека пченицата е подложна на бројни болести предизвикани главно од фитопатогени габи. Нивниот развој зависи од различни фактори во животната средина (блага зима, висока влажност и температура, непочитување на препораките за плодород, видот на сортата, примената на вештачко ѓубриво и густината на садење (<https://zelenaberza.com.mk/>). Може да се каже дека контаминацијата на житата со видовите од родот *Aspergillus* е скоро неизбежна кога условите во надворешната средина ќе го поттикнат тоа. Понатаму, неправилното складирање на житните производи после жетвата, дополнително го стимулира развојот на *Aspergillus* видовите (Shi *et al.* 2017). Притоа, фитопатогените соеви од родот *Aspergillus* (*A.parasiticus* и *A.flavus*) се најчестите природни жители кај житата, но тие продуцираат секундарни метаболити наречени афлатоксини, кои се токсични и особено опасни за човековото здравје. Нивната ингестија преку храната предизвикува бројни токсични последици првенствено на црниот дроб, како и состојба на акутна афлатоксикоза со висока стапка на смртност. Хроничниот ефект на афлатоксинот е потврдено карциноген, со пропратни бројни нарушувања во метаболитичките процеси и особено нагласена опасност од хепатоцелуларен карцином (Fung, 2006). Поради ваквите опасности, од страна на Агенцијата за храна и лекови на САД, одредени се дозволени концентрации за афлатоксини во пченката и останатите житарици кои се употребуваат за човекова исхрана или како храна за животни (FDA, 2021).
- Иако главна цел на индустријата за храна и земјоделство е токму превенција од развој на фитопатогени габи, житариците се редовно подложни на

контаминација со афлатоксини, кога надворешните услови се погодни. Постојат податоци во литературата кои укажуваат на загуби од 225 милиони долари на годишно ниво при производство на пченка контаминирана со афлатоксини. Поради тоа, мерките за детоксификација на житата од афлатоксинска контаминација треба да бидат првенствена примарна цел на индустријата на житни култури (Shi *et al.* 2017).

- Долго време ниту еден официјален метод за редукција на нивото на афлатоксини во житата не бил целосно прифатен. Истражувани се различни стратегии со физички, хемиски и биолошки пристап, но секоја од нив покажала одреден степен на успех во својата ефикасност, како и одредени ограничувања (Wu *et al.* 2009). Во неодамнешните научни испитувања се наведува една понова метода за редукција на афлатоксините наречена HVACP (*High voltage atmospheric cold plasma-HVACP*), со која се извршила деградација на афлатоксинот за 62 – 82 %, но повторно не се постигнало негово целосно уништување (Shi *et al.* 2017).
- Третирањето на пченицата со јонизирачко зрачење е физичка постапка која сè повеќе се истакнува како економски исплатлива микробиолошка контрола на житните култури. Истовремено, таа е мошне ефикасен начин за контрола на наездата од инсекти, со потенцијал да ги заштити житните култури за време на складирањето, но и да подобри одредени карактеристики кај нив, како што се: мелење на зрната, својства на тестото и квалитет на печењето.
- Најпосле, иако третирањето на храната со јонизирачко зрачење е испитувано кај различни хранливи производи, во литературата не постојат доволно податоци за ефектите на јонизирачкото зрачење врз квалитативниот состав на пченицата. Поради тоа се неопходни дополнителни испитувања во таа насока. Затоа, со примена на одобрени дози на јонизирачко зрачење и следење на евентуалните промени во испитуваните примероци, испитувањата кои се направени во овој докторски труд ќе придонесат кон збогатување на стручната литература со нови податоци и информации на ова поле.

4. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ НА ИСТРАЖУВАЊЕТО

Врз основа на поставениот проблем и предмет на истражување, примарна научна цел во овој докторски труд е стекнување на сознанија за влијанието на јонизирачкото зрачење врз квалитативниот состав на храната, преку испитување на ефектите на јонизирачкото зрачење врз примероци пченица од видот *Triticum aestivum* L.

За постигнување на дефинираната цел во ова истражување, реализирани се следните задачи:

- ✓ Определување на квалитативните својства на пченица (*Triticum aestivum* L.) преку одредување на параметри согласно Правилникот за квалитет на житата, мелничките и пекарските производи (Службен весник бр. 57/88 член 9-22) и тоа: количество на јаглехидрати, количество на вкупни протеини, количество на масти, количество на диететски влакна, количество на влага, количество на пепел, количество на песок (пепел нерастворлив во HCl) и вкупна концентрација на афлатоксини во пченицата;
- ✓ Определување на микробиолошкиот профил на пченицата (*Triticum aestivum* L.) преку детерминација на следните микробиолошки параметри: *вкупен број на микроорганизми*, присутни соеви на *квасци и мувли*, *Clostridium perfringens*, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *Enterobacteriaceae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella* и *коагулаза позитивни стафилококи*;
- ✓ Третирање на примероци од пченица (*Triticum aestivum* L.) со 5 различни дози на јонизирачко зрачење и тоа: 0,2 kGy, 0,5 kGy, 1 kGy, 5 kGy и 10 kGy;
- ✓ Потврда на третирањето на пченицата со јонизирачко зрачење со методите фотостимулирана луминисценција и термолуминисценција;
- ✓ Определување на ефектот на јонизирачкото зрачење врз главните органолептички својства на пченицата: изглед, мирис и боја;

- ✓ Определување на ефектот на јонизирачкото зрачење врз квалитативниот состав на пченицата преку определување на промените во количествата на јаглехидрати, вкупни протеини, масти, диететски влакна, пепел, пепел (песок) нерастворлив во HCl, процентот на влага и концентрациите на афлатоксини;
- ✓ Определување на ефектот на јонизирачкото зрачење врз *вкупниот број на микроорганизми*, соевите на квасци и мувли, *Clostridium perfringens*, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *Enterobacteriaceae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella* и коагулаза позитивните стафилококи;
- ✓ Определување на зависноста на промените во квалитативниот и микробиолошкиот профил на пченицата од дозата на јонизирачко зрачење;
- ✓ Определување на ефектите на јонизирачкото зрачење во корелација со стареењето на примероците, т.е. со должината на складирање;
- ✓ Придонес во информирањето на јавноста за безбедноста, предностите и начинот на кој се спроведува оваа метода, како и за идните перспективи за прифаќање на храната третирана со јонизирачко зрачење од страна на потрошувачите.

4.1. ОБРАЗЛОЖЕНИЕ НА РАБОТНИТЕ ХИПОТЕЗИ И РАЗРАБОТКА НА ТЕЗИ

Врз основа на досегашните научни сознанија постигнати на ова поле, во ова истражување се поставува следната главна хипотеза:

Ефектот на јонизирачкото зрачење врз квалитативните својства на пченицата е поволен и корисен за нејзина дезинфекција и безбедност, без предизвикување на поголеми промени во нејзините квалитативни својства.

Од оваа хипотеза, произлегуваат следниве помошни хипотези:

- Јонизирачкото зрачење нема да ги промени квалитативните карактеристики на пченицата (*Triticum aestivum* L.) во износи кои би го загрозиле нејзиниот природен квалитативен состав и хранлива вредност;
- Ефектите на јонизирачкото зрачење врз квалитативните карактеристики на пченицата (*Triticum aestivum* L.) ќе зависат примарно од вредноста на дозата на јонизирачко зрачење. Поради тоа, ниските дози на јонизирачко зрачење нема да предизвикаат нарушување на концентрациите на најважните нутриенти во пченицата (јаглехидрати, протеини, масти), додека високите дози може да предизвикаат одредени промени во нивните вредности;
- Јонизирачкото зрачење е ефикасен метод кој ги уништува микроорганизмите кои се развиваат во пченицата, со што се овозможува одржување на нејзината безбедност во тек на подолг временски период. Истовремено тоа го спречува создавањето на микробиолошки токсини, појава која би се случила доколку нивните спори останат активни во житниот производ. Сепак, степенот на микробиолошка деконтаминација во голема мера ќе зависи од дозата на јонизирачко зрачење и стареењето на примероците;
- Употребата на јонизирачкото зрачење е особено погодна постапка за третирање на храната откако истата ќе биде спакована во нејзиното последно пакување. Со тоа се спречува секундарна контаминација на храната и се продолжува времетраењето на нејзината употреба. Третирањето на житата со јонизирачко зрачење е особено погодно како алтернатива за досегашната пракса на нивно чување со употреба на хемиски супстанции, кои покрај корисниот ефект, имаат и одредена штета врз човековото здравје и животната средина. Оваа метода

може да овозможи намалување на токсичните последици од фумигацијата, заштеди на производителите и поголема сигурност во земјоделското производство;

- Прифаќањето на третирањето на храната со јонизирачко зрачење од страна на потрошувачите е во голема мера резигнирано поради бројните дилеми со кои тие се соочуваат. Истите се резултат на нивната недоволна информираност за безбедноста и предностите на оваа метода. Со добивање на научно засновани докази, мислењето на потрошувачите би се променило, особено во однос на оние производи кои со конвенционалните методи на конзервација и стерилизација претрпуваат поголеми нарушувања во хранливиот состав и загуба на нутриенти;
- Постојаната побарувачка на што „поздрави и побезбедни намирници“ го стимулира развојот на сè понови технолошки постапки за постигнување на овие цели. Третирањето на храната со јонизирачко зрачење има сериозни изгледи да го замени конвенционалниот начин на обработка на голем број производи, нудејќи безбедност, долготрајност, па дури и подобри својства на храната.

5. МАТЕРИЈАЛИ И МЕТОДИ НА РАБОТА

За реализација на предвидените цели и задачи во оваа докторска дисертација, направена е споредба на квалитативниот состав и микробиолошките карактеристики на примероци од пченица (*Triticum aestivum* L.) кои не се третирани со јонизирачко зрачење, со примероци од пченица (*Triticum aestivum* L.) третирани со јонизирачко зрачење со различна вредност на дозата. За потребите на овој докторски труд се искористени околу 15 kg пченица (*Triticum aestivum* L.) обезбедена од производствените капацитети на ЗК Пелагонија-Битола, после жетвата во 2020 година.

Поради потребата пченичните зрна да бидат во нивниот природен облик кој вклучува присуство на слама, плевизици и минерален дебрис од почвата (заради потребата од изолирање на силикатни минерали за физичките методи), пченицата е земена директно од поле, од комбајн.

Веднаш после набавувањето, со цел да се спречи било какво надворешно влијание и егзогено микробиолошко загадување, пченицата е спакувана во стерилни ќеси (Seward Stomacher standard bags BA 6041), во количество од 250 gr пченица во секоја ќеса.



Слика 10. Подготовка на примероците пченица (*Triticum aestivum* L.)

На овој начин се подготвени 55 примероци, од кои 45 примероци се испратени во Институтот за нуклеарни науки во Винча (Република Србија), каде се третирани со

јонизирачко зрачење со 5 различни дози. Останатите 10 пакувања се оставени како контролни примероци и складирани на темно и суво место, на температура од 4⁰ С, до почетокот на лабораториските анализи.

5.1. Хемиски методи

Определувањето на квалитативните параметри на пченицата е извршено во Лабораторијата за испитување на намирници при Центарот за Јавно здравје - Битола, која е акредитирана според стандардот МКС EN ISO/IEC 17025:2006. Испитувањата се спроведени во два временски интервали: веднаш (непосредно) после третирањето на примероците пченица со јонизирачко зрачење и после 9 месеци од третирањето. Анализите за нутритивните параметри се направени согласно следните постапки и стандарди:

- Количеството на вкупни јаглехидрати е определено пресметковно, според Правилникот за информации поврзани со храната (АХВ, Сл.весник на РМ бр. 150 од 02.09.2015 година). Нивните вредности се изразени во % на сува маса;
- Количеството на вкупни протеини е одредено по Kjeldahl (одредување на вкупен N), според методата АОАС 979.09 (Proteins in grains) како вкупен азот. Потоа, содржината на вкупни протеини е добиена со множење на добиените вредности со фактор 5,7;
- Количеството на масти е определено гравиметриски, според методата АОАС 920.39 (по Soxhlet), со употреба на растворувач диетилетер. Вредностите на вкупните масти се изразени во % на сува маса;
- Количеството на диететски влакна е определено по методата АОАС 985.29 (Total Dietary fiber in food) со 0,08 М фосфатен пуфер, 0,275 N NaOH, 0,325 N HCl и сушење на 105⁰С /24 часа;
- Процентот на влага е одреден според стандардот МКС EN ISO 712:2011, на влагомер тип Sartorius и контрола во сушилник на температура од 105⁰С. Добиените вредности се изразени во % на сува маса;

- Количеството на пепел е одредено според стандардот МКС EN ISO 2171:1993 со жарење на примероците на 700 °C /2 часа и е изразено како % на сува маса;
- Присутниот песок (пепел нерастворлив во HCl) е одредуван според методата со 10 % HCl (Analize zivotnih namirnica, Trajkovič. J., Mirič. M., Baras. J & Šiler. S стр. 472-473). Изразен е како % на сува маса;
- Вкупните афлатоксини (B₁, B₂, G₁, G₂) се одредени фотометриски со AOAC Official Method 991.31 (Aflatoxins in Corn, Raw peanuts and Peanut Butter, 1994) на фотометар Vicam-Series 4 Ex. Нивните вредности се прикажани како ppb (1 ppb=1 µg/kg).

5.2. Микробиолошки методи

Анализите на микробиолошките карактеристики на пченицата се извршени во Микробиолошката лабораторија при Центарот за Јавно здравје – Битола, која е акредитирана според стандардот МКС EN ISO/IEC 17025:2006. Аналогно на хемиските анализи, и микробиолошките анализи се спроведени во два временски интервали: веднаш (непосредно) после третирање на примероците пченица со јонизирачко зрачење и после 9 месеци од третирањето.

Микробиолошките испитувања се направени со следните постапки и стандарди:

- *Броење на микроорганизмите* е направено со техника на броење на колонии на 30 °C согласно стандардот МКС EN ISO 4833-1 и 2:2013 (површинско броење);
- Одредување на *Bacillus cereus* е направено со техника на броење на колонии при 30 °C (хоризонтален метод), според стандардот МКС EN ISO 7932:2010;
- Одредување на присуство на *Clostridium perfringens* е извршено со техника на броење на колонии според стандардот МКС EN ISO 7937:2008 (хоризонтален метод);

- Присуство на *Escherichia coli* е одредувано со хоризонтален метод за броење на β -глукуронидаза позитивни *E.coli*, техника на броење на колонии на 44 °C согласно стандардот МКС EN ISO 16649-2:2008;
- Броење на колонии од *Enterobacteriaceae* е направено со помош на методот на броење на колонии според стандардот МКС EN ISO 21528-2:2008 (површинско броење);
- Присуство на *соеви од квасци и мувли* е одредувано со техника на броење на колонии во производи со активност на вода (a_w) помала или еднаква на 0,95, согласно стандардот МКС EN ISO 21527-2:2008;
- Присуство на *Pseudomonas aeruginosa* е одредувано со методот на мембранска филтрација, според стандардот МКС EN ISO 16266:2009;
- Одредување на родот *Salmonella* е правено со хоризонтален метод, според стандардот МКС EN ISO 6579-1:2017; и
- Одредување на присутни *коагулаза позитивни стафилококи* е испитувано со помош на техника со користење на Baird Parker Agar, согласно стандардот МКС EN ISO 6888-1:2008;

5.3. Физички методи

Третирање на примероците пченица со јонизирачко зрачење е направено во Институтот за нуклеарни науки во Винча (Република Србија). По 9 мостри, секоја со 250 gr пченица се третирани со јонизирачко зрачење со 5 различни дози и тоа: 0,2 kGy, 0,5 kGy, 1 kGy, 5 kGy и 10 kGy.

Потврда дека примероците од пченица биле третирани со јонизирачко зрачење е направена со методите фотостимулирана луминисценција и термолуминисценција, во Лабораторијата за контрола на храна третирана со јонизирачко зрачење при Факултетот за електротехника и информациски технологии (ФЕИТ) – Скопје. Истата е акредитирана според стандардот МКС EN ISO/IEC 17025.

Потврдата е спроведена согласно развиениот протокол за испитување на храна која содржи силикатни минерали, според стандардите:

- EN 13751 (Прехранбени производи – Откривање на храна третирана со јонизирачко зрачење со користење на фотостимулирана луминисценција), т.е. согласно стандардот МКС EN 13751:2011 Прехранбени производи – Откривање на храна третирана со јонизирачко зрачење со користење на фотостимулирана луминисценција;

- EN 1788 (Прехранбени производи – Детекција на термолуминисценција на храна третирана со јонизирачко зрачење од која можат да се изолираат силикатни минерали).

5.4. Статистички методи

Резултатите добиени од направените испитувања се прикажани табеларно и графички. Резултатите од физичките анализи се обработени со софтвер за компјутерско евидентирање на резултатите, кој ја користи програмата SUERC PPSL.

Статистичката обработка на резултатите е направена со соодветен софтвер и постапки за споредба на добиените параметри, одредени во зависност од добиените резултати, со примена на пакетот Microsoft EXCEL 2007. За одредување на сигнификантност на разликите помеѓу добиените резултати од физичко-хемиските и микробиолошките параметри е применет параметарскиот тест Анализа на варијација (ANOVA: Two-Factor Without Replication). Притоа, добиените вредности се сметаат за сигнификантни при гранична вредност на факторот за сигнификантност $p \leq 0,05$.

5.5. Научни методи

Во истражувањата во овој докторски труд е користен методот на докажување и негирање, кој во себе вклучува методи на анализа, синтеза, генерализација, индукција, дедукција и конкретизација. Откако е дефиниран проблемот за истражување, пристапено е кон проучување на досегашните научни достигнувања поврзани со третирањето на храната со јонизирачко зрачење. Проучени се предностите и

недостатоците на овој метод, безбедноста на ваквата храната, прифаќањето на ваквата храна од страна на јавноста и ставовите на потрошувачите.

Главниот дел на истражувањето е направен со експерименталниот метод, со цел да се поврзат теоретските сознанија со реални резултати. Добиените резултати се анализирани со методот на компарација, со цел да се дојде до нови сознанија и заклучоци. Направено е поврзување на зависно променливите со независно променливите варијабли, како и статистичка обработка на податоците за да се докаже сигнификантноста на добиените разлики. Докажувањето е структурирано на тези, аргументи и врски помеѓу нив, со потврдување или негирање на тезите и докажување на спротивното.

Бидејќи проблемот кој се истражува е современ светски проблем, истражувањето е комбинирано-верификаторско, а според научната цел е иновативно, бидејќи открива нови податоци и сознанија во поглед на предметот на истражување. Од аспект на важноста, истражувањето е апликативно, поради можноста добиените сознанија покасно да се применат во праксата, која претставува конечниот верификатор на научните сознанија. Добиените сознанија и податоци во ова истражување овозможуваат мултидисциплинарно поврзување на неколку науки и тоа: биотехнологија, биологија, микробиологија, хемија и физика.

6. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

6.1. КВАЛИТАТИВНИ СВОЈСТВА НА ПЧЕНИЦАТА (*Triticum aestivum* L.)

Според литературните податоци, скоро 95 % од пченицата која се произведува во светот припаѓа на видот обична пченица (*Triticum aestivum* L.). Нејзината нутритивна вредност е исклучително важна бидејќи се употребува за добивање на брашно и гриз, кои претставуваат основни состојки на лебот, лебните производи и различни видови на тестенини. Според тоа, пченицата претставува основна храна за човековата популација, чиј квалитативен состав изобилува со есенцијални нутриенти неопходни за човековото здравје (Šramková *et al.* 2009; Mustapha *et al.* 2018).

Според Јелаќа (1972) хемискиот состав на пченицата зависи првенствено од условите на одгледување, земјиштето и сортата. Тој истакнува дека хемискиот состав на пченицата покажува одредени варијации кои се манифестираат во застапеноста на јаглехидратите, протеините, мастите, минералните материи и витамините, па поради тоа, квалитативниот состав на пченицата вообичаено се прикажува преку нивните просечни (процентуални) вредности. Според Loffer *et al.* (1985) квалитетот на пченицата зависи првенствено од сортата, а потоа од местото на одгледување, додека според Stewart (1977) врз квалитативниот состав на пченицата влијаат минералните ѓубрива додадени во почвата, како и условите после сеидбата.

Со цел да се утврди природниот квалитативен состав на пченицата која е користена за испитувањата во овој докторски труд, најпрво се направени хемиски анализи на примероци пченица (*Triticum aestivum* L.) кои не се третирани со јонизирачко зрачење. Анализите се направени во два наврати, првиот пат во периодот од 25 до 30 октомври 2020 година, а потоа, повторно во периодот од 19 до 23 Јули 2021 година. Ваквата динамика е предвидена со цел да се споредат евентуалните промени кои би настанале при чување на пченицата, т.е влијанието на должината на складирање врз нејзиниот квалитативен состав.

Резултатите од анализите на испитуваните параметри се прикажани во Табела 10, како средна вредност и стандардна девијација, а врз основа на податоците добиени при првото и второто одредување.

Табела 10. Вредности на испитуваните параметри за одредување на квалитативниот состав на нетретиран примерок пченица (*Triticum aestivum* L.)

Испитуван параметар (%)	Нетретиран примерок (контрола) прво мерење	Нетретиран примерок (контрола) второ мерење	Средна вредност	Стандардна девијација
Јаглехидрати	64,65	63,7	64,17	0,671751
Вкупни протеини	10,52	10,42	10,47	0,070711
Масти	1,33	1,32	1,325	0,007071
Диететски влакна	12,42	12,35	12,385	0,049497
Влага	9,616	10,81	10,21	0,844285
Пепел	1,47	1,4	1,435	0,049497
Песок	0,05	0,05	0,05	0

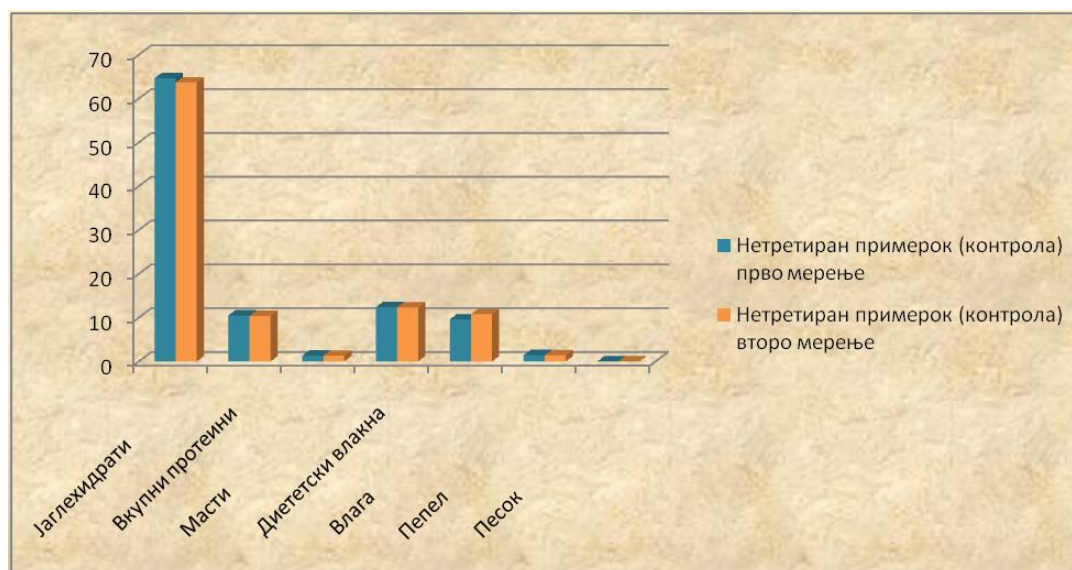


График 1. Приказ на процентуалната застапеност на испитуваните параметри во контролните (нетретиран) примероци пченица (*Triticum aestivum* L.) во временски интервал од 9 месеци.

Доколку се погледнат добиените резултати (Табела 10 и График 1) може да се констатира дека во контролните (нетретиран) примероци пченица, најголемо процентуално учество имаат **јаглехидратите** (средна вредност 64,17 %) кои како што е и очекувано, доминираат во составот на пченичното зрно.

Јаглехидратите всушност претставуваат главна компонента на житата и се застапени до 70 %, а понекогаш и до 80 % од сувата маса на пченицата (Faltermaier *et al.* 2013). Потврда за ова даваат голем број испитувања од други автори, меѓу кои може да се споменат: резултатите на Јелаќа (1972) кој наведува вредности на јаглехидрати од 69 %, резултатите на Mustapha *et al.* (2018) кои во пченицата (*Triticum aestivum* L.) утврдиле 72,29 % јаглехидрати, резултатите добиени од Kumar *et al.* (2011) според кои во пченицата има 78,1 % јаглехидрати, резултатите од Duke (1983) според кого во пченицата (*Triticum aestivum* L.) има 69,1–75,4 % јаглехидрати, како и вредностите објавени од страна на USDA (2020), согласно кои во составот на пченичното зрно има околу 82 % јаглехидрати. Највисоки вредности за јаглехидратите наведуваат Shewry & Heu (2015) и според нив зрелата пченица содржи 85 % јаглехидрати.

Во пченицата, јаглехидратите воглавно се претставени со полисахариди, од кои најзастапен е скробот. Скробот е резервен полисахарид со сложен состав, кој содржи 25 % амилаза и 75 % амилопектин. Во пченичното зрно неговата содржина изнесува 65 – 68 %, па дури и 75 % од вкупните јаглехидрати. Shewry & Heu (2015) истакнуваат дека во зрелата пченица содржината на скроб може да достигне и до 80 %. Помалку застапени јаглехидрати од скробот се целулозата и хемицелулозата, кои учествуваат во градбата на диететските влакна. Останатите јаглехидрати во пченицата се од групите на моносахариди, дисахариди, трисахариди и олигосахариди (Prpa, 2004; Faltermaier *et al.* 2013; Šramková *et al.* 2009).

За разлика од јаглехидратите, **вкупните протеини** во пченицата се застапени значително помалку. Имено, како што може да се забележи од Табела 10 и График 1, во контролните (нетретирани) примероци, процентуалната застапеност на протеините изнесува 10,47 %. Овие вредности се во целосна корелација со податоците кои се сретнуваат во научните истражувања на други автори. Така, според Šramková *et al.* (2009), протеините во пченичните зрна варираат помеѓу 10 – 18 %, според Kent (1983) варијациите на протеините се движат помеѓу 6 – 12 %, додека Prpa (2004) истакнува дека протеините во пченицата се застапени од 8 – 15 % и дека тоа зависи од сортата, условите на одгледување, климата и агротехничките мерки. Потврда за тоа се резултатите на Amir *et al.* (2019), кои испитувајќи различни сорти пченица, утврдиле разлики во количеството на протеини од 11,2 – 12,9 %. Слично и Alijošius *et al.* (2016)

испитувајќи го хемискиот состав на 5 сорти пченица измериле вредности за протеините во граници од 10,36 – 11,71 %.

Според Јелаќа (1972) пченицата содржи 13,2 % протеини, а ваква вредност за протеините наведуваат и Kowieska *et al.* (2011), според кои протеините во пченицата изнесуваат 13,8 %. Kumar *et al.* (2011) во пченицата измериле 14,7 % протеини, додека Duke (1983) за пченицата наведува резултати од 9,4 – 14,0 %, слично со USDA (2020), според кои во составот на пченичното зрно има околу 14,5 % протеини. Најниски вредности за пченичните протеини се објавени од страна на Mustapha *et al.* (2018) кои испитувајќи ги карактеристиките на пченицата измериле само 5,7 % протеини.

Истражувањата покажале дека застапеноста на протеините во пченицата зависи од различни фактори, меѓу кои најважни се: плодноста на почвата, климатските услови и земјоделските практики. Така според Saamen *et al.* (2002) на количеството на протеини во пченицата влијаат и додадените минералните ѓубрива (NPK), за што потврда е податокот дека при ѓубрење на почвата со азотни ѓубрива, доаѓа до зголемување на процентот на протеини за 3 – 5 % (Prpa, 2004). Според Shewry & Hey (2015) протеините во пченицата зависат од видот на сортата, како и од надворешните услови, особено од достапноста на азотните минерални ѓубрива. Генерално протеините варираат помеѓу 7 – 22 % на сува маса, при што најзастапен протеин е глутенот, кој сочинува 75 – 80 % од вкупните протеини. Сепак, протеините во пченицата се со слаб квалитет за човековите потреби, бидејќи се потврдило дека имаат дефицит на аминокиселината лизин, а според истражувањата на Siddiqi *et al.* (2020) во нивниот аминокиселински состав недостигаат и аминокиселините треонин и метионин.

Испитувањата на процентуалната застапеност на **мастите** во контролните (нетретирани) примероци покажаа дека нивните просечни вредности изнесуваат 1,32 %. Општо е познато дека пченицата е сиромашна со масти и затоа таа се користи и како храна за редукција на нивниот внес. Според Prpa (2004) масите во пченицата се наоѓаат во мали количества кои варираат помеѓу 1,25 – 2,0 %. Слични резултати наведуваат и Alijošius *et al.* (2016), кои во 6 различни сорти пченица утврдиле застапеност на масите од 1,13 – 1,56 %. Mustapha *et al.* (2018) при испитување на карактеристиките на пченицата измериле 1,5 % масти, додека според Јелаќа (1972) пченицата содржи 1,9 % масти. Според Kumar *et al.* (2011) во пченицата има 2,1 %

масти, Duke (1983) за пченицата наведува резултати од 1,8 – 2,5 % масти, додека според податоците на USDA (2020), во составот на пченичното зрно има околу 1,3 % масти.

Содржината и составот на **диететските влакна** се важни фактори кои што го одредуваат квалитетот на житата и житните производи, а со тоа и на пченицата. Поимот диететски влакна, долги години бил предмет на многу дискусии и биле предложени неколку дефиниции за нив. Најпосле, во 2008 година, Комисијата на Codex Alimentarius ги дефинирала диететските влакна како компоненти составени од полимери на јаглехидрати со десет или повеќе мономерни единици, кои не се хидролизират под дејство на ендогените ензими во тенкото црево на луѓето (Codex Alimentarius, 2008). Според Šramková *et al.* (2009) а врз основа на различната растворливост во вода, брзината на дигестија и способноста да задржуваат вода, диететските влакна се делат на 2 категории: диететски влакна растворливи во вода (содржат пектин и хидроколоиди) и диететски влакна нерастворливи во вода (содржат целулоза, хемицелулоза и лигнин). Нерастворливите и растворливите диететски влакна се однесуваат различно во човековиот организам, но и двете фракции имаат ист корисен ефект во однос на човековото здравје, а тоа е намалување на концентрацијата на глукоза после оброк (Biel *et al.* 2020). Овој ефект според Biliaderis *et al.* (2007) се должи на нивната голема вискозност во дигестивниот тракт, како и на редукцијата на дигестијата на скробот со ензимот α -амилаза. Според Tooping (2007) нерастворливите диететски влакна имаат ефикасно лаксативно дејство, додека растворливите влакна го намалуваат плазматичниот холестерол, со што го намалуваат и ризикот од срцеви заболувања.

Согласно резултатите наведени во Табела 10, процентуалната застапеност на диететските влакна во контролните (нетретирани) пченични мостри изнесува 12,38 %. Добиените вредности се во корелација со резултатите на Anderson *et al.* (2013) според кои вкупните диететски влакна одредени во 129 различни пченични сорти се движат од 11,5 – 15,5 %. Скоро идентични вредности за диететските влакна наведуваат Kowieska (2011) и Biel *et al.* (2020) и според нив застапеноста на вкупните диететски влакна во пченицата изнесува 14,7 % т.е 14,8 % соодветно. Притоа овие автори констатирале дека 12,1 % од вкупните диететски влакна биле нерастворливи влакна, додека 2,7 % биле растворливи влакна. Слични вредности наведува и USDA (2020) според чии анализи во пченичното зрно има просечно 14 % диететски влакна. Vitaglione *et al.* (2008) за

вкупните диететски влакна измериле вредности од 11,6 – 17,0 % од кои 10,2 – 14,7 % нерастворливи, а 1,4 – 2,3 % растворливи влакна. Пониски вредности за процентот на диететски влакна објавуваат *Mustapha et al.* (2018), кои во пченицата измериле износи на диететски влакна од 9,83 %. *Duke* (1983) пак, за диететски влакна во пченицата наведува резултати од 1,8 – 2,3 %, додека *Јелаќа* (1972) истакнува дека во пченичното зрно има 2,6 % целулозни влакна.

Просечните вредностите за присутната **влага** во пченичните контролни мостри испитувани во овој докторски труд, прикажани во Табела 10, изнесуваат 10,21 %. И овие вредности се во корелација со податоците во литературата и може да се корелираат со резултатите на *Umrani et al.* (2013), кои во три различни сорти пченица утврдиле варијации на влагата од 8,9 до 10,86 %. Корелација може да се направи и со податоците објавени од страна на *Duke* (1983) според кого влагата во пченицата се движи од 11,5 – 14,0 %, како и со податоците на *USDA* (2020), според кои во составот на пченичното зрно има околу 13 % влага. *Јелаќа* (1972) наведува дека пченицата содржи 10 % влага, додека пониски вредности за влагата наведуваат *Mustapha et al.* (2018) од само 9,33 % влага.

Според *Trajković et al.* (1983) содржината на вода т.е влага во пченичните зрна првенствено зависи од стадиумот на зрелост на зрната, како и од еколошките услови во текот на жетвата. Сувите зрели зрна во просек имаат 10 – 15 % влага, а согласно законските прописи, житата не смеат да содржат повеќе од 14 % влага, бидејќи високиот процент на вода во нив влијае на нивното брзо расипување. *Mustapha et al.* (2018) истакнуваат дека високиот процент на влага во пченицата влијае на нејзиното складирање после жетвата, нејзиниот рок на траење и подложноста кон развој на микроорганизми. Во таа насока и Стандардот на *Codex Alimentarius* наведува дека максималната влажност на пченицата може да достигне до 14,5 % и дека тоа зависи од климата, должината на транспорт и од складирањето. Поголеми варијации за овој параметар наведува *Prga* (2004), според кого влагата во пченичните зрна може да варира помеѓу 9 – 20 %, што зависи од физиолошката состојба на пченицата и временските услови за време на нејзиното зреење и жетвата.

Од технолошки аспект, процентот на **пепел** во пченицата претставува важен параметар за типот на пченично брашно и мора да се одреди пред мелење на житото (*Prga*, 2004). Овој параметар дава слика за присуството на неорганската компонента во

пченицата и претставува мерка за вкупното количество на минерали во примерокот (Mustapha *et al.* 2018). Според Trajković *et al.* (1983) пепелот содржи главно јони на K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , хлориди, фосфати и сулфати, SiO_2 како и елементи во трагови (Fe, Mn, Zn, Cu, F, As, Ni, Se и други). Неговите вредности зависат од надворешните фактори, при што, високиот процент на пепел предизвикува непосакувано потемнување на тестото. Процентот на пепел во житата се разликува и зависи од видот на житото, а кај пченицата во просек изнесува 1,0 – 2,5 % (Trajković *et al.* 1983). Според Prpa (2004) количината на пепел во пченицата се движи помеѓу 1,25 – 2,24 %, а неговите варијации зависат од истите услови кои влијаат врз варијациите на протеините.

Резултатите добиени за овој параметар, прикажани во Табела 10, покажуваат дека во контролните мостри, процентот на измерен пепел изнесува 1,47 %. Овие резултати се во корелација со резултатите наведени од страна на Alijošius *et al.* (2016), кои во шест различни сорти на пченица измериле вредности на пепелот од 1,04 – 1,31 %. Duke (1983) и Kowieska (2011) за пченицата наведуваат резултати од 1,7 % пепел, додека Mustapha *et al.* (2018) во пченицата измериле 1,16 % пепел.

Најпосле, одредувањето на “песокот“ во житата е од големо практично значење бидејќи неговата застапеност во многу намирници е еден од важните фактори за проценка на нивниот квалитет. Според законските прописи, содржината на песок во производите од брашно не смее да биде поголема од 0,1 % на сува маса (Trajković *et al.* 1983). Во контекст на ова се и добиените вредности од испитувањата на овој параметар, кој во контролните примероци не надминува 0,05 % (Табела 10).

Според горенаведеното, може да се констатира дека во природниот состав на пченицата доминираат јаглехидратите (64,175 %) додека диететските влакна, вкупните протеини и влагата имаат сукцесивна застапеност (12,385 %, 10,47 %, 10,213 %). Најмало процентуално учество покажуваат пепелот и масите чии вредности изнесуваат 1,435 % и 1,325 % соодветно.

Статистички може да се констатира дека најголема варијабилност односно најголемо отстапување во измерените вредности при првото и второто одредување се забележува кај испитуваниот параметар влага, со износ на просечна мерка на отстапување од 0,844285 %. Помало отстапување е измерено кај вредностите на јаглехидратите (0,671751 %), додека најмал просечен варијабилитет има кај масите (0,007071 %) и песокот (0 %). Тоа значи дека и при двете контролни мерења овие

параметри покажуваат вредности кои воопшто не се промениле со текот на стареењето на примероците.

Податоците во Табела 10 се обработени статистички со параметарскиот статистички тест ANOVA и соодветниот Модел со два фактори и повеќе модалитети.

Со реализација на горенаведениот параметарски тест се добиваат следните податоци и информации за статистичко заклучување претставени во Табела 10.1.

Табела 10.1. Статистичка обработка на резултатите од Табела 10.

Anova: Two-Factor Without Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
Јаглехидрати	2	128,35	64,175	0,45125
Вкупни протеини	2	20,94	10,47	0,005
Масти	2	2,65	1,325	5E-05
Диететски влакна	2	24,77	12,385	0,00245
Влага	2	20,426	10,213	0,712818
Пепел	2	2,87	1,435	0,00245
Песок	2	0,1	0,05	0
Нетретиран примерок (контрола) прво мерење	7	100,056	14,29371	518,4629
Нетретиран примерок (контрола) второ мерење	7	100,05	14,29286	501,5583

ANOVA	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Source of Variation						
Rows	6118,953	6	1019,825	5211,987	7,06E-11	4,283866
Columns	2,57E-06	1	2,57E-06	1,31E-05	0,997225	5,987378
Error	1,174015	6	0,195669			
Total	6120,127	13				

Од Табела 10.1 може да се констатира дека теориската вредност на Снедекоровата променлива F_{0B} за соодветен број степени на слобода ($\nu_1 = 6$) и ($\nu_2 = 6$) и праг на значајност $\alpha = 0,95$ изнесува $F_{0B} = 5,987378$. Бидејќи теориската вредност на Снедекоровата променлива е поголема од нејзината пресметана вредност $F = 0,0000131$ тоа значи дека не се воочливи статистички значајни промени во процентуалните вредности на испитуваните параметри за квалитативниот состав на пченицата во нетретираните примероци пченица, во двата контролни периоди (прво и второ одредување). Според тоа, не постои сигнификантност, а до истиот статистички заклучок се доаѓа преку споредба на пресметаната вредност на факторот за сигнификантност $p=0,997225$, чија вредност е поголема од теориската вредност $p \leq 0,05$.

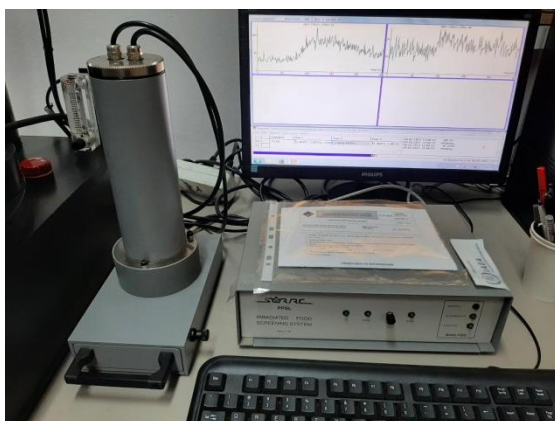
6.2. ТЕСТИРАЊЕ НА ПРИМЕРОЦИТЕ СО МЕТОДИТЕ ФОТОСТИМУЛИРАНА ЛУМИНИСЦЕНЦИЈА И ТЕРМОЛУМИНИСЦЕНЦИЈА

Во согласност со предвидените цели и задачи на истражувањето, за да се утврди влијанието на јонизирачкото зрачење врз квалитативниот состав на пченицата, 45 примероци од пченица (*Triticum aestivum* L.), спакувани во стерилни ќеси по 250 gr, беа третирани со јонизирачко зрачење со 5 различни дози и тоа: 0,2 kGy, 0,5 kGy, 1 kGy, 5 kGy и 10 kGy.

Третирањето е извршено на 30 Септември 2020 година, во Институтот за нуклеарни науки во Винча (Република Србија). Потоа е направена потврда на третирањето на примероците со методите фотостимулирана луминисценција и термолуминисценција. Потврдата е спроведена во Лабораторијата за контрола на храна третирана со јонизирачко зрачење, при Факултетот за електротехника и информациски технологии (ФЕИТ) – Скопје.

Тестирањето на примероците пченица со методот на фотостимулирана луминисценција се направени со апарат кој што е дизајниран во Шкотскиот универзитетски истражувачки центар и истиот е прикажан на Слика 11.

Принципот на работа на овој апарат и неговите карактеристики се детално опишани од страна на Сандева (2014) и според нејзините истражувања ќе биде дадено кратко објаснување на процедурата на оваа метода со цел понатамошно разбирање на резултатите од мерењата.



Слика 11. Апарат за детекција на храна третирана со јонизирачко зрачење со методот на фотостимулирана луминисценција при Факултетот за електротехника и информациски технологии (ФЕИТ)–Скопје

Мерењето со овој апарат е брзо и мошне економично, но потребно е да се исполнат одредени услови при самото мерење на примероците како што се: мерењето да се врши во затворена просторија, во услови на пригушена светлина, при температура од 20 – 40 °C, при релативна влажност на воздухот од 10 – 80 % и атмосферски притисок од 68 – 100 kPa.

Подготовката на примероците за оваа постапка е минимална. Тие се тестираат во Петриеви садови за еднократна употреба, со цел да се спречи нивна надворешна контаминација. Во секој Петриев сад се става доволно количество од примерокот распределено рамномерно. Петриевите садови се ставаат во комората на инструментот со помош на пинцета, а потоа комората се затвора и се спроведува мерењето. Мерењето е краткотрајно и се одвива за време од 15 – 60 секунди. При мерењето, примерокот се изложува на зрачење од инфрацрвен-пулсирачки извор, под чие дејство примерокот емитува одредена светлина која потоа се претвора во луминисцентен сигнал.

Апаратот е поврзан со софтвер за компјутерско евидентирање на резултатите кој ја користи програмата SUERC PPSL. Овој програм го мери емитуваниот луминисцентен сигнал во секоја секунда, за време од 60 секунди. Тоа се отчитува на график, како зависност на бројот на импулси во однос на времето. Добиениот сигнал се споредува со два прага, при што доколку примерокот не е третиран со јонизирачко зрачење, сигналот е под долниот праг. Тогаш, на мониторот се вклучува зелен индикатор кој покажува „негативен“ резултат. Доколку вредноста на сигналот е помеѓу двата прага, се појавува жолт индикатор, кој покажува дека резултатот е неодреден, т.е. „intermediate“, при што се потребни дополнителни испитувања. Овие испитувања вообичаено се прават со калибриран метод на фотостимулирана луминисценција, со метод на термолуминисценција или со електрон-спинска резонанца. Доколку вредноста на добиениот сигнал е над горниот праг, тогаш се вклучува црвен индикатор, кој покажува „позитивен“ резултат, т.е. дека примерокот е третиран со јонизирачко зрачење. Заради поголема сигурност во добиените резултати, се препорачува мерењата да се направат со најмалку два примероци од храната која се испитува, па дури и со поголем број примероци. Двата прага според кои се идентификува примерокот како третиран, односно нетретиран со јонизирачко зрачење, се дефинирани во стандардот EN 13751, при што за долниот праг вредностите изнесуваат 700 импулси во минута додека за горниот праг тие изнесуваат 5000 импулси во минута.

Во случај кога не е можно да се направи идентификација на примероците со методот фотостимулирана луминисценција, т.е. при добивање на неодреден резултат, се користи методот на термолуминисценција. Тој е посложен физички процес, подолготраен и со специфична подготовка на примероците. За овој метод, неопходно е во храната да има доволно количество на силикатни минерали, кои од неа може да се изолираат. Методот се темели на стимулација на примерокот со топлина, при што се добива специфична луминисцентна крива, која ја дава зависноста на интензитетот на термолуминисценцијата од температурата на којашто е изложен примерокот во текот на мерењето.

Од термолуминисцентната крива може да се донесе заклучок за тоа дали примерокот бил или не бил третиран со јонизирачко зрачење. Доколку примерокот бил третиран, максималниот интензитет на термолуминисцентната крива ќе биде во температурниот интервал од 150 – 250 °C. Спротивно, кај нетретирани примероци, максималниот интензитет на луминисцентната крива е во температурни вредности поголеми од 300 °C. Овој метод се спроведува со апарат за термолуминисценција прикажан на Слика 12.

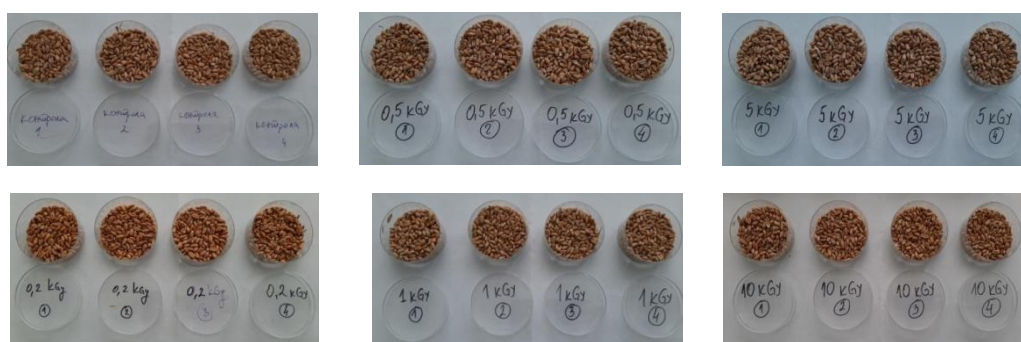


Слика 12. Апарат за термолуминисценција при Лабораторијата за контрола на храна третирана со јонизирачко зрачење при Факултетот за електротехника и информациски технологии (ФЕИТ)–Скопје

Кога се користи методот на термолуминисценција, после првото мерење неопходно е да се изврши нормализација на резултатите, па поради тоа се прави уште едно, второ мерење. За второто мерење примерокот се изложува на јонизирачко зрачење со доза од 1 kGy, по што повторно се мери луминисцентниот сигнал. Односот помеѓу интензитетот на луминисценцијата добиен при првото и второто мерење,

потврдува дали примерокот бил или не бил третиран со јонизирачко зрачење. За третирани примероци овој однос е поголем од 0,1, додека за нетретирани примероци, тој е помал од 0,1 (EN 1788, Прехранбени производи – Детекција на термолуминисценција на храна третирана со јонизирачко зрачење од која можат да се изолираат силикатни минерали).

Согласно вака утврдените постапки за фотостимулирана луминисценција и термолуминисценција, направено е тестирање на примероците од пченица. Мерењето е изведено врз четири примероци од секоја вредност на дозата, со цел добивање на што е можно поточни резултати. Подготовката на примероците за тестирање со метод на фотостимулирана луминисценција е прикажана на Слика 13.



Слика 13. Подготовка на примероците за тестирање со методот фотостимулирана луминисценција

Дел од испитуваните примероци се тестирани и со методот на термолуминисценција, кој бара посложена подготовка на примероците и истата е прикажана на Слика 14.



Слика 14. Подготовка на примероците за тестирање со методот термостимулирана луминисценција

Во продолжение е даден приказ на добиените резултати од мерењата/тестирањата на примероците со методите на фотостимулирана луминисценција и термолуминисценција.

6.2.1. Вредности на луминисцентниот сигнал за контролните (нетретирани) примероци

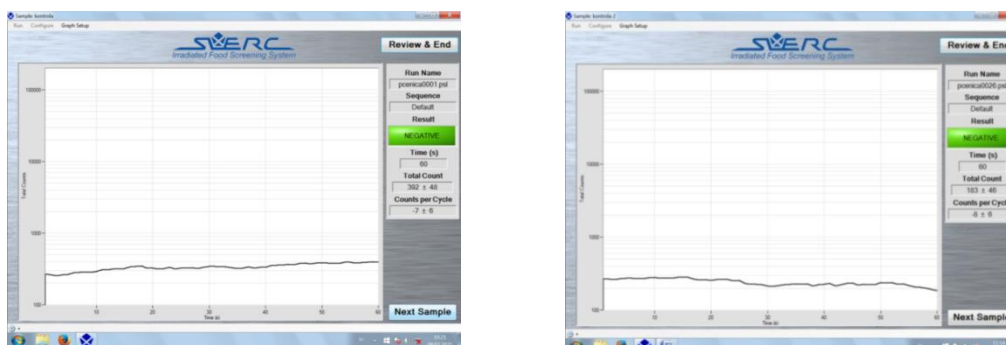
Резултатите кои се добиени за луминисцентниот сигнал (зависноста на вкупниот број импулси во однос на времето) за примероците пченица кои не се третирали со јонизирачко зрачење се прикажани табеларно (Табела 11) и графички (Слика 15).

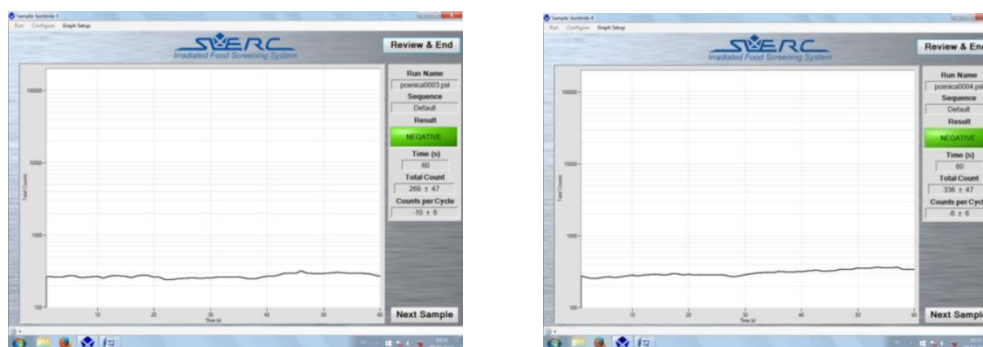
Табела 11. Вредности на луминисцентниот сигнал за контролните (нетретирани) примероци пченица

Контролен примерок број	D (kGy)	N (број на импулси за време од 60 секунди)	Идентификација на примерокот
1	0	392 ± 48	нетретиран
2	0	183 ± 46	нетретиран
3	0	268 ± 47	нетретиран
4	0	336 ± 47	нетретиран

Во Табела 11 може да се види вкупниот број на регистрирани импулси за секој од мерените примероци и подрачјето во кое припаѓа резултатот.

Слика 15. Графичко претставување на зависноста на бројот на импулси од времето за нетретирана пченица (контролен примерок број 1,2,3,4)

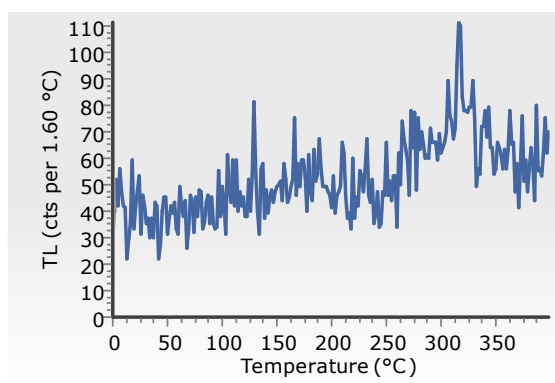




Како што може да се забележи од графичките прикази на Слика 15, како и од вредностите на луминисцентниот сигнал прикажани во Табела 11, ниту еден од четирите контролни примероци не покажа вредности на луминисцентниот сигнал над горниот праг, што значи дека резултатот кај сите контролни мостри е негативен, т.е. примероците не се третирани со јонизирачко зрачење.

За да се потврдат овие резултати, контролните примероци се испитани и со методот на термолуминисценција. Согласно постапката за термолуминисценција, направени се две мерења, а добиените термолуминисцентни криви се прикажани на Слика 16 и Слика 17.

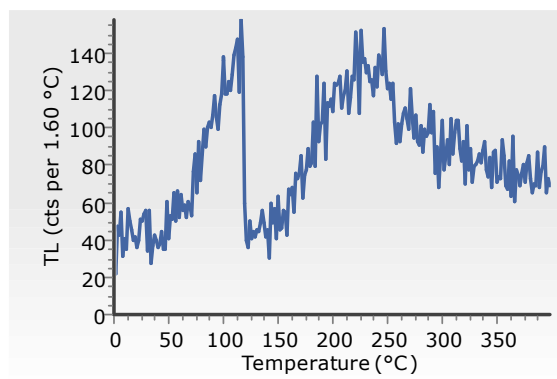
Луминисцентна крива 1 (Слика 16) го покажува резултатот од првото мерење на примерокот, додека луминисцентната крива 2 (Слика 17) го покажува резултатот од второто мерење, кое служи за нормализација на резултатот и ја покажува чувствителноста на примерокот. Таа се добива откако примерокот ќе биде изложен на јонизирачко зрачење од 1 kGy.



Слика 16. Луминисцентна крива 1 добиена за нетретиран примерок пченица

Како што може да се забележи од Слика 16, кај нетретиран примерок пченица, при првото мерење, максимумот на луминисцентната крива 1 е во температурното

подрачје од 300 – 350 °C, што покажува дека примерокот не бил третиран со јонизирачко зрачење. Спротивно, на Слика 17, која ја покажува луминисцентната крива 2, добиена после третирањето на примерокот со јонизирачко зрачење со доза со вредност од 1 kGy, се забележува максимум во подрачјето од 100 – 250 °C, со што се потврдува дека примерокот е чувствителен на термолуминисценција.



Слика 17. Луминисцентна крива 2 за нетретиран примерок пченица

Поради ваквиот однос на двете термолуминисцентни криви се потврдува дека примерокот не е третиран со јонизирачко зрачење.

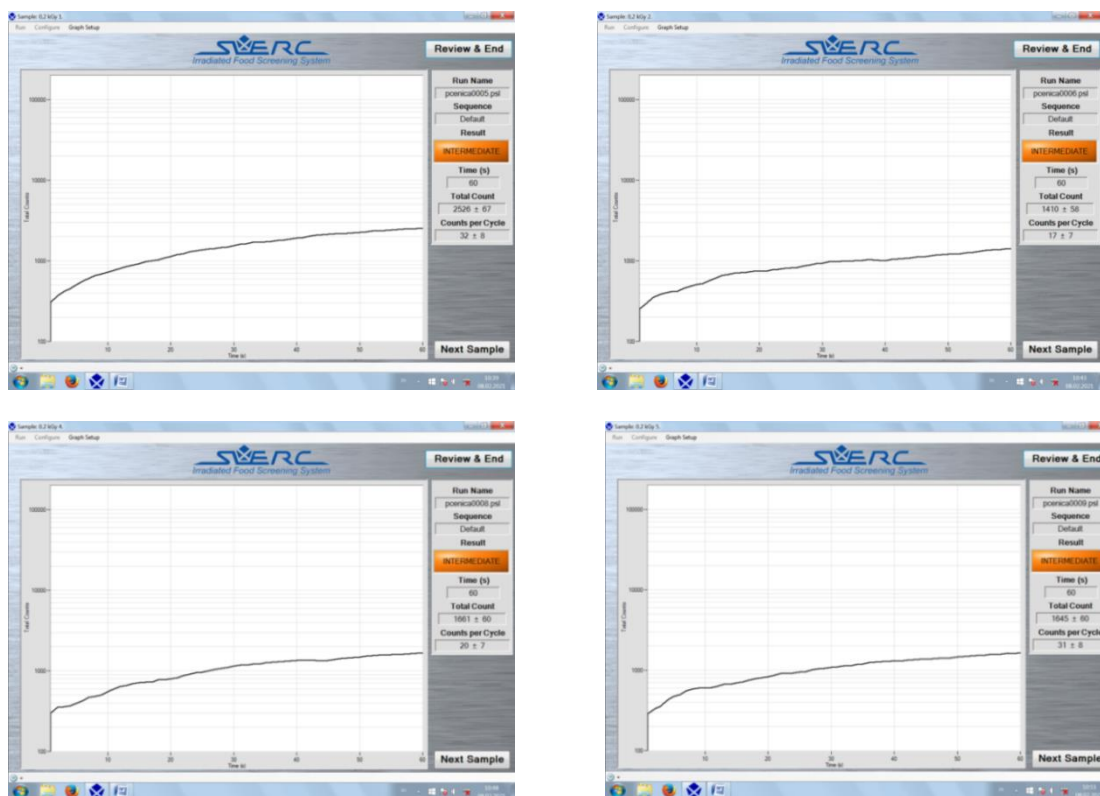
6.2.2. Вредности на луминисцентниот сигнал за примероци пченица третирани со доза со вредност од 0,2 kGy

Резултатите кои се добиени за луминисцентниот сигнал, за примероци пченица кои се третирани со јонизирачко зрачење, со доза од 0,2 kGy се прикажани во Табела 12 и Слика 18.

Табела 12. Вредности на луминисцентниот сигнал за примероци пченица третирани со доза со вредност од 0,2 kGy

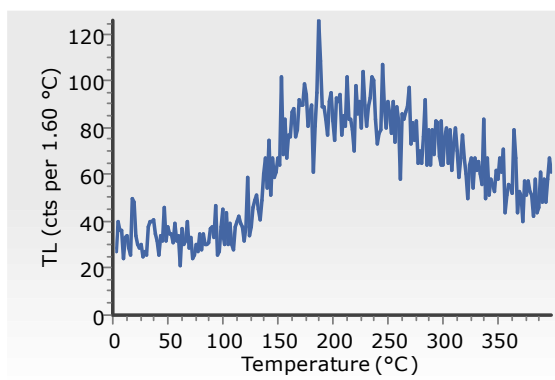
Примерок број	D (kGy)	N (број на импулси за време од 60 секунди)	Идентификација на примерокот
1	0,2	2526 ± 67	помеѓу двата прага
2	0,2	1410 ± 58	помеѓу двата прага
3	0,2	1661 ± 60	помеѓу двата прага
4	0,2	1645 ± 60	помеѓу двата прага

Слика 18. Графичко претставување на зависноста на бројот на импулси од времето за пченица третирана со доза со вредност 0,2 kGy (примерок број 1,2,3,4)

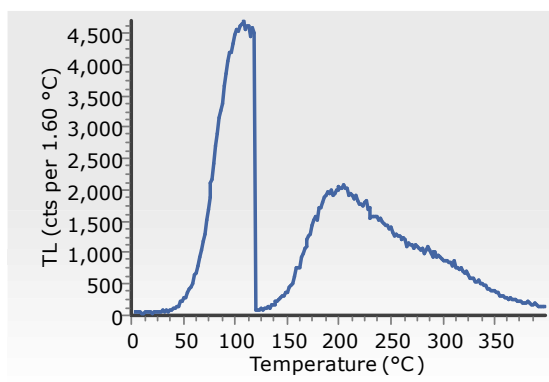


Вредностите добиени за луминисцентниот сигнал (Табела 12 и Слика 18) покажуваат дека сите примероци пченица, кои се третирани со доза со вредност од 0,2 kGy, даваат неодреден (“intermediate”) резултат. Ова се должи на фактот што оваа доза е многу ниска и не може да се докаже со методот фотостимулирана луминисценција. Поради тоа, овие примероци беа тестирани и со методот термолуминисценција. Добиените резултати од термолуминисценцијата се прикажани на Слика 19 (Луминисцентна крива 1) и Слика 20 (Луминисцентна крива 2).

Од Слика 19 може да се забележи дека максимумот на луминисцентната крива 1 е во температурното подрачје 150 – 250 °C, што покажува дека примерокот бил третиран со јонизирачко зрачење. Сепак, втората луминисцентна крива покажува максимум во подрачјето на ниските температури (Слика 20).



Слика 19. Луминисцентна крива 1 за примерок пченица третиран со доза со вредност од 0,2 kGy



Слика 20. Луминисцентна крива 2 за примерок пченица третиран со доза со вредност од 0,2 kGy

Добиениот однос на двете луминисцентни криви изнесува 0,057 и е помал од 0,1. Ова не потврдува дека примерокот е третиран со јонизирачко зрачење, ниту со методот на термолуминисценција поради мошне малата доза на зрачење.

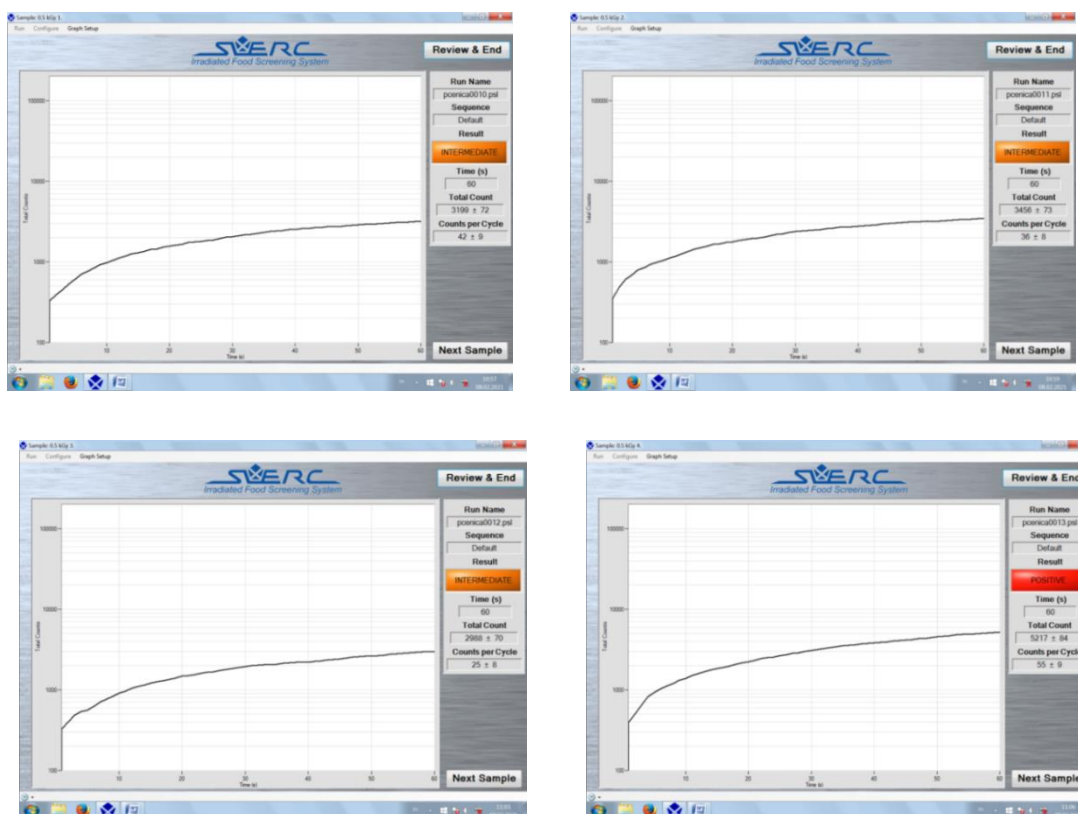
6.2.3. Вредности на луминисцентниот сигнал за примероци пченица третирани со доза со вредност од 0,5 kGy

Резултатите кои се добиени за луминисцентниот сигнал за примероците пченица третирани со јонизирачко зрачење, со доза со вредност од 0,5 kGy се прикажани во Табела 13 и Слика 21.

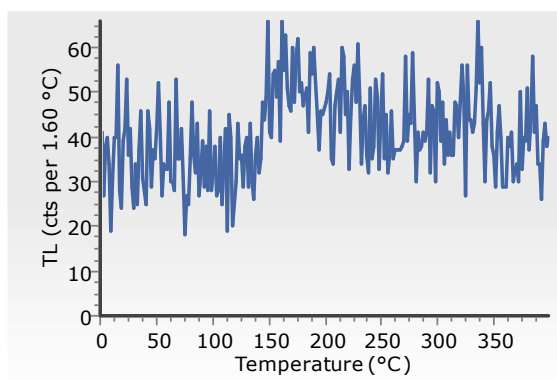
Табела 13. Вредности на луминцентниот сигнал за примероци пченица третирани со доза со вредност од 0,5 kGy

Примерок број	D (kGy)	N (број на импулси за време од 60 секунди)	Идентификација на примерокот
1	0,5	3199 ± 72	помеѓу двата прага
2	0,5	3456 ± 73	помеѓу двата прага
3	0,5	2988 ± 70	помеѓу двата прага
4	0,5	5217 ± 84	ПОЗИТИВЕН

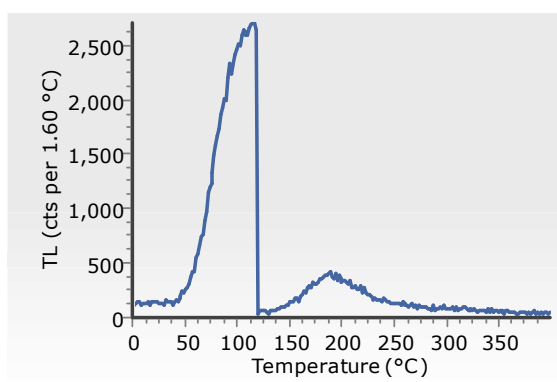
Слика 21. Графичко претставување на зависноста на бројот на импулси од времето за примероци пченица третирани со доза со вредност од 0,5 kGy(примероци број 1,2,3,4)



Кај примероците од пченица третирани со доза од 0,5 kGy, добиени се 3 резултати помеѓу двата прага и еден позитивен резултат. Поради тоа, овие примероци беа испитани и со методот на термолуминисценција. Добиените термолуминисцентни сигнали се прикажани на Слика 22 и Слика 23.



Слика 22. Луминисцентна крива 1 за примерок пченица третиран со доза со вредност од 0,5 kGy



Слика 23. Луминисцентна крива 2 за примерок пченица третиран со доза со вредност од 0,5 kGy

Може да се забележи дека при првото мерење на примерокот, луминисцентната крива 1 покажа максимум во температурното подрачје над 150 °C, додека луминисцентната крива 2 покажа максимум во подрачјето на ниските температури. За да се корегира ваквата неодреденост, одреден е термолуминисцентниот однос, кој во овој случај изнесува 0,189 и е поголем од 0,1. Тоа јасно потврдува дека примерокот бил третиран со јонизирачко зрачење.

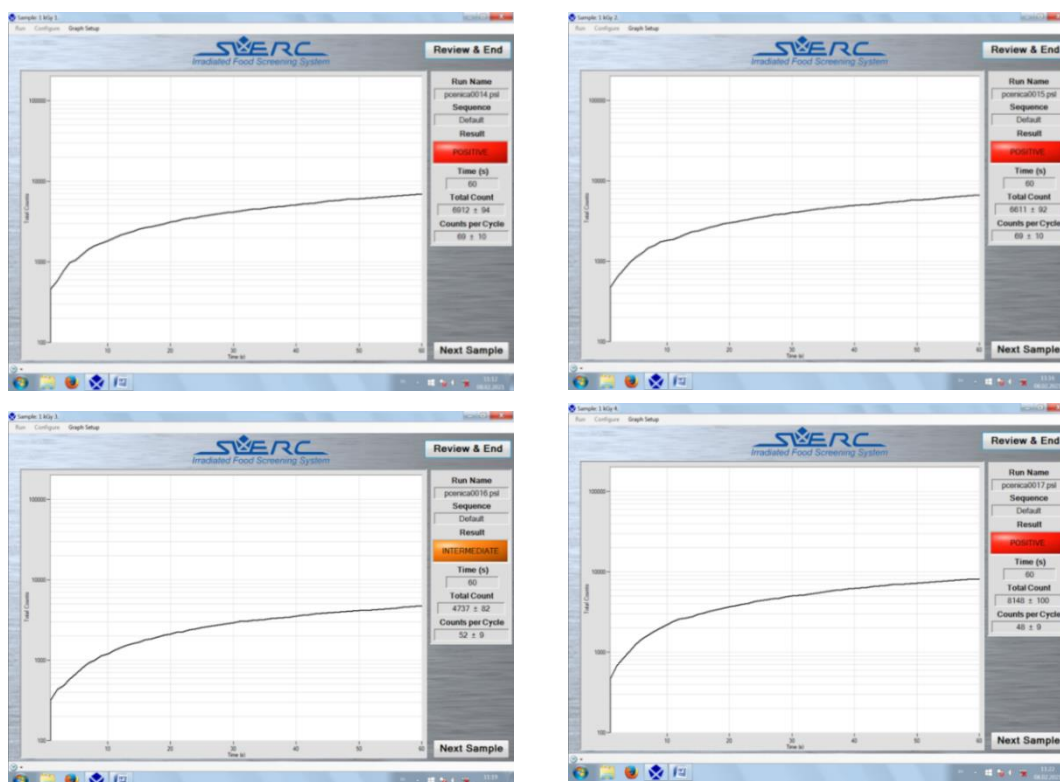
6.2.4. Вредности на луминисцентниот сигнал за примероци пченица третирани со доза со вредност од 1 kGy

Вредностите за луминисцентниот сигнал добиени при мерење на примероците пченица третирани со јонизирачко зрачење со доза со вредност од 1 kGy се прикажани во Табела 14 и Слика 24.

Табела 14. Вредности на луминисцентниот сигнал за примероци пченица третирани со доза со вредност од 1 kGy

Примерок број	D (kGy)	N (број на импулси за време од 60 секунди)	Идентификација на примерокот
1	1	6912 ± 94	ПОЗИТИВЕН
2	1	6611 ± 92	ПОЗИТИВЕН
3	1	4737 ± 82	пOMEЃУ ДВАТА ПРАГА
4	1	8148 ± 100	ПОЗИТИВЕН

Слика 24. Графичко претставување на зависноста на бројот на импулси од времето за пченица третирана со 1 kGy (примероци број 1,2,3,4)



Кај примероците кои се третирани со доза од 1 kGy беа добиени три позитивни резултати и еден неодреден резултат. Тоа е доволен показател дека во овој случај третирањето со јонизирачко зрачење е потврдено.

6.2.5. Вредности на луминисцентниот сигнал за примероците пченица третирани со доза со вредност од 5 kGy

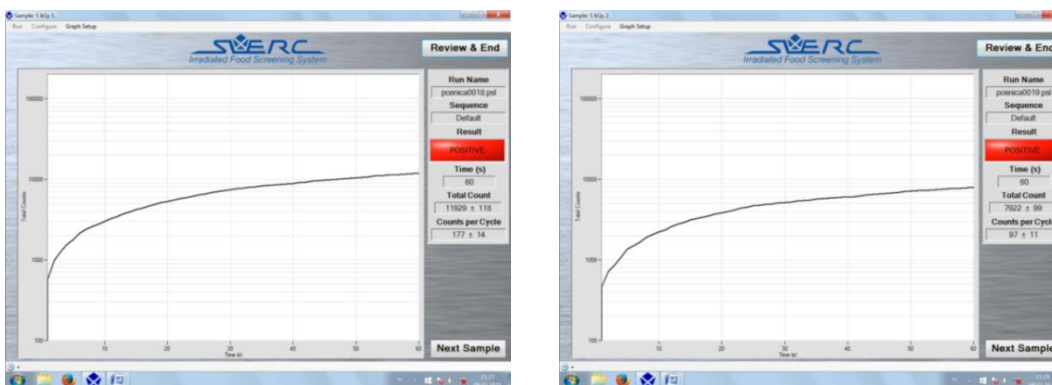
Вредностите за луминисцентниот сигнал добиен при мерење на примероците пченица третирани со јонизирачко зрачење со доза со вредност од 5 kGy се прикажани во Табела 15 и Слика 25.

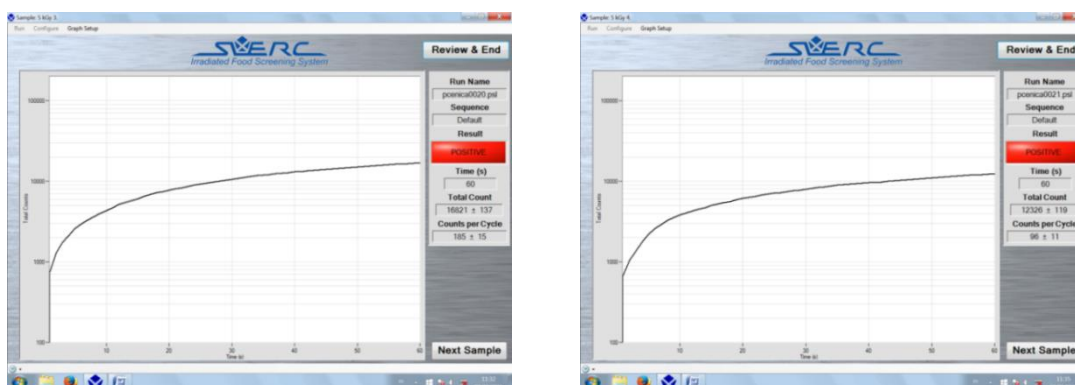
Табела 15. Вредности на луминисцентниот сигнал за примероци пченица третирани со доза со вредност од 5 kGy

Примерок број	D (kGy)	N (број на импулси за време од 60 секунди)	Идентификација на примерокот
1	5	11929 ± 118	ПОЗИТИВЕН
2	5	7922 ± 99	ПОЗИТИВЕН
3	5	16821 ± 137	ПОЗИТИВЕН
4	5	12326 ± 119	ПОЗИТИВЕН

При мерењето на примероците пченица кои се третирани со доза од 5 kGy, сите четири примероци покажаа позитивен резултат.

Слика 25. Графичко претставување на зависноста на бројот на импулси од времето за примероци пченица третирани со доза со вредност од 5 kGy (примероци број 1,2,3,4)





Ова целосно го потврдува нивното третирање со јонизирачко зрачење со методот фотостимулирана луминисценција. При вакви сигурни резултати не се неопходни дополнителни тестирања со други методи.

6.2.6. Вредности на луминисцентниот сигнал за примероците пченица третирани со доза со вредност од 10 kGy

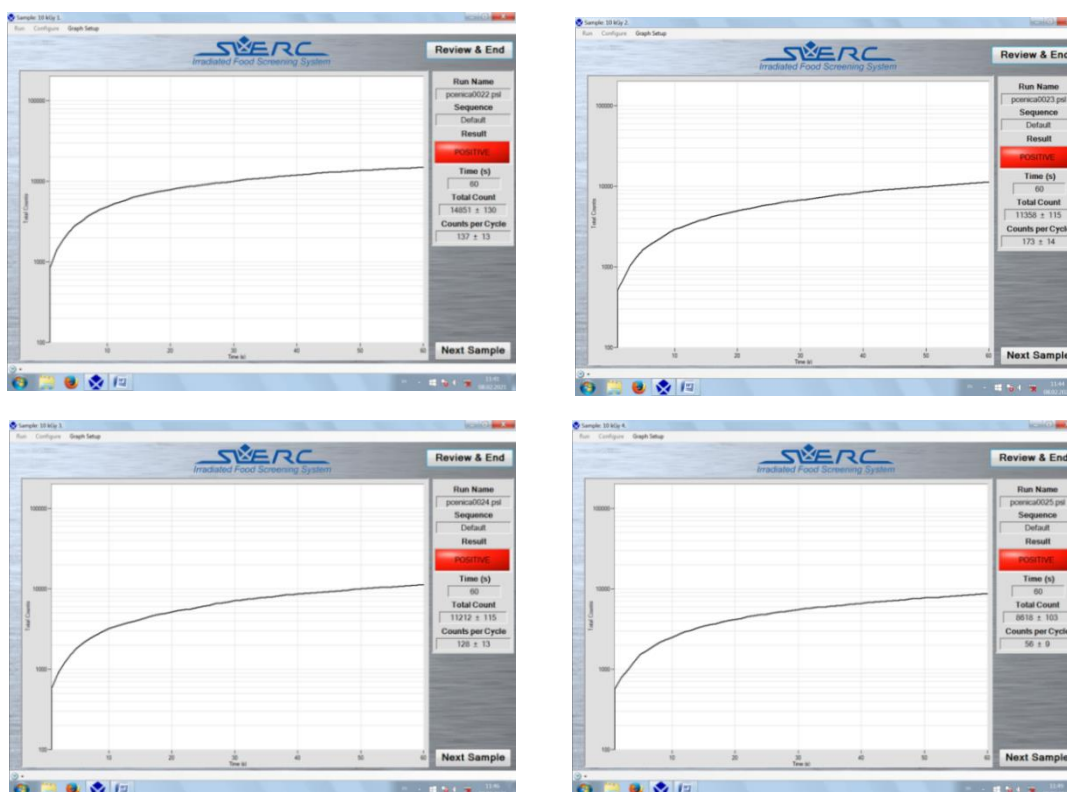
Вредностите за луминисцентниот сигнал добиен при мерење на примероците пченица третирани со јонизирачко зрачење со доза со вредност од 10 kGy се прикажани во Табела 16 и Слика 26.

Се забележува дека и кај примероците третирани со доза со вредност од 10 kGy е потврдено третирањето на примероците, бидејќи сите четири примероци покажаа позитивен резултат.

Табела 16. Вредности на луминисцентниот сигнал за примероци пченица третирани со доза со вредност од 10 kGy

Примерок број	D (kGy)	N (број на импулси за време од 60 секунди)	Идентификација на примерокот
1	10	14851 ± 130	ПОЗИТИВЕН
2	10	11358 ± 115	ПОЗИТИВЕН
3	10	11212 ± 115	ПОЗИТИВЕН
4	10	8618 ± 103	ПОЗИТИВЕН

Слика 26. Графичко претставување на зависноста на бројот на импулси од времето за пченица третирана со 10 kGy (примероци број 1,2,3,4)



На овој начин може да се констатира дека со методот фотостимулирана луминисценција не се потврдува третирањето на пченицата со јонизирачко зрачење со многу ниски дози (0,2 и 0,5 kGy), па затоа, за нивно докажување се неопходни други, подоверливи постапки. Во тој случај третирањето треба да се потврди со методот термолуминисценција. За повисоки дози на јонизирачко зрачење (1 kGy, 5 kGy и 10 kGy), фотостимулираната луминисценција дава сигурни резултати и може да претставува прв избор при докажување на третирањето со јонизирачко зрачење.

6.3. ЕФЕКТИ НА ЈОНИЗИРАЧКОТО ЗРАЧЕЊЕ ВРЗ КВАЛИТАТИВНИОТ СОСТАВ НА ПЧЕНИЦАТА (*Triticum aestivum* L.)

Вредностите кои се добиени за испитуваните параметри кај примероците пченица третирани со јонизирачко зрачење со различна вредност на дозата, се претставени во Табела 17. Овие испитувања се направени непосредно после третирање на примероците со јонизирачко зрачење, со цел да се детектираат сите настанати промени во квалитативниот состав на пченицата. Во Табела 17 се прикажани и вредностите добиени за контролниот (нетретиран) примерок, со цел да се направи компарација и проценка на евентуалните промени.

Табела 17. Вредности на испитуваните параметри во примероците пченица (*Triticum aestivum* L.) третирани со јонизирачко зрачење со различна вредност на дозата

Испитуван параметар (%) (25-30.10.2020)	Нетретиран примерок (контрола)	Примерок третиран со 0,2 kGy	Примерок третиран со 0,5 kGy	Примерок третиран со 1 kGy	Примерок третиран со 5 kGy	Примерок третиран со 10 kGy
Јаглехидрати	64,65	64,34	64,65	65,14	65,19	64,94
Вкупни протеини	10,52	10,80	10,52	10,04	10,08	10,10
Масти	1,33	1,39	1,31	1,37	1,34	1,39
Диететски влакна	12,42	12,40	12,45	12,39	12,30	12,40
Влага	9,62	9,68	9,65	9,65	9,69	9,78
Пепел	1,47	1,39	1,42	1,41	1,40	1,39
Песок	0,05	0,048	0,049	0,048	0,05	0,048

Добиените вредности за испитуваните параметри претставени во Табела 17 се прикажани и графички на График 2. Врз основа на графичката презентација може да се воочи дека нема значајни отстапувања и разлики во вредностите на испитуваните параметри во примероците пченица (*Triticum aestivum* L.) третирани со јонизирачко зрачење со различна вредност на дозата при првото одредување. Тоа се однесува за

сите испитувани параметри и за сите различни вредности на дозата. Ова покажува дека јонизирачкото зрачење не влијае врз квалитативните параметри на пченицата.

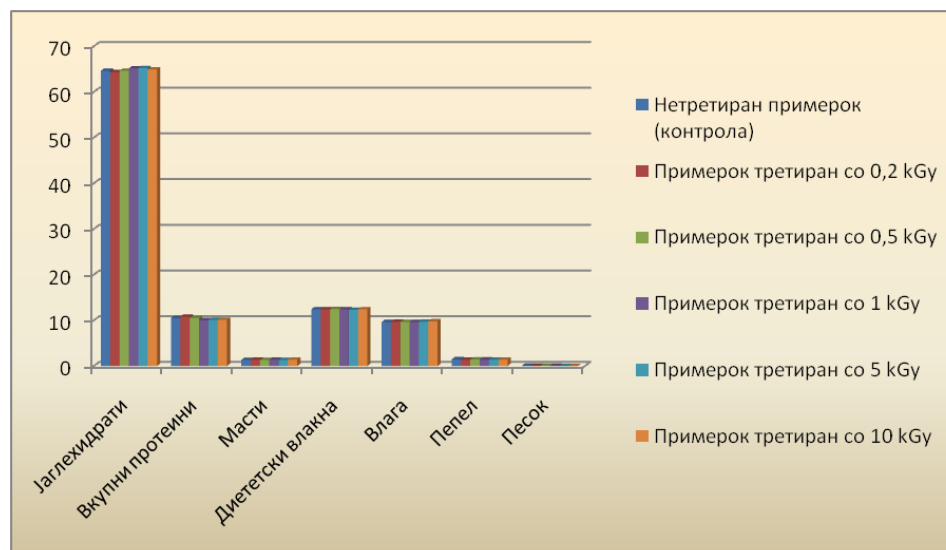


График 2. Приказ на процентуална застапеност на испитуваните параметри во примероците пченица (*Triticum aestivum* L.) третирани со јонизирачко зрачење со различна вредност на дозата (прво одредување)

Со цел да се потврди ваквиот заклучок, направена е статистичка обработка на добиените резултати преку споредба на вредностите на сите испитувани параметри, со вредностите добиени за контролниот (нетретиран) примерок. Споредбата е направена за секој испитуван параметар и за секоја различна доза на јонизирачко зрачење. Статистичката обработка е извршена со примена на параметарскиот тест ANOVA (два фактори и повеќе модалитети). Добиените резултати се прикажани во продолжение.

Табела 17.1 Статистичка анализа на резултатите од Табела 17.

Anova: Two-Factor Without Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
Јаглехидрати	6	388,91	64,81833	0,108377
Вкупни протеини	6	62,06	10,34333	0,098307
Масли	6	8,13	1,355	0,00111
Диететски влакна	6	74,36	12,39333	0,002547
Влага	6	58,066	9,677667	0,003193
Пепел	6	8,48	1,413333	0,000907
Песок	6	0,293	0,048833	9,67E-07
Нетретиран примерок (контрола)	7	100,056	14,29371	518,4629
Примерок третиран со 0,2 kGy	7	100,048	14,29257	512,9436
Примерок третиран со 0,5 kGy	7	100,049	14,29271	518,6968
Примерок третиран со 1 kGy	7	100,048	14,29257	527,43
Примерок третиран со 5 kGy	7	100,05	14,29286	528,3811
Примерок третиран со 10 kGy	7	100,048	14,29257	523,7576

Компаративна анализа на промените во квалитативниот состав кај храна третирана со јонизирачко зрачење

ANOVA							
	Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows		18776,96	6	3129,493	87563,21	3,04E-62	2,420523
Columns		6,98E-06	5	1,4E-06	3,9E-05	1	2,533555
Error		1,072195	30	0,03574			
Total		18778,03	41				

Од добиените параметри во Табела 17.1 може да се извлечат следните констатации:

а. Теориската вредност на Снедекоровата променлива F_{0A} за соодветен број степени на слобода ($\nu_1 = 6$) и ($\nu_2 = 30$) и праг на значајност $\alpha = 0,95$ изнесува $F_{0A} = 2,420523$. Бидејќи нејзината вредност е значително помала од пресметаната вредност на која изнесува $F = 87563,21$ тоа значи дека различните испитувани параметри во природниот квалитативен состав на пченицата имаат различно процентуално учество. Во овој случај постои статистичка значајност, односно сигнификантност. До истиот статистички заклучок се доаѓа преку споредба на пресметаната вредност на $p \approx 0$ со теориската вредност за $p \leq 0,05$.

б. Теориската вредност на Снедекоровата променлива F_{0B} за соодветен број степени на слобода ($\nu_1 = 5$) и ($\nu_2 = 30$) и праг на значајност $\alpha = 0,95$ изнесува $F_{0B} = 2,533555$. Бидејќи нејзината вредност е поголема од пресметаната вредност на $F = 0,000039$, тоа значи дека не се воочливи статистички значајни промени во процентуалните вредности на одделните испитувани параметри во примероците пченица (*Triticum aestivum* L.) третирани со јонизирачко зрачење со различна вредност на дозата, во првото одредување. Ова покажува дека не постои разлика во вредностите на испитуваните параметри во примероците пченица (*Triticum aestivum* L.) третирани со јонизирачко зрачење со различна вредност на дозата т.е не постои сигнификантност. До истиот статистички заклучок се доаѓа преку споредба на пресметаната вредност на $p=1$ која е поголема од теориската вредност $p \leq 0,05$.

За да се извлечат заклучоци дали постојат сигнификантни разлики помеѓу вредностите на испитуваните параметри добиени за примероците пченица третирани со различна вредност на јонизирачко зрачење, во однос на контролниот (нетретиран) примерок, направена е поединечна статистичка обработка на добиените резултати. Статистичката споредба е изведена со Регресиона статистика (едноставен регресионен модел) како и со Модел на ANOVA со два фактори и повеќе модалитети. Добиените резултати се прикажани во продолжение.

Во Табела 17.2 се прикажани параметрите за регресионата анализа на примероците пченица третирани со доза од 0,2 kGy во однос на контролниот (нетретиран) примерок. Постои многу значајна зависност помеѓу вредностите на контролниот (нетретиран) примерок и примерокот третиран со доза од 0,2 kGy. Тоа укажува на незначителни промени во вредностите на испитуваните параметри при споредба на овие два примероци (Табела 17.2).

Табела 17.2. Параметри на едноставен регресионен модел за примероците пченица третирани со доза од 0,2 kGy.

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,999984
R Square	0,999968
Adjusted R Square	0,999961
Standard Error	0,141314
Observations	7

За да се провери ваквата констатација, направена е статистичка споредба на овие два примероци според моделот ANOVA (два фактори и повеќе модалитети). Резултатите од оваа анализа се прикажани во Табела 17.3. Според добиените параметри во Табела 17.3 може да се констатира дека теориската вредност на Снедекоровата променлива F_{0B} за соодветен број степени на слобода ($\nu_1 = 1$) и ($\nu_2 = 6$) и праг на значајност $\alpha = 0,95$ изнесува $F_{0B} = 5,987378$. Бидејќи нејзината вредност е поголема од пресметаната вредност на Снедекоровата променлива $F = 0,00029$, тоа значи дека не се воочливи статистички значајни промени или разлики во вредностите на испитуваните параметри помеѓу примерокот пченица третиран со јонизирачко зрачење со вредност на дозата од 0,2 kGy и контролниот (нетретиран) примерок. Дека не постои статистичка

сигнификантност се потврдува и со споредба на пресметаната вредност на $p=0,986959$, која е поголема во однос на теориската вредност за $p \leq 0,05$.

Табела 17.3. Статистичка споредба на контролниот (нетретиран) примерок со примерокот пченица третиран со доза од 0,2 kGy.

Anova: Two-Factor Without Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
Јаглехидрати	2	128,99	64,495	0,04805
Вкупни протеини	2	21,32	10,66	0,0392
Масли	2	2,72	1,36	0,0018
Диететски влакна	2	24,82	12,41	0,0002
Влага	2	19,296	9,648	0,002048
Пепел	2	2,86	1,43	0,0032
Песок	2	0,098	0,049	0,000002
Нетретиран примерок (контрола)	7	100,056	14,29371	518,4629
Примерок третиран со 0,2 kGy	7	100,048	14,29257	512,9436

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	6188,344	6	1031,391	65488,29	3,56E-14	4,283866
Columns	4,57E-06	1	4,57E-06	0,00029	0,986959	5,987378
Error	0,094495	6	0,015749			

Во Табела 17.4 се прикажани параметрите за регресионата анализа на примероците пченица третирана со доза од 0,5 kGy во однос на контролниот (нетретиран) примерок. Постои многу значајна зависност помеѓу вредностите на овие два примероци, што укажува на незначителни промени во вредностите на испитуваните параметри кај нив.

Табела 17.4. Параметри на едноставен регресионен модел за примероците пченица третирана со доза од 0,5 kGy.

Regression Statistics	
Multiple R	0,999999
R Square	0,999998
Adjusted R Square	0,999998
Standard Error	0,03096
Observations	7

Статистичката споредба на овој примерок со контролниот, направена според моделот ANOVA (два фактори и повеќе модалитети) го потврдува истото (Табела 17.5).

Табела 17.5. Статистичка споредба на контролниот (нетретиран) примерок со примерокот пченица третиран со доза од 0,5 kGy.

Anova: Two-Factor Without Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
Јаглекхидрати	2	129,3	64,65	0
Вкупни протеини	2	21,04	10,52	0
Масти	2	2,64	1,32	0,0002
Диететски влакна	2	24,87	12,435	0,00045
Влага	2	19,266	9,633	0,000578
Пепел	2	2,89	1,445	0,00125
Песок	2	0,099	0,0495	5E-07
Нетретиран примерок (контрола)	7	100,056	14,29371	518,4629
Примерок третиран со 0,5 kGy	7	100,049	14,29271	518,6968

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	6222,956	6	1037,159	2514326	6,29E-19	4,283866
Columns	3,5E-06	1	3,5E-06	0,008485	0,929607	5,987378
Error	0,002475	6	0,000413			
Total	6222,958	13				

Добиените параметри во Табела 17.5 покажуваат дека во овој случај, теориската вредност на Снедекоровата променлива F_{0B} за соодветен број степени на слобода ($\nu_1 = 1$) и ($\nu_2 = 6$) и праг на значајност $\alpha = 0,95$ изнесува $F_{0B} = 5,987378$. Нејзината вредност е поголема од пресметаната вредност $F = 0,008485$, со што се потврдува дека не се воочливи статистички значајни промени или разлики во вредностите на испитуваните параметри во примерокот пченица третиран со јонизирачко зрачење со вредност на дозата 0,5 kGy и нетретираниот (контролен) примерок. До истиот статистички заклучок се доаѓа преку споредба на пресметаната вредност на $p=0,929607$ со теориската вредност на $p \leq 0,05$.

Во Табела 17.6 се прикажани параметрите добиени од регресионата анализа на примероците пченица третирани со доза од 1 kGy, во однос на контролниот (нетретиран) примерок. И овде постои многу значајна зависност помеѓу вредностите на испитуваните параметри, што укажува на нивни незначителни промени.

Табела 17.6. Параметри на едноставен регресионен модел за примероците пченица третирани со доза од 1 kGy.

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,999961
R Square	0,999921
Adjusted R Square	0,999905
Standard Error	0,223261
Observations	7

Статистичката споредба на овој примерок со контролниот, направена според моделот ANOVA (два фактори и повеќе модалитети) го потврдува истото. Добиените резултати се прикажани во Табела 17.7.

Табела 17.7. Статистичка споредба на контролниот (нетретиран) примерок со примерокот пченица третиран со доза од 1 kGy

Anova: Two-Factor Without Replication

<i>SUMMARY</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Јаглехидрати	2	129,79	64,895	0,12005
Вкупни протеини	2	20,56	10,28	0,1152
Масти	2	2,7	1,35	0,0008
Диететски влакна	2	24,81	12,405	0,00045
Влага	2	19,266	9,633	0,000578
Пепел	2	2,88	1,44	0,0018
Песок	2	0,098	0,049	0,000002
Нетретиран примерок (контрола)	7	100,056	14,29371	518,4629
Примерок третиран со 1 kGy	7	100,048	14,29257	527,43

<i>ANOVA</i>						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Rows	6275,118	6	1045,853	26269,42	5,52E-13	4,283866
Columns	4,57E-06	1	4,57E-06	0,000115	0,991798	5,987378
Error	0,238875	6	0,039813			
Total	6275,357	13				

Од Табела 17.7 се забележува дека вредноста на Снедекоровата променлива F_{0B} за соодветен број степени на слобода ($\nu_1 = 1$) и ($\nu_2 = 6$) и праг на значајност $\alpha = 0,95$ изнесува $F_{0B} = 5,987378$. Оваа вредност е поголема од пресметаната вредност на Снедекоровата променлива $F = 0,000115$, поради што се заклучува дека не се воочливи статистички значајни промени или разлики во вредностите на испитуваните параметри во примерокот пченица третиран со јонизирачко зрачење со вредност на дозата од 1 kGy, во однос на нетретираниот (контролен) примерок. Дека не постои сигнификантност покажува и пресметаната вредност на факторот за сигнификантност $p = 0,991798$ која е поголема од неговата гранична вредност $p \leq 0,05$.

Регресионата статистика направена за споредба на вредностите на примерокот пченица третиран со доза со вредност од 5 kGy со контролниот (нетретирани) примерок (Табела 17.8) покажа дека постоји многу значајна зависност помеѓу вредностите на испитуваните параметри што укажува на нивни незначителни промени.

Табела 17.8. Параметри на едноставен регресионен модел за примероците пченица третирани со доза од 5 kGy.

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,999964
R Square	0,999927
Adjusted R Square	0,999913
Standard Error	0,214628
Observations	7

Статистичката споредба на овој примерок со контролниот, направена според моделот ANOVA (два фактори и повеќе модалитети) го потврдува истото. Добиените резултати се прикажани во Табела 17.9.

Согласно добиените параметри во Табела 17.9 се забележува дека теориската вредност на Снедекоровата променлива F_{0B} за соодветен број степени на слобода ($\nu_1 = 1$) и ($\nu_2 = 6$) и праг на значајност $\alpha = 0,95$ изнесува $F_{0B} = 5,987378$

Бидејќи вредноста на Снедекоровата променлива $F_{OB} = 5,987378$ е поголема од пресметаната вредност $F = 0.0000605$ се потврдува дека не се воочливи статистички значајни промени или разлики помеѓу вредностите на испитуваните параметри во примерокот пченица третиран со јонизирачко зрачење со вредност на дозата од 5 kGy и нетретираниот (контролен) примерок. До истиот статистички заклучок се доаѓа преку споредба на пресметаната вредност на $p=0,994046$ со теориската вредност за $p \leq 0,05$.

Табела 17.9. Статистичка споредба на контролниот (нетретиран) примерок со примерокот пченица третиран со доза од 5 kGy

Anova: Two-Factor Without Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
Јаглехидрати	2	129,84	64,92	0,1458
Вкупни протеини	2	20,6	10,3	0,0968
Масти	2	2,67	1,335	5E-05
Диететски влакна	2	24,72	12,36	0,0072
Влага	2	19,306	9,653	0,002738
Пепел	2	2,87	1,435	0,00245
Песок	2	0,1	0,05	0
Нетретиран примерок (контрола)	7	100,056	14,29371	518,4629
Примерок третиран со 5 kGy	7	100,05	14,29286	528,3811

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	6280,808	6	1046,801	24627,2	6,69E-13	4,283866
Columns	2,57E-06	1	2,57E-06	6,05E-05	0,994046	5,987378
Error	0,255035	6	0,042506			
Total	6281,064	13				

Резултатите добиени од направената регресиона статистика за споредба на вредностите на испитуваните параметри кај примерокот пченица третиран со доза со вредност од 10 kGy со контролниот (нетретиран) примерок, (Табела 17.10) покажаа дека и во овој случај постојат незначителни промени во добиените вредности.

Табела 17.10. Параметри на едноставен регресионен модел за примероците пченица третирани со доза од 10 kGy.

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,999965283
R Square	0,999930566
Adjusted R Square	0,99991668
Standard Error	0,208900926
Observations	7

Статистичката споредба на овој примерок со контролниот, направена според моделот ANOVA (два фактори и повеќе модалитети) го потврдува истото. Добиените резултати се прикажани во Табела 17.11.

Табела 17.11. Статистичка споредба на контролниот (нетритиран) примерок со примерокот пченица третиран со доза од 10 kGy.

Anova: Two-Factor Without Replication

<i>SUMMARY</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Јаглехидрати	2	129,59	64,795	0,04205
Вкупни протеини	2	20,62	10,31	0,0882
Масти	2	2,72	1,36	0,0018
Диететски влакна	2	24,82	12,41	0,0002
Влага	2	19,396	9,698	0,013448
Пепел	2	2,86	1,43	0,0032
Песок	2	0,098	0,049	0,000002
Нетритиран примерок (контрола)	7	100,056	14,29371	518,4629
Примерок третиран со 10 kGy	7	100,048	14,29257	523,7576

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Rows	6253,174	6	1042,196	41997,08	1,35E-13	4,283866
Columns	4,57E-06	1	4,57E-06	0,000184	0,989611	5,987378
Error	0,148895	6	0,024816			
Total	6253,323	13				

И во овој случај се забележува дека теориската вредност на Снедекоровата променлива F_{0B} за соодветен број степени на слобода ($\nu_1 = 1$) и ($\nu_2 = 6$) и праг на значајност $\alpha = 0,95$ изнесува $F_{0B} = 5,987378$, при што нејзината вредност повторно е поголема од пресметаната вредност $F = 0,000184$. Според тоа се констатира дека и

тука не се воочливи статистички значајни промени или разлики во вредностите на испитуваните параметри помеѓу примерокот пченица третиран со јонизирачко зрачење со вредност на дозата 10 kGy и нетретираниот (контролен) примерок. До истиот статистички заклучок се доаѓа преку споредба на пресметаната вредност на $p=0,989611$ со теориската вредност на $p \leq 0,05$.

Доколку ги сублимираме сите горенаведени статистички резултати, би можело да се заклучи дека не се воочливи статистички значајни промени или разлики во вредностите на испитуваните параметри во примероците пченица (*Triticum aestivum* L.) третирани со јонизирачко зрачење со различна вредност на дозата (0,2 kGy, 0,5 kGy, 1 kGy, 5 kGy и 10 kGy) при првото одредување, во однос на контролниот (нетретиран) примерок. Тоа значи дека не постои статистичка значајност односно сигнификантност и не се детектираат настанати промени во квалитативниот состав на пченицата предизвикани од јонизирачкото зрачење.

6.3.1. ЕФЕКТИ НА ЈОНИЗИРАЧКОТО ЗРАЧЕЊЕ ВРЗ ОДДЕЛНИТЕ КВАЛИТАТИВНИ ПАРАМЕТРИ КАЈ ПЧЕНИЦАТА (*Triticum aestivum* L.)

Со цел да се проценат ефектите на јонизирачкото зрачење врз одделните квалитативни параметри во испитуваните примероци пченица, направена е анализа на секој параметар посебно. Добиените резултати се прикажани во продолжение.

6.3.1.1. Ефекти на јонизирачкото зрачење врз вредностите на јаглехидратите

На График 3 е прикажана споредба на процентуалната застапеност на јаглехидратите во сите испитувани примероци. Може да се забележи дека нивните износи се мошне изедначени и се движат од 64,34 % – 65,19 %.

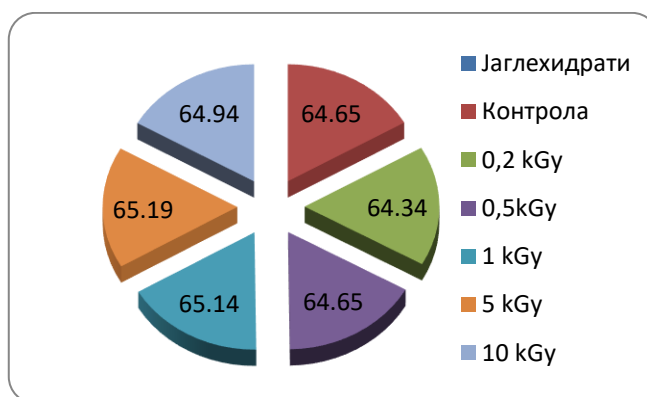
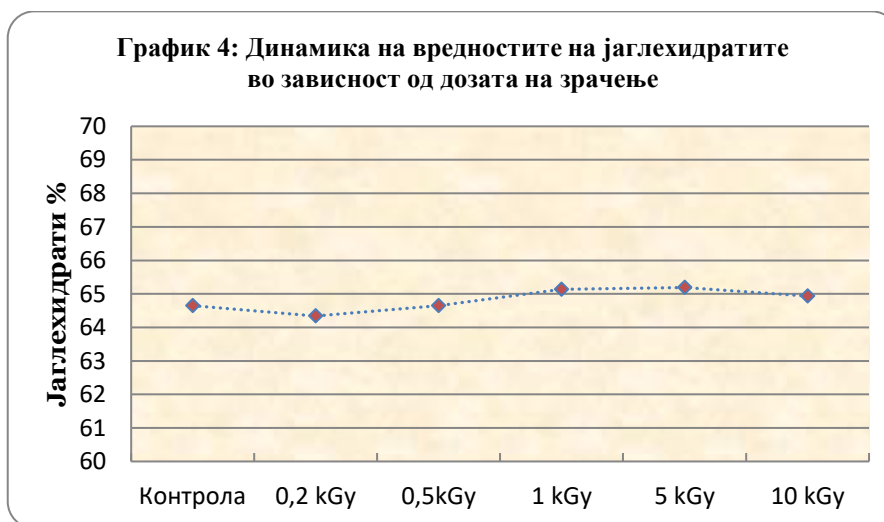


График 3. Приказ на процентуалната застапеност на јаглехидратите во испитуваните примероци пченица во зависност од дозата на јонизирачко зрачење

Тоа се потврдува и на графичкиот приказ за динамиката на вредностите на јаглехидратите прикажан на График 4.

Според добиените резултати, јасно е дека не постои зависност на процентуалната застапеност на јаглехидратите од различната вредност на дозата на јонизирачко зрачење. Ваквите резултати се очекувани поради фактот што нискиот процент на вода во пченицата го оневозможува радиолитичкиот ефект на јонизирачкото зрачење врз молекулите на јаглехидратите, знаејќи дека нивната радиоллиза се случува воглавно поради интеракцијата на хидроксил радикалот ($\bullet\text{OH}$) со нивните C-H врски. Истовремено, потврдено е и дека секундарните ефекти од јонизирачкото зрачење се мошне ограничени, доколку содржината на влага во

медиумот е пониска од 12 %, што сосема соодветствува со горенаведените резултати (Bashir & Aggarwal, 2016).



Доколку ваквите резултати се споредат со резултатите од други автори, се доаѓа до заклучок дека јаглехидратите се прилично стабилни при третирање со јонизирачко зрачење со дози до 10 kGy. Во овој контекст може да се споменат резултатите на Marathe *et al.* (2002), кои испитувајќи го ефектот на гама зраците врз физичко-хемиските карактеристики на пченично брашно третирано со дози од 0,25 – 1,0 kGy, утврдиле дека јонизирачкото зрачење нема никаков негативен ефект врз вкупната содржина на јаглехидрати. Слично на нив и El-Naggar & Mikhael (2011) не забележале промени во квалитетот на јаглехидратите во примероци од пченица третирани со дози од 0,5 – 4,0 kGy. Ист заклучок е наведен во испитувањата направени од страна на Manupriya *et al.* (2020), кои кај пченично брашно од третирано со дози од 0,25 kGy, 0,5 kGy, 1 kGy, 5 kGy и 10 kGy не утврдиле сигнификантни промени помеѓу третираните и нетретираните примероци.

Własczak *et al.* (2002) при испитување на пченица третирана со дози од 0,05 – 10 kGy, утврдиле дека структурата на ендоспермот во пченичните зрна не се разликува од таа во нетретираните примероци, но забележале одредени промени во структурата на гранулите на скроб, при дози од 1 kGy, 5 kGy и 10 kGy. До сличен заклучок дошле и Stoklosa *et al.* (2012) кои утврдиле дека дози од 10 kGy кај некои сорти пченица ги ослабуваат гранулите на скроб.

Според одредени автори, јонизирачкото зрачење кај пченицата може да доведе до зголемување на концентрациите на одредени јаглехидрати. Така на пример, Patil (2015) при испитувањата на промените на вкупните јаглехидрати во пченично брашно третирано со дози од 0,25 kGy, 0,5 kGy, 1 kGy, 5 kGy и 10 kGy, утврдил зголемување на вкупните јаглехидрати при дози од 0,25 kGy и 0,5 kGy. Слични резултати добил и Zaied (1996) при испитување на јаглехидратите во пченично брашно третирано со дози со вредност од 2 kGy, 4 kGy и 8 kGy. Тој констатирал зголемување на концентрацијата на редуцирани шеќери паралелно со зголемување на дозата. Linko & Milner (1958) пак утврдиле дека при дози повисоки од 0,5 Mrad (5 kGy) постои зголемување на вредностите на малтоза поради деполимеризација на полисахаридите. Во таа насока, Josephson (1978) истакнува дека иако јонизирачкото зрачење може да предизвика одредени физичко – хемиски промени во јаглехидратната компонента кај житариците, тие немаат никакво сигнификантно значење во однос на нутритивниот аспект на третираната храна.

Јаглехидратите се покажале мошне стабилни кон ефектите на јонизирачкото зрачење и при третирање на други видови храна. Тоа го потврдуваат резултатите на Chantharasakul (1971) при испитување на ефектот на гама зрачењето врз количеството на вкупни јаглехидрати во примероци банана. Било констативно дека јонизирачкото зрачење нема никаков ефект врз нивната содржина при дози од 0,1 kGy, 0,2 kGy, 0,3 kGy и 0,4 kGy.

6.3.1.2. Ефекти на јонизирачкото зрачење врз вредностите на протеините

Добиените вредности за процентуалната застапеност на вкупните протеини во испитуваните примероци прикажани во Табела 17, покажуваат дека истите се движат во распон од 10,04 % – 10,52 %. Споредбата на овие резултати со контролниот (нетретиран) примерок во кој протеините се застапен со 10,52 % покажува нивна целосна изедначеност (График 5)

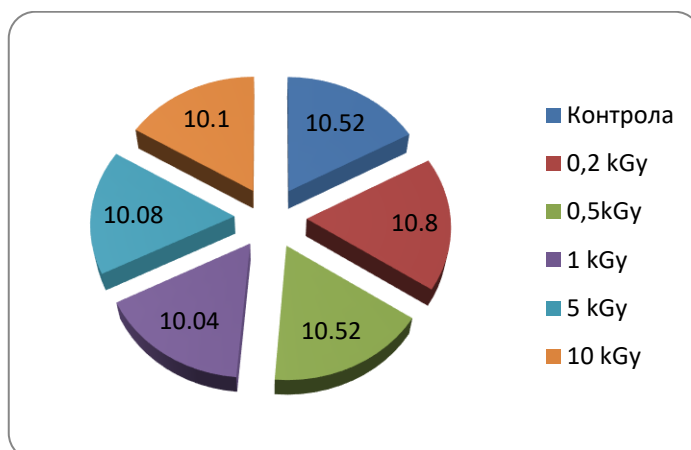
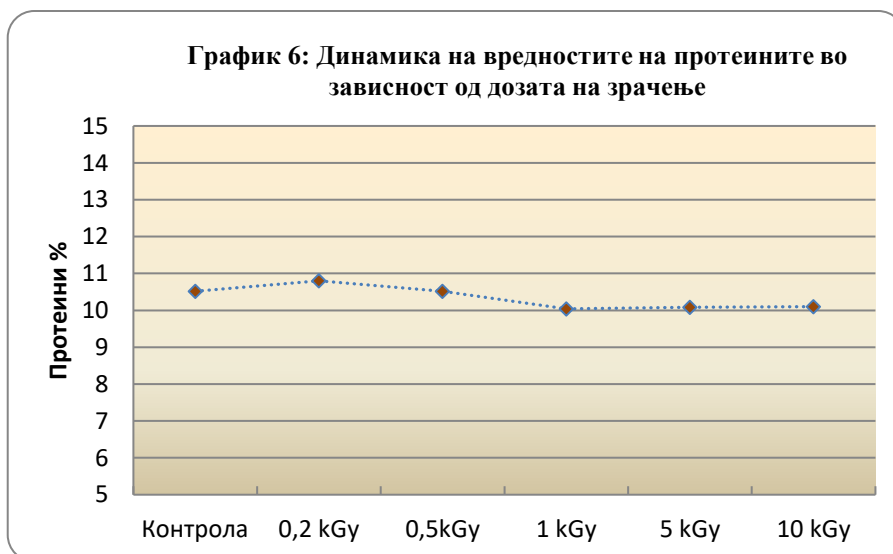


График 5. Приказ на процентуалната застапеност на протеините во испитуваните примероци пченица во зависност од дозата на јонизирачко зрачење

Истото се забележува и доколку се погледне динамиката на процентуалната застапеност на протеините помеѓу примероците третирани со различна вредност на дозата на јонизирачко зрачење (График 6).



Стабилноста на протеините во пченицата кога се изложени на ниски дози на јонизирачко зрачење е потврдена со бројни испитувања, чии резултати се сублимирани во извештаите на WHO (1970). Исто така, не е забележана ниту промена во составот на аминокиселините или нивна загуба, ниту промени во нутритивната вредност на протеините кога пченицата е третирана со дози до 200 000 rad (2 kGy).

Вакви заклучоци се објавени и од страна на Marathe *et al.* (2002) кои утврдиле дека јонизирачкото зрачење нема никаков негативен ефект врз вкупната содржина на протеини кај пченично брашно третирано со дози од 0,25 – 1,0 kGy. Слично на ова, Aziz (2006) констатирал дека дозите од 1 kGy не предизвикуваат мерлива деструкција на вкупните аминокиселини, додека Kanemaru *et al.* (2005) утврдиле дека дозите од 0,5 kGy, 1 kGy и 2 kGy, немаат влијание врз застапеноста на протеините во пченицата и пченичното брашно.

Дека нема промени во процентуалната застапеност на протеините и на повисоки дози на зрачење констатирал Коксел (1996) испитувајќи го ефектот на јонизирачкото зрачење врз две сорти пченица, третирани со дози од 1 kGy до 5 kGy. Неговите резултати покажале скоро идентични вредности на третираните примероци со контролниот (нетретиран) примерок. До ист заклучок дошле и Bhat *et al.* (2016), анализирајќи ги физичко-хемиските карактеристики на пченично брашно третирано со дози од 2,5 kGy и 5 kGy. Тие утврдиле изедначени вредности на протеините кај сите испитувани примероци. И El-Naggar & Mikhael (2011) испитувајќи примероци пченица третирани со дози од 0,5 – 4,0 kGy не констатирале забележливи промени во квалитетот на протеините, додека Manupriya *et al.* (2020) не забележале сигнификантни промени во однос на протеините кај пченично брашно третирано со дози од 0,25 kGy, 0,5 kGy, 1 kGy, 5 kGy и 10 kGy.

Наспроти овие сознанија, постојат истражувања кои покажуваат дека високите дози на јонизирачко зрачење, сепак имаат одреден ефект врз протеините. Така, Warchalewski (2000) истакнува дека гама зраците со дози од 0,05 – 10 kGy, предизвикуваат статистички значајни разлики во содржината на растворливи протеини и тврдоста на пченичните зрна. Ваков став се сретнува и во истражувањата на Stoklosa *et al.* (2012), кои испитувајќи 5 сорти пченица третирани со дози од 1 kGy, 3 kGy, 10 kGy и 100 Gy, утврдиле дека иако се работи за ниски дози на зрачење, со зголемување на дозата на зрачење, се јавува сигнификантна разлика во ефектот на јонизирачкото зрачење врз протеините, при што некои сорти покажуваат поголема стабилност при зрачењето од други. Тие констатирале дека промените кај протеините биле особено нагласени при дози од 10 kGy, па истакнуваат дека при одлуката за третирање на пченицата со јонизирачко зрачење треба да се води сметка и за тоа која сорта е во прашање.

Le Maire *et al.* (1990) испитувајќи ги протеините во примероци пченица изложени на различни дози на зрачење, во распон од 0 – 400 kGy, констатирале дека дозите од 10 kGy доведуваат до фрагментација на пченичните протеини. Тие откриле дека протеините во пченицата имаат одредени места (лоцирани во близина на С-терминалниот дел на протеинот) кои се поподложни на оштетување при зрачење со гама зраци. Потврда за ова се сретнува и во извештаите на WHO (1970), во кои дозите од 1 Мрад (10 kGy) и 5 Мрад (50 kGy) предизвикуваат мал, но статистички значаен губиток во нутритивната вредност на протеините. Во овој контекст, може да се споменат и резултатите објавени од страна на Hannis *et al.* (1988), кои испитувајќи примероци од пченица, пченка и овес третирани со дози од 1 kGy, 10 kGy и 25 kGy, утврдиле дека дозите до 10 kGy не предизвикуваат никакво мерливо намалување на содржината на аминокиселини, но при доза од 25 kGy постоело уништување на аминокиселината метионин во износ од 39 %. Идентичен заклучок објавуваат и Aziz *et al.* (2006), во чие истражување спроведено кај 4 различни вида житарици, дозите од 10 kGy не предизвикале мерлива деструкција на аминокиселините.

Најпосле, во однос на влијанието кое јонизирачкото зрачење го има врз протеините, може да се спомене и ставот на Linko & Milner (1958) кои многу одамна утврдиле дека постои корелација помеѓу процентот на влага и ефектите на јонизирачкото зрачење врз протеините. Тие откриле дека паралелно со зголемувањето на влагата, настанува значајна промена на слободните аминокиселини во пченицата, бидејќи влагата активира одредени ензими кои предизвикуваат последователни реакции на протеолиза.

6.3.1.3. Ефекти на јонизирачкото зрачење врз вредностите на масните

Добиените резултати за процентуалната застапеност на масните во испитуваните примероци третирани со дози на јонизирачко зрачење со различна вредност до 10 kGy, покажуваат нивна изразена стабилност. Така, согласно резултатите во Табела 17 и График 7, вредностите за овој параметар се движат од 1,31 % – 1,39 %, при што овие вредности се скоро изедначени со контролниот примерок (1,33 %).

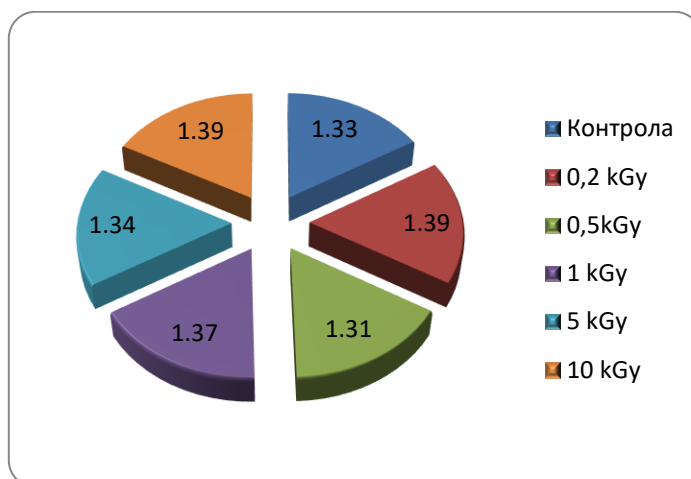
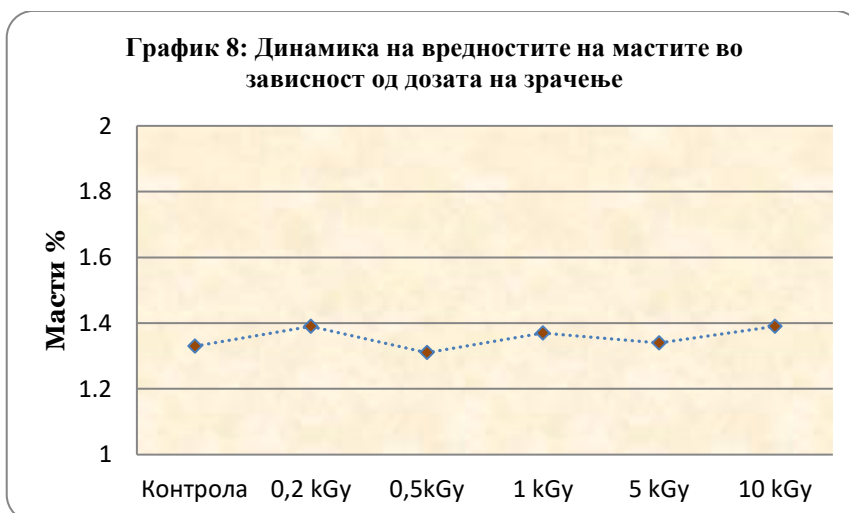


График 7. Приказ на процентуалната застапеност на мастите во испитуваните примероци пченица во зависност од дозата на јонизирачко зрачење

Доколку се споредат нивните износи меѓусебно, тие се скоро целосно се изедначени, што јасно се забележува од График 8. Ова покажува дека јонизирачкото зрачење, во овие дози, нема ефект врз концентрациите на масти во пченицата.



Слични заклучоци се наведуваат и од други автори. Така на пример, Marathe *et al.* (2002) откриле дека јонизирачкото зрачење нема никаков негативен ефект врз вкупната содржина на масти во пченично брашно третирано со дози од 0,25 – 1,0 kGy. Bhat *et al.* (2016) испитувајќи ги физичко – хемиските карактеристики на пченично брашно од три сорти пченица, констатирале дека нема промена во содржината на масти кај примероците третирани со дози од 2,5 kGy и 5 kGy, како и дека нивната застапеност

е скоро идентична со контролниот (нетретиран) примерок. И El-Naggar & Mikhael (2011) испитувајќи примероци пченица третирани со дози од 0,5 – 4,0 kGy утврдиле дека нема забележливи промени во однос на застапеноста на мастите.

Стабилноста на мастите е потврдена и при третирање на пченицата со повисоки дози на зрачење. Така Rao *et al.* (1979) пронашле дека дозите до 10 kGy не предизвикуваат забележителни промени во вкупните масти кај пченицата. До ист заклучок дошле и Hannis *et al.* (1988) кога кај примероци од пченица, пченка и овес третирани со дози од 1 – 25 kGy, утврдиле дека дозите до 10 kGy не доведуваат до промени во мастите кај овие житарици. Скоро идентичен резултат објавуваат и Manupriya *et al.* (2020) при испитување на физичко-хемиските карактеристики на брашно од пченица третирано со дози од 0,25 kGy, 0,5 kGy, 1 kGy, 5 kGy и 10 kGy. И овие автори не забележале сигнификантни промени во брашното при споредба со нетретиран примерок во поглед на застапеноста на мастите.

Според Tipples & Norris (1965) јонизирачкото зрачење доведува до мали промени во липидната фракција на третираната пченица. Тие го испитувале јонизирачкиот ефект на две сорти пченица, третирани со дози од 5×10^6 rad (50 kGy), при што констатирале дека при високи дози на зрачење доаѓа до намалување на линоленската и линолната киселина, како и дека каротеноидите и токоферолите се намалуваат паралелно со зголемување на дозата на зрачење. Притоа, липидите од пченицата третирани со јонизирачко зрачење имале повисока пероксидна вредност, во споредба со липидите во примероците кои не биле третирани.

6.3.1.4. Ефекти на јонизирачкото зрачење врз вредностите на диететските влакна

Вредностите за процентуалната застапеност на диететските влакна кај примероците пченица третирани со различни дози на зрачење се прикажани на (График 9). Евидентно е дека тие се скоро изедначени (12,30 % – 12,40 %) и не отстапуваат од вредноста добиена за контролниот примерок.

Издначеноста на вредностите на диететските влакна јасно се гледа и при споредба на нивната динамика во зависност од дозата на зрачење (График 8), што покажува дека јонизирачкото зрачење во испитуваните дози не влијае врз нивниот процент во пченицата.

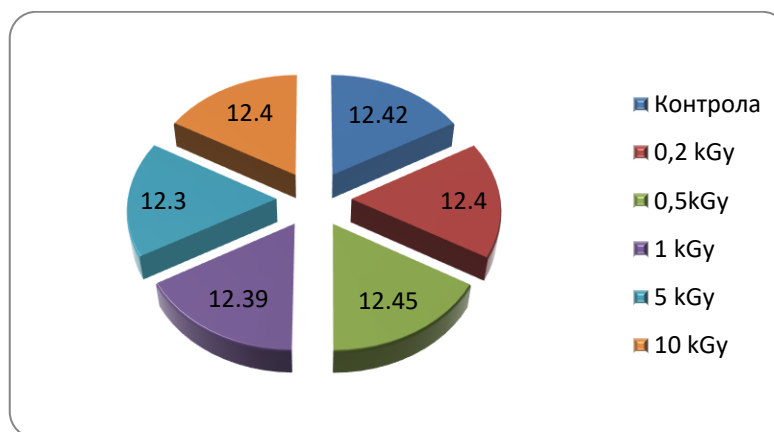
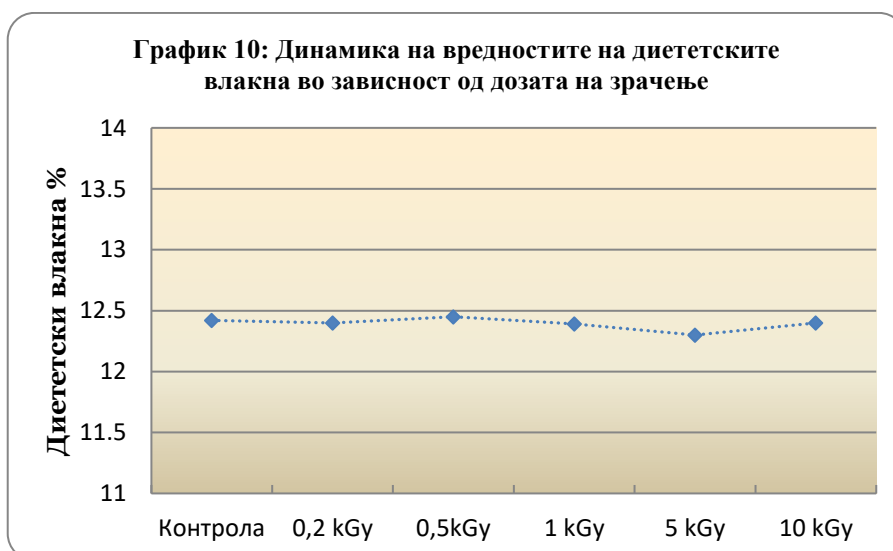


График 9. Приказ на процентуалната застапеност на диететските влакна во испитуваните примероци пченица во зависност од дозата на јонизирачко зрачење



Ваков заклучок објавуваат и El-Naggar & Mikhaiel (2011) при анализа на примероци од пченица третирани со дози од 0,5 – 4,0 kGy. Тие констатирале дека нема забележливи промени во квалитетот на диететските влакна при наведените дози.

Стабилноста на диететските влакна кога се изложени на јонизирачко зрачење се потврдува и во истражувањата на Bhat *et al.* (2016), кои констатирале дека нерастворливите (целулозни) влакна не покажуваат сигнификантни разлики кај сорти пченица третирани со дози од 2,5 kGy и 5 kGy. Истовремено, нивните вредности биле изедначени и со контролниот (нетретиран) примерок. И во истражувањата на Enas (2015) при одредување на физичко – хемиските карактеристики на две сорти пченица третирани со дози од 0,5 kGy, 1 kGy и 2 kGy, не биле констатирани сигнификантни разлики помеѓу третираните и нетретираните примероци.

6.3.1.5. Ефекти на јонизирачкото зрачење врз процентот на влага

Добиените вредности за процентуалната застапеност на водата во испитуваните примероци се прикажани во График 11. Може да се забележи дека осцилациите на овој параметар се движат во граници од 9,65 % – 9,78 %. Притоа, истите воопшто не отстапуваат во однос на контролниот примерок, во кој измерената влага изнесува 9,62 %.

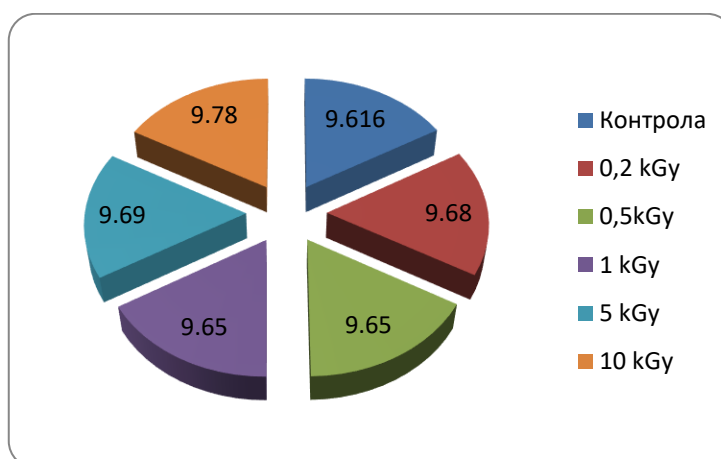
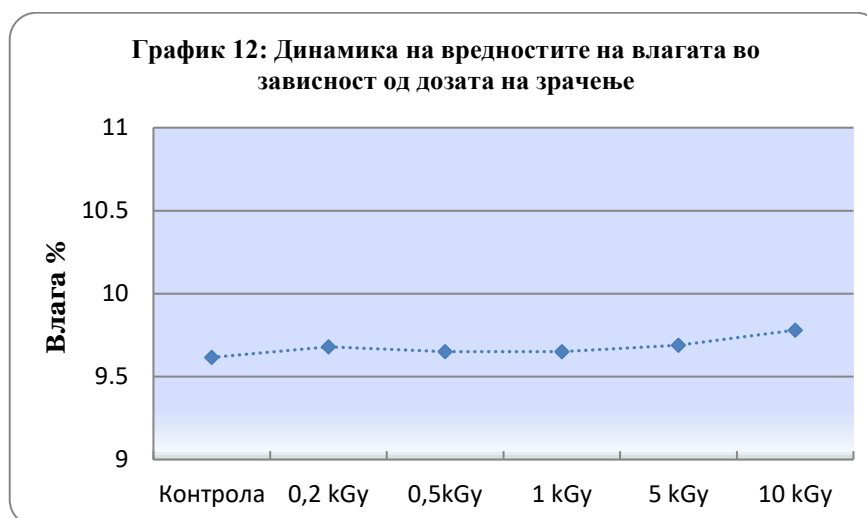


График 11. Приказ на процентот на влага во испитуваните примероци пченица во зависност од дозата на јонизирачко зрачење

Истовремено, доколку се погледне динамиката на вредностите на влагата прикажана на График 12, повторно може да се констатира дека не се забележуваат никакви промени во однос на овој параметар.



Според тоа, може да се заклучи дека јонизирачко зрачење во дози до 10 kGy не влијае на содржината на влага во пченицата.

Мошне слични резултати за динамиката на влагата во зависност од јонизирачкото зрачење наведуваат и Bhat *et al.* (2016). Во нивното истражување кај сорти пченица третирани со дози од 2,5 kGy и 5 kGy, процентот на влага во третираните примероци се движел од 10,43 % до 10,52 %, скоро идентично со контролниот примерок, во кој биле измерени 10,5 % влага. И во испитувањата на Enas (2015) се потврдило дека третирањето на пченицата со јонизирачко зрачење не доведува до промени во процентот на влага, доколку третирањето е направено со дози од 0,5 kGy, 1 kGy и 2 kGy. Скоро идентичен заклучок се наведува во истражувањата на Kanemaru *et al.* (2005) кои при испитување на пченица третирана со истите дози (0,5 kGy, 1 kGy и 2,0 kGy) потврдиле дека содржината на влага не покажува сигнификантни промени во зависност од дозата на зрачење.

Постојат и истражувања кои покажуваат дека влагата не се менува ниту при повисоки дози на зрачење. Така, според Silva *et al.* (2010) содржината на вода во пченицата не се менува сигнификантно при зрачење со дози од 3 kGy, 4,5 kGy и 6 kGy, додека според Zeh *et al.* (2011) нема промена во содржината на влага кај пченица третирана со дози на јонизирачко зрачење во износи од 0,2 kGy, 1 kGy, 2,5 kGy, 5 kGy и 10 kGy.

6.3.1.6. Ефекти на јонизирачкото зрачење врз процентот на пепел

Согласно добиените вредности за процентуалната застапеност на пепелот во испитуваните примероци пченица (Табела 17), овој параметар се движи во износи од 1,39 % – 1,47 %. Ваквите вредности се мошне слични со контролниот примерок, во кого процентот на пепел изнесува 1,47 %. Нивната споредба може да се види на График 13.

Доколку се погледне пак динамиката на вредностите и на овој параметар, скоро и да не постојат забележливи промени поврзани со дозата на јонизирачко зрачење (График 14).

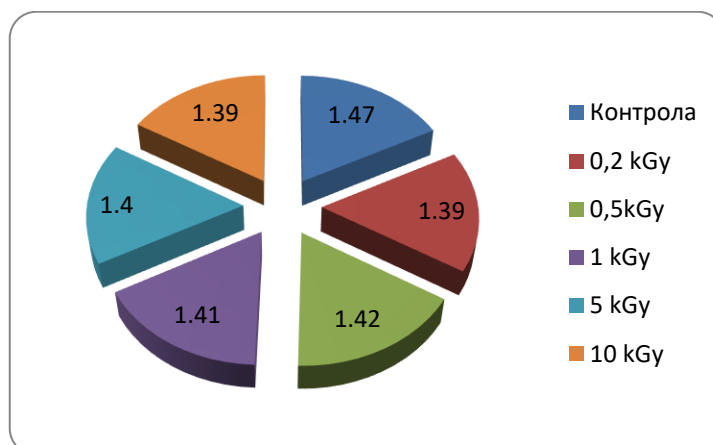
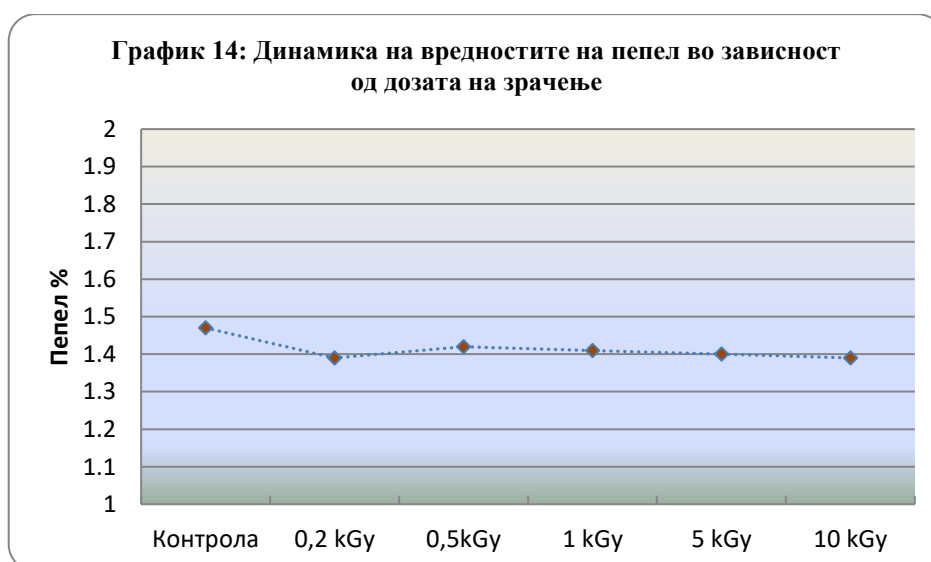


График 13. Приказ на процентот на пепел во испитуваните примероци пченица во зависност од дозата на јонизирачко зрачење



Слични резултати објавуваат и Zeh *et al.* (2011) при испитување на ефектот на гама зрачењето врз пченица третирана со дози од 0,25 kGy, 1 kGy, 2,5 kGy, 5 kGy и 10 kGy. Тие исто така утврдиле дека нема промена во содржината на пепел во зависност од дозата на зрачење. Идентични заклучоци објавуваат и други автори и тоа: Marathe *et al.* (2002) при испитување на количеството на пепел во пченично брашно третирано со дози од 0,25 – 1 kGy; Enas (2015) при одредување на физичко – хемиските карактеристики на две сорти пченица третирани со дози од 0,5 kGy, 1 kGy и 2 kGy; Bhat *et al.* (2016) анализирајќи го процентот на пепел кај пченица третирана со дози од 2,5 kGy и 5 kGy, како и El-Naggar & Mikhaiel (2011) кај примероци од пченица третирани со дози од 0,5 – 4,0 kGy.

6.3.1.7. Ефекти на јонизирачкото зрачење врз процентот на песок

Според резултатите добиени за овој параметар, прикажани на График 15, може да се забележи дека вредностите се скоро изедначени и се движат од 0,048 % – 0,05 %. И во однос на овој параметар, резултатите покажуваат дека јонизирачкото зрачење нема никаков ефект, што може да се констатира и од динамиката на вредностите кај испитуваните примероци во зависност од дозата на зрачење, прикажани на График 16.

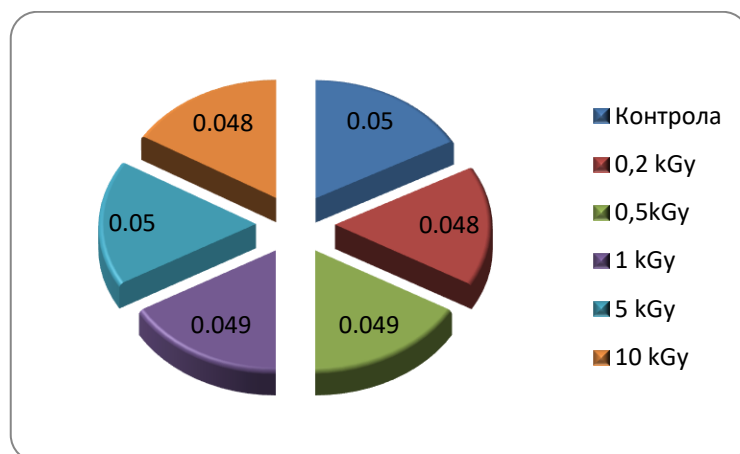
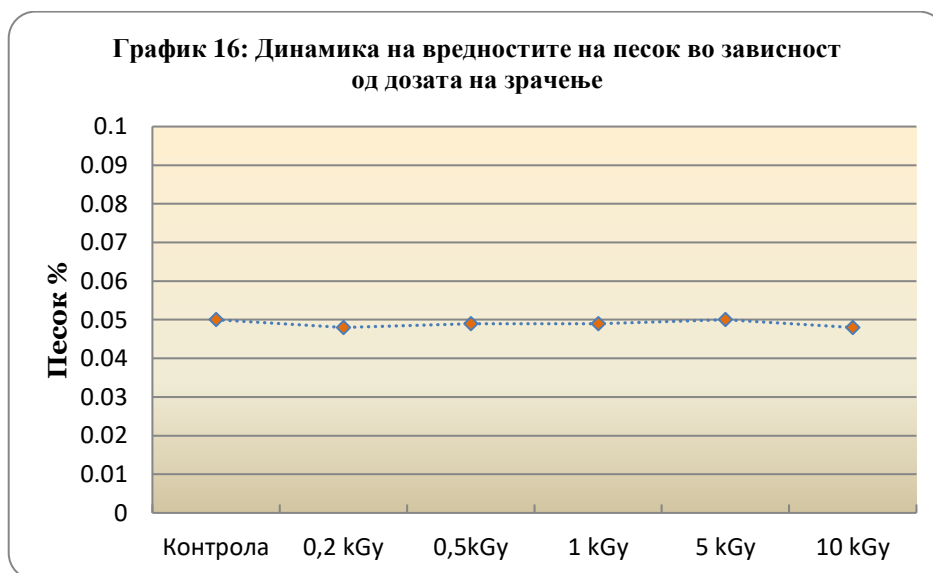


График 15. Приказ на процентот на песок во испитуваните примероци пченица во зависност од дозата на јонизирачко зрачење



Доколку се сумираат сите горенаведени резултати, евидентно е дека јонизирачкото зрачење во дози од 0,2 kGy 0,5 kGy 2 kGy, 5 kGy и 10 kGy нема влијание врз ниту еден од испитуваните параметри во квалитативниот состав на пченицата.

6.4. ЕФЕКТИ НА ЈОНИЗИРАЧКОТО ЗРАЧЕЊЕ ВО ЗАВИСНОСТ ОД СТАРЕЕЊЕТО НА ПРИМЕРОЦИТЕ

После жетвата, житата мора да бидат складирани пред нивната понатамошна употреба. Иако методите за зачувување на нивниот квалитет за време на транспортот и складирањето биле развиени уште многу одамна, промените во квалитетот на складираното жито не може да се избегнат ниту со најсовремените технолошки постапки. Складирањето секогаш носи одредени ризици од типот на развој на складишни штетници, особено инсекти и мувли или 'ртење на самите зрна доколку влагата во житата е повисока (McKevith, 2004).

Многу испитувања потврдиле дека складирањето на пченицата после жетвата влијае врз нејзиниот хемиски состав (Kim *et al.* 2003; Ravindran *et al.* 2001; Gutiérrez-Alamo, 2008).

Според McKevith (2004) промените зависат првенствено од процентот на влага во зрната, бидејќи на повисока влага, амилазите од зрната и присутните микроорганизми доведуваат до разградување на скробот, оксидација на незаситените масни киселини и други биохемиски промени. Обратно, колку се зрната со понисок процент на влага, а амбиенталната температура е пониска, промените во нутритивниот состав се помали, дури и при подолг период од складирањето.

Со цел да се определат ефектите на јонизирачкото зрачење врз квалитативните параметри на пченицата во корелација со стареењето на примероците, направена е хемиска анализа на примероците после период од 9 месеци од спроведеното третирање со јонизирачко зрачење.

Добиените резултати се прикажани во Табела 18 и График 17. Притоа, може да се воочи дека нема значајни отстапувања и разлики во вредностите на испитуваните параметри во примероците пченица (*Triticum aestivum* L.) после период од 9 месеци од спроведеното третирање со јонизирачко зрачење со различна вредност на дозата.

Тоа се однесува за сите испитувани параметри и за сите различни вредности на дозата на јонизирачко зрачење. Според тоа, може да се констатира дека ефектите на јонизирачкото зрачење врз квалитативните параметри на пченицата, во корелација со стареењето на примероците се минимални.

Табела 18. Вредности на испитуваните параметри во примероците пченица (*Triticum aestivum* L.) после период од 9 месеци од третирањето со јонизирачко зрачење

Испитуван параметар % (19-23.07.2021)	Нетретиран примерок (контрола)	Примерок третиран со 0,2 kGy	Примерок третиран со 0,5 kGy	Примерок третиран со 1 kGy	Примерок третиран со 5 kGy	Примерок третиран со 10 kGy
Јаглехидрати	63,7	64,11	64,32	64,32	64,83	64,55
Вкупни протеини	10,42	10,33	10,40	10,31	10,14	10,33
Маси	1,32	1,39	1,36	1,31	1,30	1,40
Диететски влакна	12,35	12,39	12,41	12,41	12,35	12,43
Влага	10,81	10,34	10,21	10,32	10,05	10,00
Пепел	1,40	1,44	1,30	1,33	1,33	1,29
Песок	0,05	0,049	0,05	0,048	0,05	0,049

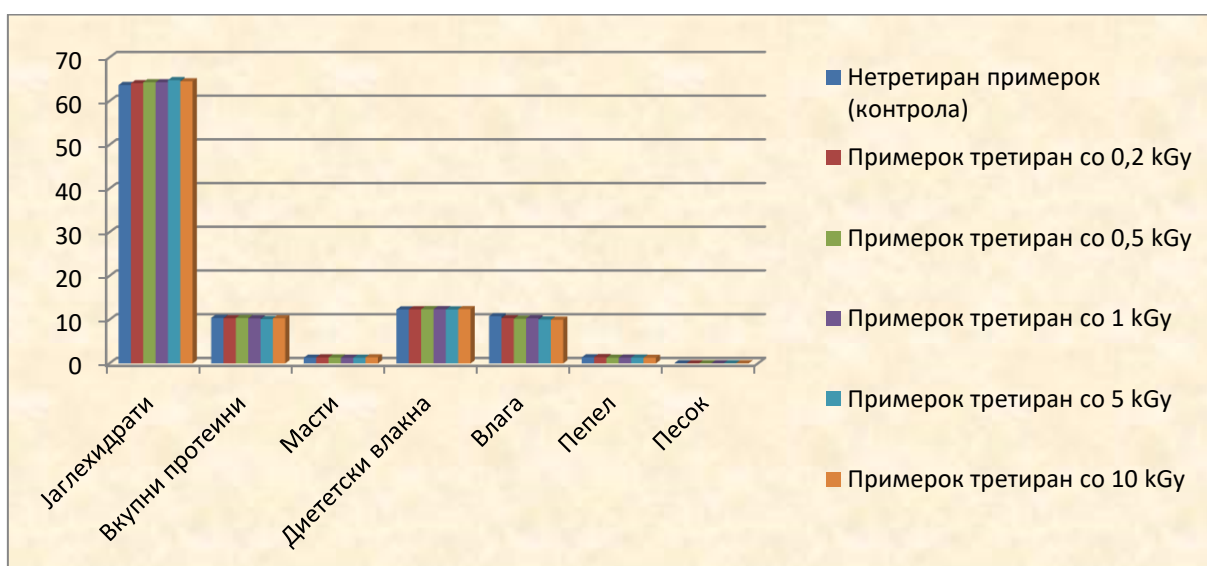


График 17. Процентуална застапеност на испитуваните параметри во примероците пченица (*Triticum aestivum* L.) после 9 месеци од третирањето со јонизирачко зрачење со различна вредност на дозата (второ одредување)

Со цел статистички да ја утврдиме сигнификантноста на евентуалните промени, резултатите се анализирани со статистичкиот параметарски тест ANOVA и соодветниот модел на два фактори и повеќе модалитети. Со реализација на горенаведениот

Компаративна анализа на промените во квалитативниот состав кај храна третирана со јонизирачко зрачење

параметарски тест се добиваат параметри за статистичко заклучување претставени во Табела 18.1.

Табела 18.1 Статистичка анализа на резултатите од Табела 18.

Anova: Two-Factor Without Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
Јаглехидрати	6	385,83	64,305	0,14803
Вкупни протеини	6	61,93	10,32167	0,009817
Масти	6	8,08	1,346667	0,001827
Диететски влакна	6	74,34	12,39	0,00112
Влага	6	61,73	10,28833	0,084377
Пепел	6	8,09	1,348333	0,003497
Песок	6	0,296	0,049333	6,67E-07
Нетретиран примерок (контрола)	7	100,05	14,29286	501,5583
Примерок третиран со 0,2 kGy	7	100,049	14,29271	508,5442
Примерок третиран со 0,5 kGy	7	100,05	14,29286	512,8361
Примерок третиран со 1 kGy	7	100,048	14,29257	512,9022
Примерок третиран со 5 kGy	7	100,05	14,29286	522,1224
Примерок третиран со 10 kGy	7	100,049	14,29271	516,9285

ANOVA	Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows		18448,11	6	3074,684	74187,92	3,65E-61	2,420523
Columns		4,76E-07	5	9,52E-08	2,3E-06	1	2,533555
Error		1,243336	30	0,041445			
Total		18449,35	41				

а. Теориската вредност на Снедекоровата променлива F_{0A} за соодветен број степени на слобода ($\nu_1 = 6$) и ($\nu_2 = 30$) и праг на значајност $\alpha = 0,95$ изнесува $F_{0A} = 2,420523$. Бидејќи нејзината теориска вредност е значително помала од пресметаната вредност на Снедекоровата променлива $F = 74187,92$, се заклучува дека различните испитувани параметри во природниот квалитативен состав на пченицата имаат различно процентуално учество. Во овој случај постои статистичка значајност, односно сигнификантност, што се потврдува и преку споредба на пресметаната вредност на $p \approx 0$ со теориската вредност $p \leq 0,05$.

б. Теориската вредност на Снедекоровата променлива F_{0B} за соодветен број степени на слобода ($\nu_1 = 5$) и ($\nu_2 = 30$) и праг на значајноста $\alpha = 0,95$ изнесува $F_{0B} = 2,533555$. Бидејќи оваа вредност на Снедекоровата променлива е поголема од пресметаната вредност $F = 0,00000023$ тоа значи дека не се воочливи статистички значајни промени во вредностите на испитуваните параметри, во примероците пченица

третирани со јонизирачко зрачење со различна вредност на дозата, после период од 9 месеци од спроведеното третирање.

Ова покажува дека не постои разлика во вредностите на испитуваните параметри помеѓу нетретираниот (контролен) примерок и сите примероци кои се третирани со јонизирачко зрачење со различна вредност на дозата, после 9 месеци од третирањето. Не постои статистичка значајност односно сигнификантност на ефектите на јонизирачкото зрачење врз квалитативните параметри на пченицата од аспект на стареењето на примероците. До истиот статистички заклучок се доаѓа преку споредба на пресметаната вредност на $p=1$ со теориската вредност $p \leq 0,05$.

Со цел да се извлечат заклучоци дали постојат сигнификантни разлики помеѓу вредностите на одделните испитувани параметри во примероците пченица кои се третирани со јонизирачко зрачење различна вредност на дозата, а во однос на контролниот (нетретиран) примерок, направена е поединечна статистичка обработка на добиените резултати.

Статистичката споредба е изведена со Регресиона статистика (едноставен регресионен модел), како и со параметарски тест ANOVA (два фактори и повеќе модалитети). Добиените резултати се прикажани во продолжение.

При споредба на вредностите на испитуваните параметри добиени за контролниот (нетретиран) примерок и примерокот пченица третиран со доза од 0,2 kGy, а во корелација со временски период од 9 месеци после третирањето со јонизирачко зрачење, добиени се резултати кои покажуваат незначителни промени во однос на испитуваните параметри (Табела 18.2).

Табела 18.2. Параметри на едноставен регресионен модел за примероците пченица третирани со доза од 0,2 kGy после период од 9 месеци од третирањето.

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,999957
R Square	0,999914
Adjusted R Square	0,999897
Standard Error	0,228934
Observations	7

Статистичката споредба на овој примерок со контролниот, направена според моделот ANOVA (два фактори и повеќе модалитети) го потврдува истото. Резултатите од оваа анализа се прикажани во Табела 18.3.

Табела 18.3 Статистичка споредба на контролниот (нетретиран) примерок со примерокот пченица третиран со доза од 0,2 kGy после 9 месеци од третирањето

Anova: Two-Factor Without Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
Јаглехидрати	2	127,81	63,905	0,08405
Вкупни протеини	2	20,75	10,375	0,00405
Массти	2	2,71	1,355	0,00245
Диететски влакна	2	24,74	12,37	0,0008
Влага	2	21,15	10,575	0,11045
Пепел	2	2,84	1,42	0,0008
Песок	2	0,099	0,0495	5E-07
Нетретиран примерок (контрола)	7	100,05	14,29286	501,5583
Примерок третиран со 0,2 kGy	7	100,049	14,29271	508,5442

ANOVA	Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows		6060,412	6	1010,069	29913,13	3,74E-13	4,283866
Columns		7,14E-08	1	7,14E-08	2,12E-06	0,998887	5,987378
Error		0,2026	6	0,033767			
Total		6060,615	13				

Според добиените параметри во Табела 18.3 може да се констатира дека теориската вредност на Снедекоровата променлива F_{0B} за соодветен број степени на слобода ($\nu_1 = 1$) и ($\nu_2 = 6$) и праг на значајност $\alpha = 0,95$ изнесува $F_{0B} = 5,987378$. Бидејќи оваа вредност е поголема од пресметаната вредност на Снедекоровата променлива $F = 0,00000212$, се констатира дека дека не постојат воочливи статистички значајни промени или разлики во вредностите на испитуваните параметри помеѓу примерокот пченица третиран со јонизирачко зрачење со доза од 0,2 kGy и нетретираниот (контролен) примерок, после период од 9 месеци од спроведеното третирање. Не постои сигнификантност. До истиот статистички заклучок се доаѓа преку споредба на пресметаната вредност на $p=0,998887$ со теориската вредност на $p \leq 0,05$.

Доколку се направи споредба на вредностите на испитуваните параметри добиени за контролниот (нетретиран) примерок и примерокот пченица третиран со доза од 0,5 kGy, а во корелација со временски период од 9 месеци од третирањето со јонизирачко зрачење, се добиваат резултати кои покажуваат незначителни промени во однос на испитуваните параметри (Табела 18.4).

Табела 18.4. Параметри на едноставен регресионен модел за примероците пченица третирана со доза од 0,5 kGy после период од 9 месеци од третирањето.

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,999937
R Square	0,999874
Adjusted R Square	0,999849
Standard Error	0,278609
Observations	7

Статистичката споредба на овој примерок со контролниот, направена според моделот ANOVA со два фактори и повеќе модалитети го потврдува истото. Резултатите од оваа анализа се прикажани во Табела 18.5.

Табела 18.5 Статистичка споредба на контролниот (нетретиран) примерок со примерокот пченица третиран со доза од 0,5 kGy после 9 месеци од третирањето.

Anova: Two-Factor Without Replication

<i>SUMMARY</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Јаглехидрати	2	128,02	64,01	0,1922
Вкупни протеини	2	20,82	10,41	0,0002
Масти	2	2,68	1,34	0,0008
Диететски влакна	2	24,76	12,38	0,0018
Влага	2	21,02	10,51	0,18
Пепел	2	2,7	1,35	0,005
Песок	2	0,1	0,05	0
Нетретиран примерок (контрола)	7	100,05	14,29286	501,5583
Примерок третиран со 0,5 kGy	7	100,05	14,29286	512,8361

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Rows	6085,986	6	1014,331	16015,75	2,43E-12	4,283866
Columns	9,09E-13	1	9,09E-13	1,44E-11	0,999997	5,987378
Error	0,38	6	0,063333			
Total	6086,366	13				

Според параметрите добиени во Табела 18.5 може да се констатира дека теориската вредност на Снедекоровата променлива F_{0B} за соодветен број степени на слобода ($\nu_1 = 1$) и ($\nu_2 = 6$) и праг на значајност $\alpha = 0,95$ изнесува $F_{0B} = 5,987378$. Оваа вредност е значително поголема од пресметаната вредност на Снедекоровата променлива која изнесува $F = 0,0000000000144$, што значи дека не се воочливи статистички значајни промени или разлики помеѓу вредностите на испитуваните параметри за примерокот пченица третиран со јонизирачко зрачење со вредност на дозата од 0,5 kGy и нетретираниот (контролен) примерок, а во корелација со стареењето на примероците од 9 месеци после спроведеното третирање. Дека не постои сигнификантност се гледа и преку споредба на пресметаната вредност на $p = 0,999997$ со теориската вредност на $p \leq 0,05$.

При споредба на вредностите на испитуваните параметри добиени за контролниот (нетретиран) примерок и примерокот пченица третиран со доза со вредност од 1 kGy, а во корелација со временскиот период од 9 месеци после третирањето со јонизирачко зрачење, со регресиона статистичка обработка се добиваат резултати кои покажуваат незначителни промени во однос на испитуваните параметри (Табела 18.6).

Табела 18.6. Параметри на едноставен регресионен модел за примероците пченица третирани со доза од 1 kGy после период од 9 месеци од третирањето.

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,999957
R Square	0,999913
Adjusted R Square	0,999896
Standard Error	0,231348
Observations	7

Статистичката споредба на овој примерок со контролниот, направена според моделот ANOVA (два фактори и повеќе модалитети) го потврдува истото. Резултатите од оваа анализа се прикажани во Табела 18.7.

Табела 18.7 Статистичка споредба на контролниот (нетретиран) примерок со примерокот пченица третиран со доза од 1 kGy после 9 месеци од третирањето.

Anova: Two-Factor Without Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
Јаглехидрати	2	128,02	64,01	0,1922
Вкупни протеини	2	20,73	10,365	0,00605
Масти	2	2,63	1,315	5E-05
Диететски влакна	2	24,76	12,38	0,0018
Влага	2	21,13	10,565	0,12005
Пепел	2	2,73	1,365	0,00245
Песок	2	0,098	0,049	0,000002
Нетретиран примерок (контрола)	7	100,05	14,29286	501,5583
Примерок третиран со 1 kGy	7	100,048	14,29257	512,9022

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	6086,44	6	1014,407	18866,73	1,49E-12	4,283866
Columns	2,86E-07	1	2,86E-07	5,31E-06	0,998235	5,987378
Error	0,322602	6	0,053767			
Total	6086,763	13				

Од добиените параметри за статистичката анализа на резултатите во Табела 18.7 се наметнува заклучок дека теориската вредност на Снедекоровата променлива F_{0B} за соодветен број степени на слобода ($\nu_1 = 1$) и ($\nu_2 = 6$) и праг на значајност $\alpha = 0,95$ изнесува $F_{0B} = 5,987378$. Бидејќи нејзината вредност е поголема од пресметаната вредност на Снедекоровата променлива $F = 0,00000531$ и во овој случај не постојат статистички значајни промени или разлики во вредностите на испитуваните параметри помеѓу примерокот пченица третиран со јонизирачко зрачење со вредност на дозата од 1 kGy и нетретираниот (контролниот) примерок, согласно анализите направени после период од 9 месеци од спроведеното третирање. Ова укажува дека не постои сигнификантност, а до истиот статистички заклучок се доаѓа преку споредба на пресметаната вредност на $p=0,998235$ со теориската вредност за $p \leq 0,05$.

При споредба на вредностите на испитуваните параметри добиени за контролниот (нетретиран) примерок и примерокот пченица третиран со доза со вредност од 5 kGy, а во корелација со временскиот период од 9 месеци од третирањето со јонизирачко зрачење, со регресиона статистичка обработка се добиваат резултати кои покажуваат незначителни промени во однос на испитуваните параметри (Табела 18.8).

Табела 18.8. Параметри на едноставен регресионен модел за примероците пченица третирана со доза од 5 kGy после период од 9 месеци од третирањето.

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,999886
R Square	0,999772
Adjusted R Square	0,999727
Standard Error	0,3776
Observations	7

Статистичката споредба на овој примерок со контролниот, направена според моделот ANOVA со два фактори и повеќе модалитети го потврдува истото. Резултатите од оваа анализа се прикажани во Табела 18.9.

Табела 18.9 Статистичка споредба на контролниот (нетретиран) примерок со примерокот пченица третиран со доза од 5 kGy после 9 месеци од третирањето.

Anova: Two-Factor Without Replication

<i>SUMMARY</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Јаглехидрати	2	128,53	64,265	0,63845
Вкупни протеини	2	20,56	10,28	0,0392
Масти	2	2,62	1,31	0,0002
Диететски влакна	2	24,7	12,35	0
Влага	2	20,86	10,43	0,2888
Пепел	2	2,73	1,365	0,00245
Песок	2	0,1	0,05	0
Нетретиран примерок (контрола)	7	100,05	14,29286	501,5583
Примерок третиран со 5 kGy	7	100,05	14,29286	522,1224

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Rows	6141,115	6	1023,519	6336,926	3,93E-11	4,283866
Columns	0	1	0	0	1	5,987378
Error	0,9691	6	0,161517			
Total	6142,084	13				

Од добиените параметри за статистичката анализа на резултатите во Табела 18.9 се наметнува следниот заклучок:

Теориската вредност на Снедекоровата променлива F_{0B} за соодветен број степени на слобода ($\nu_1 = 1$) и ($\nu_2 = 6$) и праг на значајност $\alpha = 0,95$ изнесува $F_{0B} = 5,987378$. И во овој случај нејзината вредност е поголема од пресметаната вредност на Снедекоровата променлива $F = 0$, што повторно значи дека не се воочливи статистички значајни промени или разлики во вредностите на испитуваните параметри помеѓу примерокот пченица третиран со јонизирачко зрачење со вредност на дозата од 5 kGy и нетретираниот (контролен) примерок. Дека не постои сигнификантност може да се заклучи и преку споредба на пресметаната вредност на $p=1$ која е поголема од теориската вредност на $p \leq 0,05$.

Регресионата статистичка споредба на вредностите на испитуваните параметри добиени за контролниот (нетретиран) примерок и примерокот пченица третиран со доза со вредност од 10 kGy, а во корелација со временскиот период од 9 месеци после третирањето со јонизирачко зрачење исто така покажа незначителни промени во однос на испитуваните параметри (Табела 18.10).

Табела 18.10. Параметри на едноставен регресионен модел за примероците пченица третирани со доза од 10 kGy после период од 9 месеци од третирањето.

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,999883
R Square	0,999766
Adjusted R Square	0,999719
Standard Error	0,381191
Observations	7

Статистичката споредба на овој примерок со контролниот, направена според моделот ANOVA (два фактори и повеќе модалитети) го потврдува истото. Резултатите од оваа анализа се прикажани во Табела 18.11. И во овој случај вредноста на Снедекоровата променлива F_{0B} за соодветен број степени на слобода ($\nu_1 = 1$) и ($\nu_2 = 6$) и праг на значајност $\alpha = 0,95$ изнесува $F_{0B} = 5,987378$. Ваквата теориска вредност е

Компаративна анализа на промените во квалитативниот состав кај храна третирана со јонизирачко зрачење

поголема од пресметаната вредност $F = 0,000000607$, па овде не се воочливи статистички значајни промени или разлики во вредности на испитуваните параметри во примерокот пченица третиран со јонизирачко зрачење со вредност на дозата од 10 kGy и нетретираниот (контролен) примерок. Значи не постои сигнификантност. До истиот статистички заклучок се доаѓа преку споредба на пресметаната вредност на $p = 0,999404$ со теориската вредност на $p \leq 0,05$.

Табела 18.11. Статистичка споредба на контролниот (нетретиран) примерок со примерокот пченица третиран со доза од 5 kGy после 9 месеци од третирањето

Anova: Two-Factor Without Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
Јаглехидрати	2	128,25	64,125	0,36125
Вкупни протеини	2	20,75	10,375	0,00405
Масти	2	2,72	1,36	0,0032
Диететски влакна	2	24,78	12,39	0,0032
Влага	2	20,81	10,405	0,32805
Пепел	2	2,69	1,345	0,00605
Песок	2	0,099	0,0495	5E-07
Нетретиран примерок (контрола)	7	100,05	14,29286	501,5583
Примерок третиран со 10 kGy	7	100,049	14,29271	516,9285

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	6110,215	6	1018,369	8657,142	1,54E-11	4,283866
Columns	7,14E-08	1	7,14E-08	6,07E-07	0,999404	5,987378
Error	0,7058	6	0,117633			
Total	6110,921	13				

Ако ги сублимираме горенаведените резултати, статистички би можеле да заклучиме дека не се воочливи статистички значајни промени или разлики во вредностите на испитуваните параметри кај примероците пченица (*Triticum aestivum* L.) третирани со јонизирачко зрачење со различна вредност на дозата (0,2 kGy, 0,5 kGy, 1 kGy, 5 kGy и 10 kGy) во однос на нетретираниот (контролен) примерок, после период од 9 месеци од спроведеното третирање со јонизирачко зрачење. Тоа значи дека не постои статистичка значајност односно сигнификантност и не се детектираат настанати промени во квалитативниот состав на пченицата. Ова покажува дека ефектите на

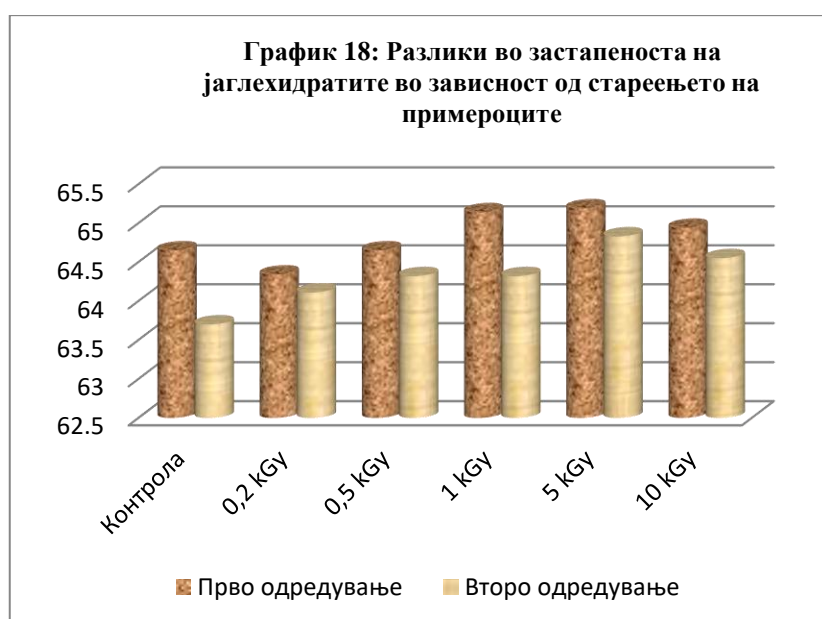
јонизирачкото зрачење врз квалитативните параметри на пченицата во корелација со стареењето на примероците статистички се незначајни.

6.4.1. РАЗЛИКИ ВО ЗАСТАПЕНОСТА НА ОДДЕЛНИТЕ КВАЛИТАТИВНИ ПАРАМЕТРИ КАЈ ПЧЕНИЦАТА ВО ЗАВИСНОСТ ОД СТАРЕЕЊЕТО НА ПРИМЕРОЦИТЕ

Со цел да се извлечат заклучоци за евентуалните разлики во процентуалната застапеност на одделните квалитативни параметри кај пченицата во корелација со стареењето на примероците, направена е анализа на секој параметар посебно. Статистичката споредба е направена со параметарскиот тест ANOVA (два фактори и повеќе модалитети), при што за статистички сигнификантна се смета вредноста на $p \leq 0,05$. Добиените резултати се прикажани во продолжение.

6.4.1.1 Разлики во застапеноста на јаглехидратите во зависност од стареењето на примероците

Со споредба на вредностите за процентуалната застапеност на јаглехидратите во зависност од времето на стареење на испитуваните примероци пченица (*Triticum aestivum* L.), добиени се резултати кои се прикажани во График 18.



Јасно се забележува дека вредностите на јаглехидратите, после 9 месеци од складирањето се пониски. Со цел да се провери можната сигнификантност на ваквите разлики, направена е споредба на овие резултати, а добиените статистички вредности се прикажани во Табела 19.1.

Табела 19.1. Статистичка споредба на вредностите на јаглехидратите (прво и второ одредување)

Anova: Two-Factor Without Replication

<i>SUMMARY</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Нетретиран (контролен) примерок	2	126.27	63.135	4.59045
Примерок третиран со 0,2 kGy	2	127.96	63.98	0.2592
Примерок третиран со 0,5 kGy	2	128.02	64.01	0.8192
Примерок третиран со 1 kGy	2	129.58	64.79	0.245
Примерок третиран со 5 kGy	2	129.74	64.87	0.2048
Примерок третиран со 10 kGy	2	128.31	64.155	1.23245
Прво одредување	6	388.91	64.8183333	0.108376667
Второ одредување	6	380.97	63.495	1.11371

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Rows	4.012967	5.000000	0.802593	1.913245	0.246789	5.050329
Columns	5.253633	1.000000	5.253633	12.523759	0.016582	6.607891
Error	2.097467	5.000000	0.419493			
Total	11.364067	11.000000				

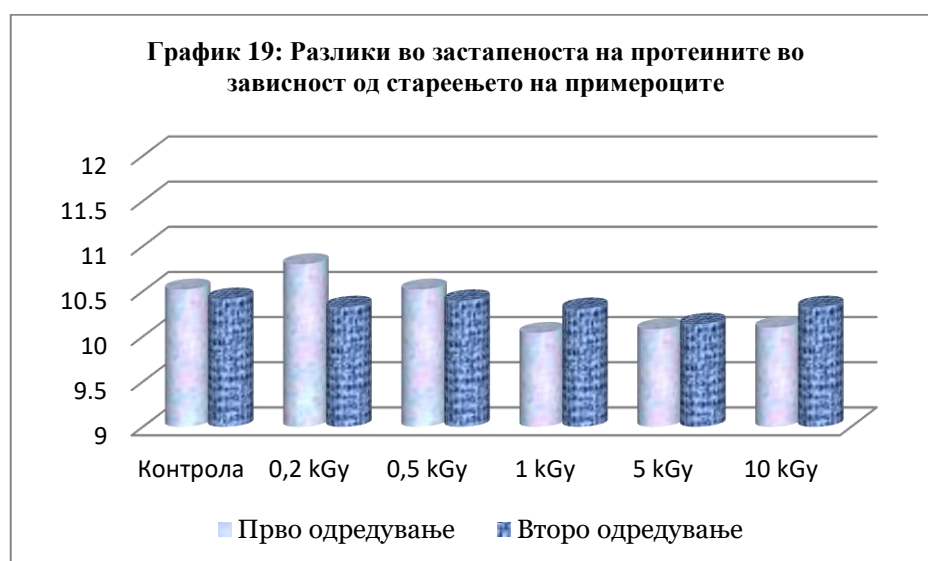
Според добиените параметри од статистичката анализа на разликите на вредностите на јаглехидратите, кои се движат во распон од 0,23 % до 0,95 %, се констатира дека истите се статистички сигнификантно важни, бидејќи е добиена вредност на факторот за сигнификантност $p=0,016582$. Со оглед на фактот што оваа вредност е пониска од граничната вредност на овој фактор ($p \leq 0,05$), може да се констатира дека со складирање на пченицата доаѓа до сигнификантно важно намалување на количеството на јаглехидрати, т.е до одреден значаен губиток на јаглехидрати во пченичните зрна.

Промени во застапеноста на јаглехидратите после складирање на пченицата наведуваат и други автори. Така на пример, Rechman (2006) ги испитувал ефектите од складирањето на пченицата во период од 6 месеци после жетвата. Неговите резултати покажале значително намалување на вкупните јаглехидрати и тоа за околу 36,4 % – 44,4 %, што било во корелација и со зголемувањето на температурата на складирањето.

Слично и Kim *et al.* (2003) испитувајќи ги промените кај јаглехидратите во девет сорти пченица складирани во период од 6 месеци, утврдиле намалување на скробот за околу 3 %, но истовремено зголемување на слободните шеќери за околу 0,6 %. Значителни варијации во количеството на скроб констатирале и Vurigo *et al.* (2012) испитувајќи различни сорти пченица чувани во различна амбалажа во период од 180 дена. Marathe *et al.* (2002) констатирале зголемување на процентот на оштетен скроб во пченично брашно складирано во период од 6 месеци, додека Mahmood *et al.* (2013) ваквите промени во квалитативниот состав на пченицата ги поврзувале со присуството на складишните штетници од групата на грини. Во нивните испитувања содржината на скроб се намалила по три месеци од складирањето на пченицата, како последица на наезда од ваквите штетници.

6.4.1.2. Разлики во застапеноста на протеините во зависност од стареењето на примероците

Разликите во процентуалната застапеност на протеините во периодот помеѓу двете нивни одредувања се претставени во График 19. Притоа, се забележуваат одредени минимални разлики во нивните износи чија сигнификантност е проверена со статистичка обработка на овие резултати (Табела 19.2)



Табела 19.2. Статистичка споредба на вредностите на протеините (прво и второ одредување)

Anova: Two-Factor Without Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
Нетретиран (контролен) примерок	2	20.94	10.47	0.005
Примерок третиран со 0.2 kGy	2	21.13	10.565	0.11045
Примерок третиран со 0.5 kGy	2	20.92	10.46	0.0072
Примерок третиран со 1 kGy	2	20.35	10.175	0.03645
Примерок третиран со 5 kGy	2	20.22	10.11	0.0018
Примерок третиран со 10 kGy	2	20.43	10.215	0.02645
Прво одредување	6	62.06	10.34333	0.098306667
Второ одредување	6	61.93	10.32167	0.009816667

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	0.354675	5	0.070935	1.907453054	0.24778366	5.05032906
Columns	0.001408	1	0.001408	0.0378703	0.8533638	6.60789097
Error	0.185942	5	0.037188			
Total	0.542025	11				

Со одредување на статистичката сигнификантност на разликите во процентуалната застапеност на протеините, може да се констатира дека нивните разлики не се статистички сигнификантни. Тоа се гледа од добиената вредност на факторот за сигнификантност, која во овој случај изнесува $p=0,853364$. Бидејќи оваа вредност е поголема од граничната вредност на факторот за сигнификантност $p \leq 0,05$, се заклучува дека наведените промени не се сигнификантно важни (Табела 19.2).

За компарација на овие резултати, може да се споменат неколку примери. Така на пример, Ruska & Timar (2010) го испитувале влијанието на условите на складирање врз процентот на вкупни протеини кај пченица, складирана за период од 6 месеци на различна температура. Тие забележале намалување на содржината на протеини за околу 3 – 5 %, што било особено изразено при повисока температура на складирање. Слично на ова, Rechman (2006) забележал намалување на протеинската сварливост за 5-10 % кога пченицата е складирана на температура од 25 и 45 °C. За разлика од нив, Kim *et al.* (2003) не утврдиле промени во содржината на протеините кај 9 сорти пченица складирани во период од 6 месеци, како и Burigo *et al.* (2012) кои не утврдиле промени во протеините поврзани со складирањето и условите на чување.

6.4.1.3. Разлики во застапеноста на мастите во зависност од стареењето на примероците

Споредбата помеѓу вредностите за процентуалната застапеност на мастите во зависност од стареењето на примероците е прикажана на График 20. Може да се забележи нивна целосна изедначеност при првото и второто одредување, што укажува на фактот дека нивната застапеност не се менува со текот на времето.



Тоа се потврдува и со вредноста на параметарот за статистичка сигнификантност (Табела 19.3) кој во овој случај изнесува $p=0,620321$ и е поголем од $p \leq 0,05$. Со тоа се докажува дека разликите во однос на застапеноста на мастите во двете последователни одредувања не се статистички сигнификантни.

Слични вакви резултати наведуваат и *Burigo et al.* (2012) кои испитувајќи различни сорти пченица, чувани во различна амбалажа, во период од 180 дена, не констатирале поврзаност на складирањето со процентот на масти. За разлика од нив, *Mahmood et al.* (2013) утврдиле максимално намалување на содржината на масти кај пченица заразена со складишни штетници, по три месеци од складирањето. Во резултатите пак на *Marathe et al.* (2002) се наведува дека складирањето на пченично брашно во период од 6 месеци довело до мало зголемување на слободните масни киселини.

Табела 19.3 Статистичка споредба на вредностите на мастите (прво и второ одредување)

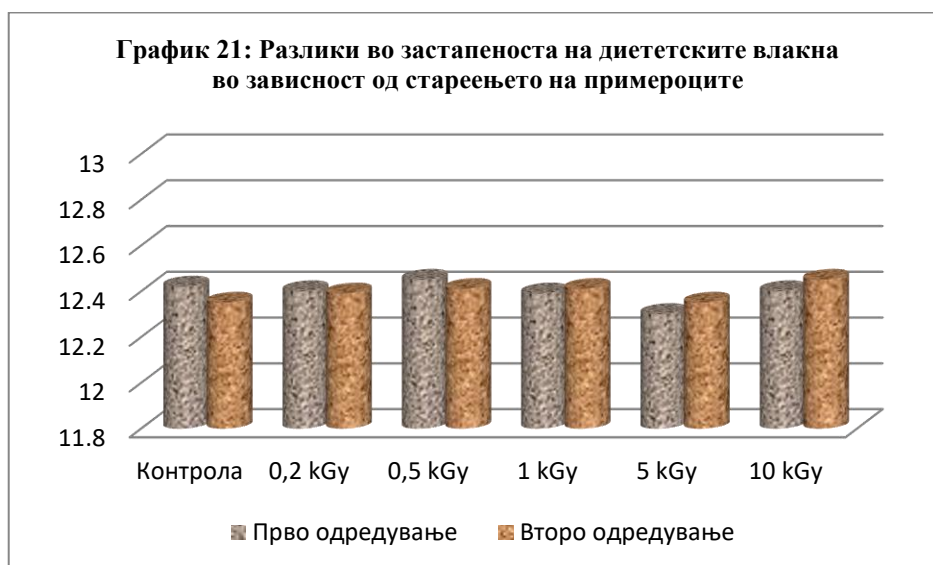
Anova: Two-Factor Without Replication

<i>SUMMARY</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Нетретиран (контролен) примерок	2	2.65	1.325	5E-05
Примерок третиран со 0.2 kGy	2	2.78	1.39	0
Примерок третиран со 0.5 kGy	2	2.67	1.335	0.00125
Примерок третиран со 1 kGy	2	2.68	1.34	0.0018
Примерок третиран со 5 kGy	2	2.64	1.32	0.0008
Примерок третиран со 10 kGy	2	2.79	1.395	5E-05
Прво одредување	6	8.13	1.355	0.00111
Второ одредување	6	8.08	1.346666667	0.001827

ANOVA						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Rows	0.010942	5	0.002188333	2.924276	0.131955	5.050329
Columns	0.000208	1	0.000208333	0.278396	0.620321	6.607891
Error	0.003742	5	0.000748333			
Total	0.014892	11				

6.4.1.4. Разлики во застапеноста на диететските влакна во зависност од стареењето на примероците

На График 21 е прикажана компарација на добиените вредности за процентуалната застапеност на диететските влакна кај испитуваните примероци во зависност од стареењето на примероците. Може да се забележат нивните изедначени вредности при двете последователни одредувања.



И статистичката обработка на резултатите добиени за диететските влакна покажува дека нивните разлики не се сигнификантни. Тука добиената вредност на факторот за статистичка сигнификантност изнесува $p=0,999999$ и е значително поголема од граничната вредност на $p \leq 0,05$ (Табела 19.4).

Табела 19.4 Статистичка споредба на вредностите на диететските влакна (прво и второ одредување)

²¹ Anova: Two-Factor Without Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
Нетретиран (контролен) примерок	2	24.77	12.385	0.00245
Примерок третиран со 0.2 kGy	2	24.79	12.395	5E-05
Примерок третиран со 0.5 kGy	2	24.86	12.43	0.0008
Примерок третиран со 1 kGy	2	24.8	12.4	0.0002
Примерок третиран со 5 kGy	2	24.65	12.325	0.00125
Примерок третиран со 10 kGy	2	24.85	12.425	0.00125
Прво одредување	6	74.36	12.39333	0.002546667
Второ одредување	6	74.36	12.39333	0.001506667

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	0.014267	5	0.002853	2.377777778	0.18183709	5.05032906
Columns	3.47E-18	1	3.47E-18	2.89121E-15	0.99999996	6.60789097
Error	0.006	5	0.0012			
Total	0.020267	11				

За споредба на овие резултати, може да се споменат истражувањата на Kim *et al.* (2003) кои утврдиле намалување на процентот на диететски влакна и лигнин кај пченица складирана во период од 6 месеци. Обратно, Mahmood *et al.* (2013) испитувајќи ги промените кај пченицата после период од 3 месеци од складирањето, констатирале дека содржината на растителни влакна била значително зголемена. Тие ја поврзуваат оваа промена со заразеноста на пченицата со складишни штетници, бидејќи содржината на растителни влакна била поголема во заразените зрна во споредба со незаразените примероци.

6.4.1.5. Разлики во процентот на влага во зависност од стареењето на примероците

Според McKevith (2004) покрај температурата и должината на складирањето, процентот на влага во житата е најважниот фактор кој влијае на стабилноста на зрната и можните промени во нивниот квалитативен состав. Ова се потврдува и со стандардот на Codex (Standard 199-1995) според кој, во пченицата максимално дозволениот процент на влага за нејзина стабилност изнесува 14,5 %.

На График 22 се прикажани вредностите на овој параметар добиени при првото и второто одредување, во временски распон од 9 месеци. Притоа, јасно се забележува зголемување на процентот на влага во сите анализирани примероци.



Со цел да се провери сигнификантноста на ваквите разлики, направена е нивна статистичка споредба. Добиените параметри за статистичко заклучување се прикажани во Табела 19.5. Тие покажуваат дека разликите во процентот на влага во двете последователни одредувања се статистички сигнификантни. Тоа се потврдува со споредба на добиената вредност на факторот за сигнификантност, која во овој случај изнесува $p=0,01690$ и е значително пониска во споредба со граничната вредност за сигнификантност ($p \leq 0,05$).

Табела 19.5 Статистичка споредба на вредностите за процентот на влага (прво и второ одредување)

Anova: Two-Factor Without Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
Нетретиран (контролен) примерок	2	22.506	11.253	5.359538
Примерок третиран со 0.2 kGy	2	20.51	10.255	0.66125
Примерок третиран со 0.5 kGy	2	20.81	10.405	1.14005
Примерок третиран со 1 kGy	2	19.85	9.925	0.15125
Примерок третиран со 5 kGy	2	20.02	10.01	0.2048
Примерок третиран со 10 kGy	2	20.96	10.48	0.98
Прво одредување	6	58.066	9.677667	0.003192667
Второ одредување	6	66.59	11.09833	0.937976667

ANOVA

Source of Variation	SS	dff	MS	F	P-value	F crit
Rows	2.26384	5	0.452768	0.927040876	0.53211414	5.05032906
Columns	6.054881	1	6.054881	12.39734808	0.01690132	6.60789097
Error	2.442007	5	0.488401			
Total	10.76073	11				

Процентот на влага во пченицата првенствено зависи од начинот на нејзино чување после складирањето. Потврда за ова даваат резултатите на Chatta *et al.* (2015) кои ги испитувале разликите во процентот на влага кај пченица складирана на амбиентална температура и пченица складирана во цилиндер од фероцемент во период од 12 месеци. Тие утврдиле повисок процент на влага кај пченицата складирана на собна температура, што според испитувањата е поврзано со процесот на респирација на самото зрно, релативната влажност на воздухот, типот на амбалажа и температурата на чување.

Сличен заклучок наведуваат и Sawant *et al.* (2012) кои ги испитувале промените во влагата кај складирана пченица во различни услови на складирање. Притоа забележале дека кај примероците кои биле складирани во вреќи, процентот на влага се зголемил од 11,2 % до 17,25 %.

Зголемување на влагата во корелација со складирањето објавуваат и Birck *et al.* (2006) кога ја испитувале поврзаноста на процентот на влага со продукцијата на микотоксини од патогените соеви на мувли. Тие утврдиле дека почетната влага на пченицата била 11,1 %, но во тек на 180 дена складирање, таа се зголемила на 12,4 %, при што ова зголемување изнесувало 1,3 %.

Спротивен заклучок се забележува во резултатите на Rechman (2006) при испитување на влијанието на условите за складирање врз нутритивниот квалитет на

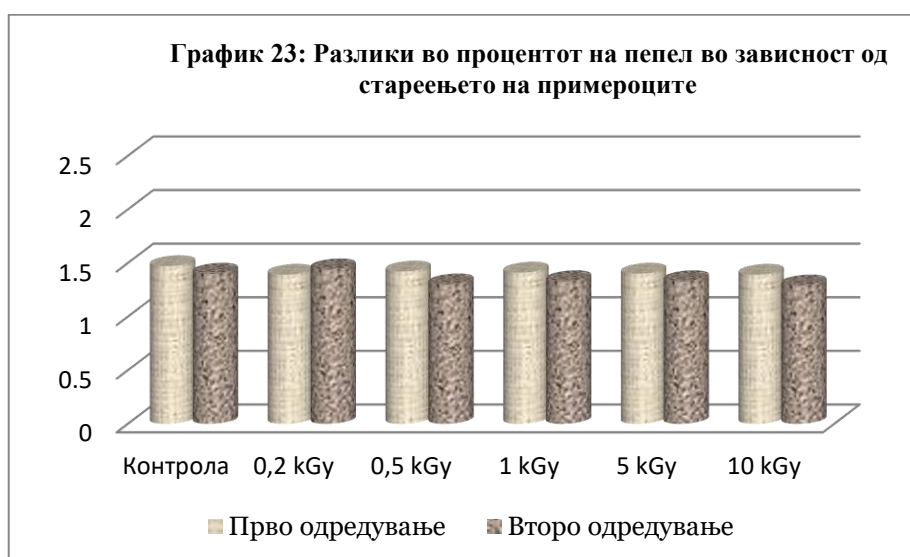
пченица, пченка и ориз, складирани во период од 6 месеци на различна температура. Тој утврдил намалување на процентот на влага паралелно со зголемување на температурата на складирање, при што на температура од 26 °C имало намалување за 15 %, додека при температура од 45 °C, забележаното намалување изнесувало дури 26 %.

Намалување на процентуалната застапеност на влагата констатирале и Ruska & Timar (2010) кога го испитувале влијанието на условите на складирање врз процентот на влага, во услови на различна температура. И тие забележале намалување на влагата, кое било најизразено на температура од 15 °C и 30 °C.

Во овој контекст може да се споменат и резултатите на Umrani & Pahoja (2013) кои утврдиле дека содржината на влага е позитивно корелирана со количеството на вкупни протеини и липиди кај пченицата.

6.4.1.6. Разлики во процентот на пепел во зависност од стареењето на примероците

На График 23 се прикажани резултатите од двете последователни одредувања на процентот на пепел кај испитуваните примероци. Може да се забележи дека вредностите на пепел во сите испитувани примероци се нешто пониски при второто одредување. Сепак овие разлики се статистички сигнификантни, бидејќи добиената р вредност за овај параметар изнесува $p=0,044229$ (Табела 19.6)



Табела 19.6. Статистичка споредба на вредностите на диететските влакна (прво и второ одредување)

Anova: Two-Factor Without Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
Нетретиран (контролен) примерок	2	2.87	1.435	0.00245
Примерок третиран со 0.2 kGy	2	2.83	1.415	0.00125
Примерок третиран со 0.5 kGy	2	2.72	1.36	0.0072
Примерок третиран со 1 kGy	2	2.74	1.37	0.0032
Примерок третиран со 5 kGy	2	2.73	1.365	0.00245
Примерок третиран со 10 kGy	2	2.68	1.34	0.005
Прво одредување	6	8.48	1.413333	0.000907
Второ одредување	6	8.09	1.348333	0.003497

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	0.013141667	5	0.002628	1.480751	0.338575143	5.05032906
Columns	0.012675	1	0.012675	7.140845	0.044229759	6.60789097
Error	0.008875	5	0.001775			
Total	0.034691667	11				

За споредба на овие резултати може да се спомене истражувањето направено од страна на *Burigo et al. (2012)*, кои анализирајќи го процентот на пепел кај различни сорти пченица, чувани во различна амбалажа во период од 180 дена, измериле вредности на пепел во распон од 1,30 – 1,65 %. Дека складирањето има одредено влијание на процентот на пепел во пченицата утврдиле *Mahmood et al. (2013)*. Тие забележале зголемување на содржината на пепел, предизвикано од заразеноста на пченицата со складишни грини, во тек на тримесечен период на нејзино складирање. Притоа, зголемувањето изнесувало 2,03 %, во споредба со контролната незаразена пченица, во која содржината на пепелот изнесувала 1,23 %.

Ако се сублимираат сите горенаведени резултати може да се констатира следното: не постои статистичка сигнификантност во однос на разликите на процентуалната застапеност на протеините, мастите и диететските влакна при двете последователни одредувања во временски период од 9 месеци од третирањето на примероците со јонизирачко зрачење. Статистички сигнификантни разлики се забележани во процентуалната застапеност на јаглехидратите, влагата и пепелот при двете последователни одредувања во временски период од 9 месеци од третирањето на примероците со јонизирачко зрачење.

6.5. ЕФЕКТИ НА ЈОНИЗИРАЧКОТО ЗРАЧЕЊЕ ВРЗ ПОВАЖНИТЕ ОРГАНОЛЕПТИЧКИ СВОЈСТВА НА ПЧЕНИЦАТА

Со цел да се утврди дали јонизирачкото зрачење има влијание врз поважните органолептички карактеристики на пченицата, направено е оценување на нејзиниот изглед, боја и мирис. На Слика 27 е прикажана споредба на примероците третирани со различна доза на јонизирачко зрачење во однос на контролните примероци.



Слика 27. Споредување на сензорните особини на примероците во зависност од дозата на зрачење (лево-веднаш после третирање на примероците со јонизирачко зрачење, десно-после 9 месеци од третирањето на примероците со јонизирачко зрачење)

Како што може да се забележи од Слика 27, не се констатирани никакви промени во однос на изгледот, бојата и формата на зрната кај примероците третирани со различни дози на јонизирачко зрачење.

Во однос на изгледот, познато е дека пченицата од видот *Triticum aestivum* L. има најголема тежина на зрната во класот, најголем број зрна во класот и најдоби производни карактеристики (Манасиевска-Симиќ и Ангелов, 2012). При сензорна анализа на овој параметар не е констатирана промена во изгледот на зрната кај испитуваните примероци третирани со јонизирачко зрачење со различна вредност на дозата (0,2 kGy, 0,5 kGy, 1 kGy, 5 kGy и 10 kGy), ниту при нивна меѓусебна споредба, ниту во однос на контролниот (нетретиран) примерок. Тоа е потврдено и при спроведувањето на физичко-хемиските анализи, според кои изгледот на сите примероци пченица е оценет како СВОЈСТВЕН НА ВИДОТ.

Бојата на пченицата доаѓа од присуството на различни пигменти во неа (каротеноиди, флавоноиди, антоцијанини и некои фенолни соединенија).

Нивната застапеност зависи од сортата, климатските услови и почвените карактеристики (Lachman, 2017). Според Prpa (2004) бојата на зрната е карактеристична и специфична за секоја сорта, но сепак зависи и од климатски услови, почвата и географскиот регион на одгледување. Тој истакнува дека секоја промена во бојата укажува на одредена промена во пченичното зрно.

Во однос на овој параметар, како што се забележува и на Слика 27, нема промена во бојата кај испитуваните примероци третирани со јонизирачко зрачење со различна вредност на дозата (0,2 kGy; 0,5 kGy; 1 kGy, 5 kGy и 10 kGy), ниту при нивна меѓусебна споредба, ниту во однос на контролниот (нетретиран) примерок. Врз основа на тоа, бојата на сите примероци пченица е оценета како СВОЈСТВЕНА НА ВИДОТ.

Мирисот на пченицата е специфичен и веднаш после жетвата тој е сличен на мирис на слама, но понекогаш може да биде задушлив, киселкаст или како мирис на мувла. Промената на мирисот на пченицата укажува на контаминација на зрната со микроорганизми и промени во нејзиниот хемиски состав, најчесто предизвикани од различни трансформации на протеините и масите во пченичното зрно (Prpa, 2004).

При одредување на мирисот кај испитуваните примероци, не е забележана никаква промена ниту при дози од 10 kGy. Според овој параметар оценето е дека кај сите примероци мирисот е СВОЈСТВЕН НА ВИДОТ.

Слична констатација се наведува од страна на Rao *et al.* (1979), кои утврдиле дека дози до 20 kGy не продуцираат непријатни мириси кај пченицата. До ваква констатација дошле и Aziz *et al.* (2006) испитувајќи ја промената на мирисот кај четири вида житарици третирани со јонизирачко зрачење со дози до 15 kGy. Тие иако утврдиле зголемени пероксидни вредности, забележале дека ваквата промена не била пропратена со непријатен мирис кај житариците. Во оваа насока, Lorenz (2009) истакнува дека мирисот на житните зрна и производите од житни житни култури станува непријатен единствено при многу високи дози на јонизирачко зрачење, за што потврда даваат резултатите на Tipples & Norris (1965). Тие го испитувале јонизирачкиот ефект на две сорти пченица, третирани со дози од 5×10^6 rad (50 kGy). Притоа забележале дека сите третирани примероци имаат непријатен мирис, кој се интензивирал паралелно со зголемување на дозата на зрачење.

6.6. МИКРОБИОЛОШКИ ПРОФИЛ НА ПЧЕНИЦАТА (*Triticum aestivum* L.)

Како што е опишано и претходно, примарните ефекти на јонизирачкото зрачење успешно ги уништуваат микроорганизмите, бидејќи хидроксил радикалите формирани во нивните клетки реагираат со базните и шеќерните компоненти во нивната DNA, при што доаѓа до кинење на шеќерно – фосфатните врски и губење на нејзината репликациона функција (WHO, 1999). Притоа, иако јонизирачкото зрачење има докажан летален ефект врз микроорганизмите, врз нивното уништување влијаат и други фактори, при што степенот на нивна деструкција првенствено зависи од тоа за кој вид микроорганизми станува збор, колкав е нивниот почетен број и колкава е дозата на зрачење (Szczawińska, 2017).

Според Farkas (1989) преживувањето на микробните клетки при третман со јонизирачко зрачење зависи првенствено од природата и степенот на директната штета предизвикана во нив, како и од способноста на клетката да ги издржи овие напади и да се подложи на репарација. Во таа насока, Szczawińska (2017) истакнува дека врз отпорноста на микробните клетки кон јонизирачкото зрачење влијаат и условите на животната средина, од кои поважни се: рН на средината, температурата, хемискиот состав на храната, атмосферата во пакувањето и активноста на водата

Од овие причини, кога се зборува за елиминација на микробните клетки со јонизирачко зрачење, најчесто се користат термините: просечна смртоносна доза (MLD) и децимална редуциона доза (D_{10}). Просечната смртоносна доза (MLD) се дефинира како доза која е потребна да уништи 63 % од популацијата микроорганизми, додека децималната редуциона доза (D_{10}) е дозата на јонизирачка радијација (изразена во Gy) која е потребна за инактивирање на 90 % од CFU (colony-forming unit). Постои голема варијабилност во однос на D_{10} вредностите кај различните бактериски видови, но сепак, D_{10} вредностите за најчестите бактерии кои ја расипуваат храната се движат помеѓу 0,4 – 0,7 kGy (Munir & Federighi, 2020). Според Farkas (1985) D_{10} вредностите се повисоки за храна со пониска активност на водата, бидејќи поради нејзиниот недостиг, постои пониска концентрација на хидроксил радикалот ($\bullet\text{OH}$), кој ја оштетува нивната DNA, па следствено на тоа, за уништување на патогени бактерии во сувата храна се потребни и повисоки дози на јонизирачко зрачење.

Главна цел на третирањето на житата со јонизирачко зрачење е нивна деконтаминација и елиминирање на патогените микроорганизми во нив. Јонизирачкото зрачење се покажало како мошне ефикасна стратегија во однос на контролата на инсектите и штетниците во житата, па поради тоа житариците (особено пченицата) во многу земји во светот се третираат на овој начин уште од 1950 година. Според ИАЕА (1991) дозите од 0,2 – 1,0 kGy се сосема доволни за оваа намена и се значително пониски од дозата од 10 kGy која е одобрена од САС (Lorenz & Miller, 1975; Dionísio, 2009; Koxsel *et al.* 1996; Grover & Khan, 2014). Согласно ова, Агенцијата за храна и лекови на САД, во 1963 година, одобрила пченицата и пченичното брашно да се третираат со доза од 0,5 kGy, заради превенција од од штетници (Lung *et al.* 2015).

Микроорганизмите кои се присутни во житата во голема мера влијаат врз нивниот квалитет и функционалните карактеристики на зрното. Микробиолошката контаминација на житата настанува за време на нивниот раст, берба, сушење и чување после жетвата. Ваквата контаминација најчесто потекнува од неколку извори и тоа: воздух, прашина, вода, почва, инсекти, птици, глодари, како и од контаминирана опрема и несанитарно третирање. Типот на микробиолошка контаминација во принцип зависи и од надворешните климатски услови, количеството на врнежи и температурата, при што особено големо влијание имаат интензивните врнежи од дожд пред жетвата, кои го поттикнуваат развојот на различни видови мувли (Los *et al.* 2018).

Додека житото расте, микрофлората која се јавува на зрната и во нив содржи најголем број бактерии и помал број квасци и мувли. Притоа, нивото на микробиолошка контаминација со бактериски патогени обично е многу ниско. Иако контаминацијата може понекогаш да ги опфаќа и видовите од родот *Salmonella*, *Escherichia coli* и *Bacillus cereus*, бактериите кои се јавуваат кај житата генерално не се патогени и најчесто припаѓаат на фамилиите *Pseudomonadaceae*, *Micrococcaceae*, *Lactobacillaceae* и *Bacillaceae* (Lasa *et al.* 2006). Дистрибуцијата на овие микроорганизми е најчесто на површината на житните зрна, иако некои од мувлите можат да навлезат и подлабоко во зрното, па да предизвикаат негово механичко оштетување (ICMSF, 2005).

Развитокот на мувли кај житариците е соема нормална појава, како во полето, така и за време на нивното складирање (Santin, 2005; Steyn, 1995). Според тоа, Pitt & Hocking (2009) истакнуваат дека мувлите кои растат на житните посеви генерално се

делат на 2 групи: мувли кои потекнуваат од полето и мувли од складиштата. Разликата помеѓу овие две групи е времето за кое тие продираат во зрната и условите за нивниот раст, бидејќи за развојот на почвените мувли е неопходна висока влага, па условите во складиштата не се соодветни за нив.

Складишните мувли кои ги напаѓаат житата најчесто се претставени со родовите: *Eurotium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Mucor* и *Wallemia*. Тие го напаѓаат складираното жито при релативна влажност на складиштето од 65 – 90 % и влага во зрната од 14 – 16 %. Наспроти нив, родовите: *Alternaria*, *Cladosporium*, *Fusarium* и *Helminthosporium* се мувли од полето. Тие ги напаѓаат житата при повисока релативна влажност на воздухот од 90 – 100 % и при повисока влага на зрната од 18 – 30 % (Bullerman & Bianchini, 2009; CAST, 2003). Сепак, овие генерални ставови често пати се побиваат со исклучоци во праксата. Така на пример, повеќето видови од родот *Penicillium* иако припаѓаат на групата мувли кои потекнуваат од складиштата, сепак може да се размножат на житата и пред жетвата, како и да се најдат во свежо косено жито (Pitt & Hocking, 2009).

Во минатото се верувало дека доколку се отстрани површинската контаминација со вакви мувли, останатиот дел од храната е безбеден и тоа сознание постоело сè додека не биле откриени соединенијата означени како микотоксини (Marth, 1967). Овие токсични соединенија се метаболитички продукти кои се продуцираат од одредени видови мувли, за време на нивниот раст и развој, и претставуваат секундарни метаболити со кои мувлите ја подобруваат својата конкурентивност во природата (Steyn, 1995). Тие се создаваат за време на експоненцијалната фаза од нивниот развој и се одликуваат со токсичност дури и при многу мали концентрации. Притоа нивната продукција од страна на токсикогените соеви мувли е особено карактеристична во услови на стрес, како на пример при промена на температурата, влагата, присуството на кислород и некои други соединенија (Jay, 2000).

Колкави се штетите од ваквите токсикогени мувли може да се покаже со следниот настан: во периодот од 1942 – 1944 година, во делови од Русија (тогашен СССР) се појавила особено сериозна и летална болест означена како септична ангина, или токсична алиментарна алеукиа. Причината била конзумирање на житарици (пченица, просо и јачмен) кои останале на полето за време на зимските месеци покриени со снег, а кои во текот на пролетта биле ожнеани и употребени за храна на

населението. Подоцнежните испитувања откриле дека главна причина за оваа болест бил развојот на различни видови фитопатогени мувли, чија токсичност била особено изразена во семето, за разлика од вегетативните делови кои биле помалку токсични. Интензивното формирање на токсини во овие житарици било поттикнато од временските фактори, особено од длабоката снежна покривка која го спречувала замрзнувањето на почвата. Притоа, најинтензивното создавање на токсини било забележано во текот на пролетните месеци, додека токсичните ефекти перзистирале во житото и после шест години негово чување (Joffe, 1963).

Јонизирачкото зрачење се покажало како мошне ефикасна стратегија за уништување и на овие опасни мувли. Притоа, сензитивноста на квасците и мувлите кон јонизирачко зрачење е скоро иста со таа на неспорогените бактерии (Calado *et al.* 2018), но поради малата веројатност за точно одредување на нивниот број, кај квасците и мувлите се зема предвид дозата која може да го спречи растот на почетната популација, наместо D_{10} дозата која се користи кај бактериите (Munir, 2020).

6.6.1. Микробиолошки анализи после третирање на примероците со јонизирачко зрачење со различна вредност на дозата

Со цел да се одреди микробиолошкиот профил на пченицата (*Triticum aestivum* L.), како и влијанието на јонизирачкото зрачење врз детектираните микроорганизми, направени се микробиолошки анализи на испитуваните примероци во два временски интервали. Првите микробиолошки анализи се направени веднаш после третирање на примероците со јонизирачко зрачење, додека вторите се направени после деветмесечно складирање на третираните примероци. Одредувани се 9 параметри, чии вредности се прикажани во Табела 20 и Табела 21. Овие параметри се анализирани согласно насоките во Правилникот за посебните барања за безбедност на храната по однос на микробиолошки критериуми (Службен весник бр.100/2013, член 2.6.1).

Од Табела 20 може да се констатира дека добиените резултати од микробиолошките анализи при првото одредување покажуваат дека микробиолошка флора на примероците е претставена со видот *Bacillus cereus*, видови од фамилијата *Enterobacteriaceae*, како и соеви на квасци и мувли.

Притоа, особена е значајно што во ниту еден од испитувани примероци не е детектирано присуство на видови од родот *Salmonella*, ниту видовите: *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli* и *Clostridium perfringens*. На овој начин, добиените резултати се во целосна согласност со Правилникот за посебните барања за безбедност на храната по однос на микробиолошките критериуми. Според овој Правилник, соевите кои се детектирани во испитуваните примероци се нормално присутни во пченицата (*Triticum aestivum* L.) и редовно се одредуваат при микробиолошки скрининг на оваа житарица.

Табела 20. Вредности на микробиолошките параметри после третирањето на примероците пченица (*Triticum aestivum* L.) со јонизирачко зрачење

Доза на зрачење/ Параметар	Вкупен број на микроорганизми	<i>Bacillus cereus</i>	<i>Clostridium perfringens</i>	<i>Escherichia coli</i>	<i>Enterobacteriaceae</i>	Кеасци и мучели	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<i>Salmonella</i>	Коагулаза позитивни стафилококи
Контрола log CFU/g	32 000* 4.50**	2500 3.39	НД***	НД	3900 3.59	35 000 4.54	НД	НД	НД
0,2 kGy log CFU/g	25 000 4.39	1000 3.17	НД	НД	2500 3.39	21 000 4.32	НД	НД	НД
0,5 kGy log CFU/g	15 000 4.17	200 2.3	НД	НД	1200 3.07	8 000 3.90	НД	НД	НД
1 kGy log CFU/g	8 000 3.90	НД	НД	НД	800 2.90	5 000 3.69	НД	НД	НД
5 kGy log CFU/g	800 2.90	НД	НД	НД	НД	1 000 3.0	НД	НД	НД
10 kGy log CFU/g	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД

* CFU/g , ** log CFU/g, ***НД-не е детектиран во 25 gr.

Со цел да се направи споредба помеѓу добиените вредности на испитуваните микробиолошки параметри, направен е графички приказ на истите, кој е прикажан на График 24.

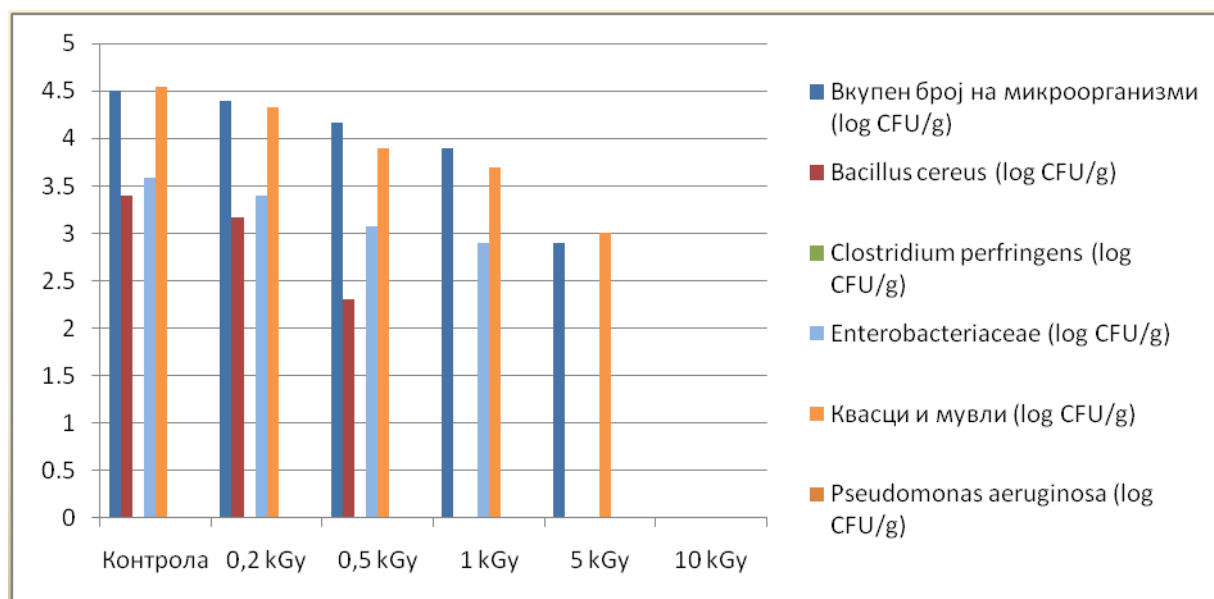


График 24. Приказ на вредностите на микробиолошките параметри после третирањето на примероците пченица (*Triticum aestivum* L.) со јонизирачко зрачење

Доколку се направи споредба на овие резултати со резултатите на други автори може да се констатираат забележителни сличности. Така на пример, Eglezos (2010) при испитување на присуството на микроорганизми во 50 примероци пченица, исто така не го детектирал видот *Escherichia coli*, додека присуството на видови од родот *Salmonella* било забележано само во еден испитуван примерок. Според него, секое детектирање на видови од родот *Salmonella* во пченицата мора внимателно да се следи, бидејќи оваа бактерија иако не создава спори, може успешно да преживее во период од една или повеќе години, во услови на многу низок процент на вода.

Слични резултати се објавени од страна на Sabillón *et al.* (2016), при испитување на влијанието на временските услови врз микробиолошката флора кај пченицата. Во период од две години, во нивните испитувања биле детектирани само видови од фамилијата *Enterobacteriaceae*, квасци и мувли, а не било забележано присуство на видови од родот *Salmonella*.

Prokrowich & Blank (1991) истакнуваат дека семињата вообичаено содржат голем број на микроорганизми кои се главно претставени со родот *Pseudomonas*, видови од фамилијата *Enterobacteriaceae*, како и квасци и мувли. Во таа насока Jay (2000) истакнува дека иако пченицата и останатите житарици се мошне богати со јаглехидрати и протеини, нивната ниска содржина на вода е главниот фактор кој го

ограничува растот на микроорганизмите, па поради тоа микробиолошката флора на житата е ограничена со видови.

Доколку се анализираат вредностите на детектираните микроорганизми во контролниот примерок (Табела 20 и График 24), може да се констатира дека истите се во границите на дозволените вредности согласно горенаведениот Правилник. Според овој Правилник, за видот *Bacillus cereus* дозволени се вредности од 1000 – 10 000 CFU/g, додека за *Enterobacteriaceae* и *квасците и мувлите* дозволени се вредности од 10 000 – 100 000 CFU/g. Во таа насока, во контролниот примерок, согласно резултатите од Табела 20, може да се забележи дека *Bacillus cereus* е застапен со 2500 CFU/g, *Enterobacteriaceae* се присутни со 3900 CFU/g, додека за квасците и мувлите е добиена вредност од 35 000 CFU/g. Според овие резултати, а во согласност со микробиолошките критериуми за житариците, контролниот примерок е оценет како ПРИФАТЛИВ во однос на микроорганизмите кои се присутни во него.

Иако, генерално не е предвидено со Правилникот за посебните барања за безбедност на храната, во истражувањата во рамките на овој докторски труд е одреден и вкупниот број на микроорганизми во пченицата. Нивната бројност во контролниот примерок изнесува 32 000 CFU/g или 4.5 log CFU/g. Направена е споредба на оваа вредност со резултатите на други автори, при што може да се наведат неколку примери.

Така, Rodgers & Hesseltine (1978) во 54 примероци пченица утврдиле вкупен број на микроорганизми од 870 до 3 100 000 / g.

Sabillón *et al.* (2016) анализирајќи три сорти пченица во различни региони на Небраска (САД) утврдиле дека вкупниот број на микроорганизми се менува во зависност од надворешната температура. Според нивните анализи, при температурен интервал од 13,7 – 31,5 °C, вкупната вредност на микроорганизми била 5.6 log CFU/g, а бројот на микроорганизми надвор од овие температурни граници бил понизок и се движел во просек 3.0 log CFU/g.

Berghofer *et al.* (2003) објавиле дека во австралиската пченица вкупниот број на микроорганизми најчесто изнесува 5.0 log CFU/g, со максимална вредност од 7.0 log CFU/g.

Manthey (2004) при анализа на пченицата во Северна Америка утврдил вкупен број на микроорганизми во распон од 0.9 – 8.4 log CFU/g.

Peles *et al.* (2012) при испитување на микробиолошкиот квалитет на органската пченица во Унгарија, утврдиле вкупен број на микроорганизми од 4.9 Log CFU/g, додека Ntuli *et al.* (2013) испитувајќи 90 примероци пченично брашно утврдиле дека вкупниот број на микроорганизми се движи од 3.89 – 5.72 log CFU/g.

Доколку се споредат резултатите од микробиолошките анализи на испитуваните примероци, после третирањето на примероците пченица со јонизирачко зрачење со различна вредност на дозата (Табела 20 и График 24), воочливо е дека јонизирачкото зрачење има влијание врз детектираните микроорганизми. Притоа, ова влијание се зголемува со зголемување на вредноста на дозата на зрачење. Така, забележително е дека паралелно со зголемување на вредноста на дозата на јонизирачко зрачење, се намалуваат вредностите на сите параметри (*вкупниот број на микроорганизми, Bacillus cereus, квасци и мувли и Enterobacteriaceae*).

Сепак, со цел донесување на сигурен статистички заклучок за сигнификантноста на ваквите промени, направена е анализа на истите, со примена на параметарскиот тест ANOVA и соодветниот модел на два фактори и повеќе модалитети. Добиените параметри за статистичко заклучување се прикажани во Табела 20.1.

Табела 20.1 Статистичка анализа на резултатите од Табела 20.

Anova: Two-Factor Without Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
Контрола	9	16,02	1,78	4,590775
0,2 kGy	9	15,27	1,696667	4,195925
0,5 kGy	9	13,44	1,493333	3,405425
1 kGy	9	10,49	1,165556	3,126178
5 kGy	9	5,9	0,655556	1,692778
10 kGy	9	0	0	0
Вкупен број на микроорганизми (CFU/g)	6	19,86	3,31	2,95888
<i>Bacillus cereus</i> (CFU/g)	6	8,86	1,476667	2,749547
<i>Clostridium perfringens</i> (CFU/g)	6	0	0	0
<i>Escherichia coli</i> (CFU/g)	6	0	0	0
<i>Enterobacteriaceae</i> (CFU/g)	6	12,95	2,158333	2,852937
Квасци и мувли (CFU/g)	6	19,45	3,241667	2,809937
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (CFU/g)	6	0	0	0
<i>Salmonella</i> (CFU/g)	6	0	0	0
Коагулаза позитивни стафилококи (CFU/g)	6	0	0	0

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	21,40977	5	4,281954	4,831988	0,001504	2,449466
Columns	100,6419	8	12,58024	14,19622	1,56E-09	2,18017
Error	35,44673	40	0,886168			
Total	157,4984	53				

Од добиените параметри во Табела 20.1 може да се извечат следните констатации:

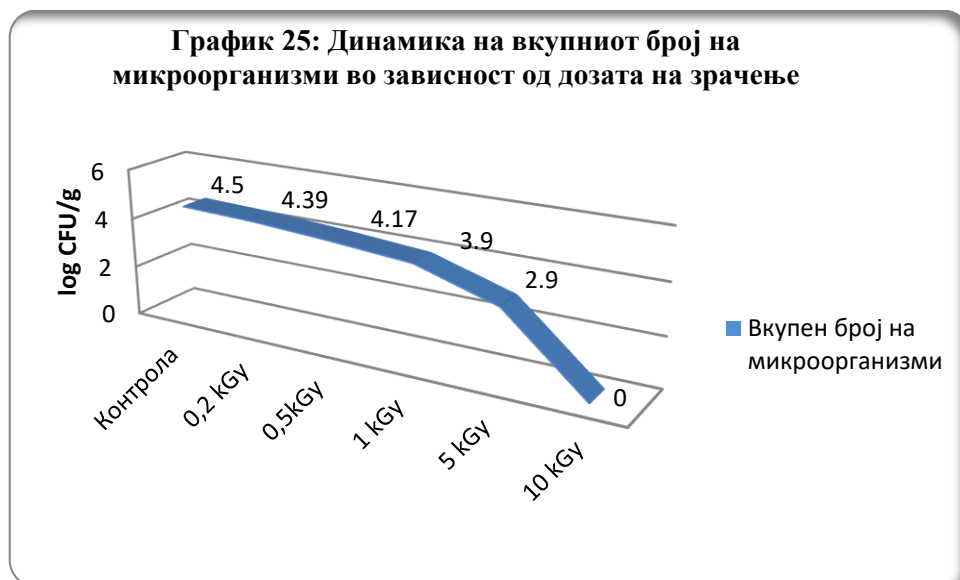
а. Теориската вредност на Снедекоровата променлива F_{0A} за соодветен број степени на слобода ($\nu_1 = 5$) и ($\nu_2 = 40$) и праг на значајност $\alpha = 0,95$ изнесува $F_{0A} = 2,449466$. Бидејќи ваквата вредност на Снедекоровата променлива е помала од пресметаната вредност $F = 4,831988$ статистички заклучуваме дека има разлика во вредностите на микробиолошките параметри после третирање на примероците со јонизирачко зрачење. Во овој случај постои статистичка значајност, односно сигнификантност. До истиот статистички заклучок се доаѓа преку споредба на пресметаната вредност на $p = 0,001504$ со теориската вредност $p \leq 0,05$.

б. Теориската вредност на Снедекоровата променлива F_{0B} за соодветен број степени на слобода ($\nu_1 = 8$) и ($\nu_2 = 40$) и праг на значајност $\alpha = 0,95$ изнесува $F_{0B} = 2,18017$. Бидејќи нејзината вредност е помала од пресметаната вредност $F = 14,19622$ статистички заклучуваме дека има разлика во вредностите на микробиолошките параметри после третирање на примероците со јонизирачко зрачење со различна вредност на дозата. Во овој случај постои статистичка значајност, односно сигнификантност, а до истиот статистички заклучок се доаѓа преку споредба на пресметаната вредност на $p = 0,00000000156$ со теориската вредност за $p \leq 0,05$.

Според овие констатации, може да се донесе сигурен заклучок дека разликите во вредностите на микробиолошките параметри помеѓу контролниот (нетретиран) примерок и примероците пченица третирани со јонизирачко зрачење со различна вредност на дозата, се статистички сигнификантни. Тоа значи дека разликите во бројот на детектираните микроорганизми се директно поврзани и предизвикани од дејството на јонизирачкото зрачење.

Со цел да се процени ефектот на јонизирачкото зрачење врз секој вид на микроорганизми посебно, направена е анализа на промените во нивната бројност во корелација со дозата на зрачење. Добиените резултати се прикажани во продолжение.

Доколку се направи анализа на динамиката на вкупниот број микроорганизми во корелација со дозата на зрачење (График 25), може да се процени каков е ефектот на јонизирачкото зрачење врз овој параметар.



Како што може да се забележи, постои намалување на вкупниот број на микроорганизми во примероците третирани со јонизирачко зрачење, и тоа во директна корелација со зголемувањето на дозата на зрачење. Притоа, мошне впечатлива редукција на овој параметар се јавува при повисоките дози на зрачење, при што на доза од 5 kGy, вкупниот број на микроорганизми е само 800 CFU/g (3.9 log CFU/g), додека при доза од 10 kGy, воопшто нема детектирани микроорганизми.

Доколку се одреди колкава е редукцијата на бројот на микроорганизми во зависност од дозата на зрачење, се забележува дека на пониските дози на зрачење, редукцијата е минимална, но при доза од 5 kGy, вкупниот број на микроорганизми е намален за 1.6 log CFU/g, додека на 10 kGy, растот на микроорганизмите е целосно инхибиран.

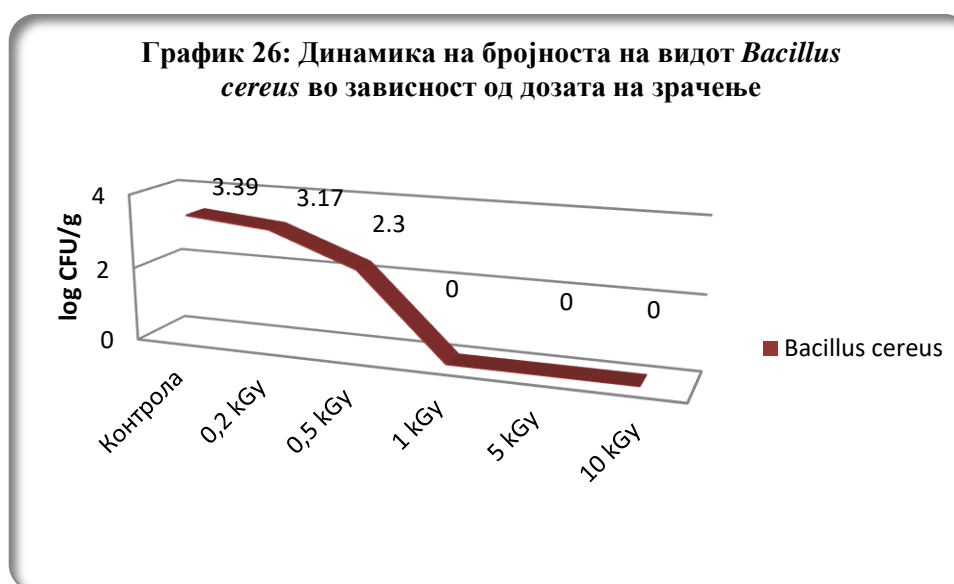
Овие резултати се во корелација со резултатите објавени од други автори, кои исто така го потврдиле ваквиот ефект на јонизирачкото зрачење. Така на пример, Aziz (2006) го испитувал присуството на микроорганизми во четири вида житарици и утврдил дека при доза од 10 kGy, вкупниот број бил намален за 3 log CFU/g, при што колиформните и коагулаза позитивните стафилококи биле инхибирани при доза со вредност од 1 kGy.

Слично, Hanis *et al.* (1988) при одредување на ефектот на зрачењето врз примероци од пченица, пченка и овесни оброци третирани со дози со вредност од 1 kGy, 10 kGy и 25 kGy, дошле до сознание дека дозата од 1 kGy ја намалува почетната контаминација за 2 log CFU/g, додека дозата од 10 kGy ги елиминира сите живи микроорганизми во пченицата и овесните оброци.

Бактеријата *Bacillus cereus* која е детектирана во сите испитувани примероци претставува аеробна, спорогена бактерија, нормално присутна во почвата, прашината и водата. Таа во мали концентрации може да се најде и во голем број хранливи продукти, вклучувајќи ја и свежата храна, иако примарно живее во почвата од каде нејзините спори се пренесуваат на пченицата и другите житарици. Екстремната отпорност на нејзините спори кон топлина, сушење и средства за дезинфекција, овозможува нејзино преживување и присуство во скоро сите земјоделски производи, како во пченицата така и во мелничките преработки. Сепак, нејзиното присуство во храната е мало и не претставува голема опасност за човековото здравје (Jay, 2000).

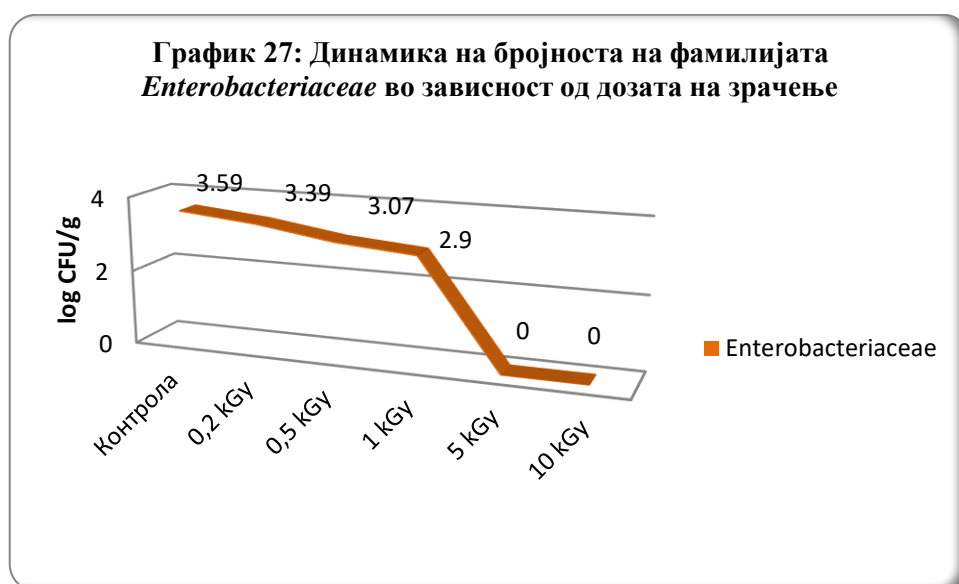
Според добиените резултати, вредностите за *Bacillus cereus* во контролниот примерок изнесуваат 2500 CFU/g односно 3.39 log CFU/g. За компарација на овие вредности може да се споменат резултатите објавени од страна на Eglezos (2010), кој испитувајќи 50 примероци пченица, присуство на оваа бактерија детектирал во само два од нив и тоа со вредност од 2.0 log CFU/g. Спротивно на тоа, Berghofer (2003) при испитување на микробиолошкиот статус на пченицата во Австралија одредил концентрација за *B. cereus* од 1 MPN/g, додека Ntuli *et al.* (2013) испитувајќи ги микробиолошките карактеристики на пченичното брашно, одредиле вредности за *B. cereus* од 4.0 до 5.07 log CFU/g.

Динамиката на бројот на единки од *Bacillus cereus* во зависност од дозата на јонизирачко зрачење е прикажана на График 26. Од графикот јасно се забележуваат две состојби: на пониски дози на зрачење (0,2 kGy и 0,5 kGy) евидентно е негово рамномерно намалување, но веќе при доза од 1 kGy, *Bacillus cereus* повеќе не се детектира. Во оваа насока, може да се спомене заклучокот од истражувањата на Monk *et al.* (1995) според кои, потребните D₁₀ дози за *Bacillus cereus* изнесуваат само 0,2 kGy.



Фамилијата *Enterobacteriaceae* опфаќа над 100 видови грам негативни, факултативни, анаеробни бацили, кои се среќаваат во многу хранливи производи каде што ги ферментираат шеќерите, создавајќи млечна киселина и други крајни продукти. Голем број соеви постојано ги има и во почвата и водата. Според Sabillón *et al.* (2016) присуството на оваа фамилија во голема мера зависи од релативната влажност на воздухот. Ваквиот заклучок произлегува од нивните сознанија дека бројот на видови од фамилијата *Enterobacteriaceae* детектирани во пченица која растела во региони со релативна влажност на воздухот од 43 %, бил за 2,6 пати повисок од нивниот просечен број т.е 4.5 log CFU/g, наспроти 1.7 log CFU/g соодветно.

Според резултатите добиени за испитуваните примероци пченица (Табела 19), вредностите за *Enterobacteriaceae* во контролниот примерок изнесуваат 3900 CFU/g (3.59 log CFU/gr). Доколку се погледне нивната динамика во зависност од дозата на јонизирачко зрачење претставена на График 27, се забележува нивно постапно намалување на пониски дози (0,2 kGy до 1 kGy). Инхибиција во нивниот раст е утврдена при доза од 5 kGy и 10 kGy, кога нивното присуство во испитуваните примероци веќе не се детектира.



Согласно добиените резултати за присутните *квасци и мувли* (Табела 20), може да се констатира дека во контролниот примерок нивниот број е доста висок и изнесува 35 000 CFU/g односно 4.54 log CFU/g. Овие резултати се слични со резултатите објавени од страна на Sabillón *et al.* (2016) кои во три сорти пченица од различни региони на Небраска, утврдиле вредност за мувлите од 2.13 – 4.48 log CFU/g. Кон овие резултати може да се надоврзат и резултатите на Eglezos (2010) кој во 50 примероци пченица и пченично брашно, утврдил вредности за квасците од 3.7 log CFU/g, а за мувлите 2.7 log CFU/g. Мошне слични резултати објавиле и Peles *et al.* (2012) според кои концентрациите на присутни квасци и мувли во испитуваната пченица биле 3.5 CFU/g, како и Ntuli *et al.* (2013) кои во анализите направени врз 90 примероци пченично брашно утврдиле концентрации на квасци и мувли во износи од 3.9 CFU/g.

Доколку се направи споредба на резултатите за присуството на квасци и мувли во контролниот примерок со нивните вредности во примероците третирани со јонизирачко зрачење (График 28), може да се забележи дека и нивниот број се намалува во зависност од дозата на зрачење. Така, наспроти контролниот примерок, останатите примероци покажуваат постојана редукција на бројот паралелно со зголемување на дозата на зрачење. Сепак, за разлика од останатите микроорганизми, квасци и мувли се детектирани и при доза од 5 kGy, но може да се забележи дека при таа доза, постои редукција на нивниот број за 1.5 log CFU/g.



Сличен заклучок во поглед на редукцијата на квасци и мувли се забележува и во испитувањата на Aziz (2006), во чие истражување, растот на мувлите бил инхибиран при доза од 5 kGy.

Добиените вредности за присуството на квасци и мувли се во корелација и со научните податоци во литературата, бидејќи е потврдено дека мувлите се поотпорни на ефектите од јонизирачкото зрачење, како резултат на постоење на радиоотпорни соединенија во нивниот мицелиум. Притоа, големите количества на липиди во клеточниот сид на видовите од родот *Aspergillus*, кои достигнуваат дури до 20 %, значително ја зголемуваат нивната отпорност кон зрачењето.

Според Patterson (2005) квасците се поотпорни на јонизирачко зрачење во споредба со вегетативните бактериски клетки, така што за нивно целосно уништување се потребни релативно високи дози. Тој истакнува дека ниските дози на зрачење се сепак доволни да се спречи нивното рамножување.

За разлика од квасците, мувлите се разликуваат според нивната отпорност кон јонизирачко зрачење, па различните видови мувли се различно радиосензитивни. Во тој контекст, Salama *et al.* (1977) откриле дека најрезистентни кон зрачењето се видовите *Aspergillus niger* и *Penicillium oxalicum*, така што во мицелиум добиен од спори третирани со јонизирачко зрачење, протеинската и полисахаридната синтеза биле инхибирани. Притоа, ваквата инхибиција била во функција со висината на дозата на зрачење. Тие понатаму истакнуваат дека разликите во радиорезистентноста на мувлите

се должат на содржината на вода во мицелиумот, како и на хемиските супстанции кои имаат улога на радиопротектори.

Доколку се сублимираат резултатите добиени од микробиолошките анализи, направени после третирање на примероците пченица со јонизирачко зрачење, може да се констатира следното: кај сите детектирани микроорганизми, вклучително и кај вкупниот број на микроорганизми постои редукација во бројот на колонии, која се зголемува паралелно со зголемување на дозата на зрачење. Притоа, при доза од 10 kGy не е утврдено присуство на ниту еден од детектираните видови микроорганизми во пченицата.

6.6.2. Микробиолошки анализи после период од 9 месеци од третирањето на примероците со јонизирачко зрачење

Со цел да се процени времетраењето на ефектите од јонизирачкото зрачење и еволуцијата на можните промени во корелација со стареењето на примероците, направено е повторување на микробиолошките анализи, после период од 9 месеци од првото одредување. Добиените резултати за испитуваните параметри се прикажани во Табела 21 и График 29.

Од Табела 21 и График 29 може да се констатира дека после 9 месеци од третирањето на примероците со јонизирачко зрачење, микробиолошка флора на пченицата е поинаква од претходно. Така, сега се детектирани само видови од фамилијата *Enterobacteriaceae* и одредени соеви на *квасци и мувли*. И овој пат во ниту еден од испитуваните примероци не е детектирано присуство на родот *Salmonella*, ниту видовите: *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli* и *Clostridium perfringens*. Притоа, интересно е да се напомене дека при вторите микробиолошки анализи, видот *Bacillus cereus* не е детектиран во ниту еден примерок третиран со јонизирачко зрачење. На овој начин, добиените резултати повторно се во согласност со Правилникот за посебните барања за безбедност на храната по однос на микробиолошки критериуми.

Табела 21. Вредности на микробиолошките параметри после период од 9 месеци од третирањето на примероците пченица (*Triticum aestivum* L.) со јонизирачко зрачење

Доза на зрачење / Параметар	Вкупен број на микроорганизми	<i>Bacillus cereus</i>	<i>Clostridium perfringens</i>	<i>Escherichia coli</i>	<i>Enterobacteriaceae</i>	Квасци и мувли	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<i>Salmonella</i>	Коагулаза позитивни стафилококи
Контрола	30 000*	2000	НД	НД	2000	5000	НД	НД	НД
log CFU/g	4.47**	3.3			3.3	3.69			
0,2 kGy	8000	НД	НД	НД	1600	3200	НД	НД	НД
log CFU/g	3.9				3.2	3.5			
0,5 kGy	5000	НД	НД	НД	600	2400	НД	НД	НД
log CFU/g	3.69				2.77	3.38			
1 kGy	3000	НД	НД	НД	320	1400	НД	НД	НД
log CFU/g	3.47				2.5	3.14			
5 kGy	НД***	НД	НД	НД	НД	200	НД	НД	НД
log CFU/g						2.3			
10 kGy	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
log CFU/g									

* CFU/g , ** log CFU/g, ***НД-не е детектиран во 25 gr.

Добиените вредности од микробиолошките анализи спроведени после 9 месеци од третирањето на примероците пченица со јонизирачко зрачење (Табела 21 и График 29), јасно го покажуваат влијанието на јонизирачкото зрачење врз детектираните микроорганизми. Истовремено, од резултатите може да се воочи дека ова влијание се зголемува паралелно со зголемување на дозата на зрачење. Така, како што се зголемува вредноста на јонизирачкото зрачење, се намалува *вкупниот број на микроорганизми*, бројот на *квасци и мувли* и бројот на колонии од фамилијата *Enterobacteriaceae*. Тоа јасно го покажува очекуваното влијание на јонизирачкото зрачење врз микроорганизмите кое во овој случај продолжува и во периодот после третирањето. Со ова се потврдува долготрајниот ефект на јонизирачкото зрачење во однос на одржувањето на микробиолошката безбедност на храната.

Компаративна анализа на промените во квалитативниот состав кај храна третирана со јонизирачко зрачење

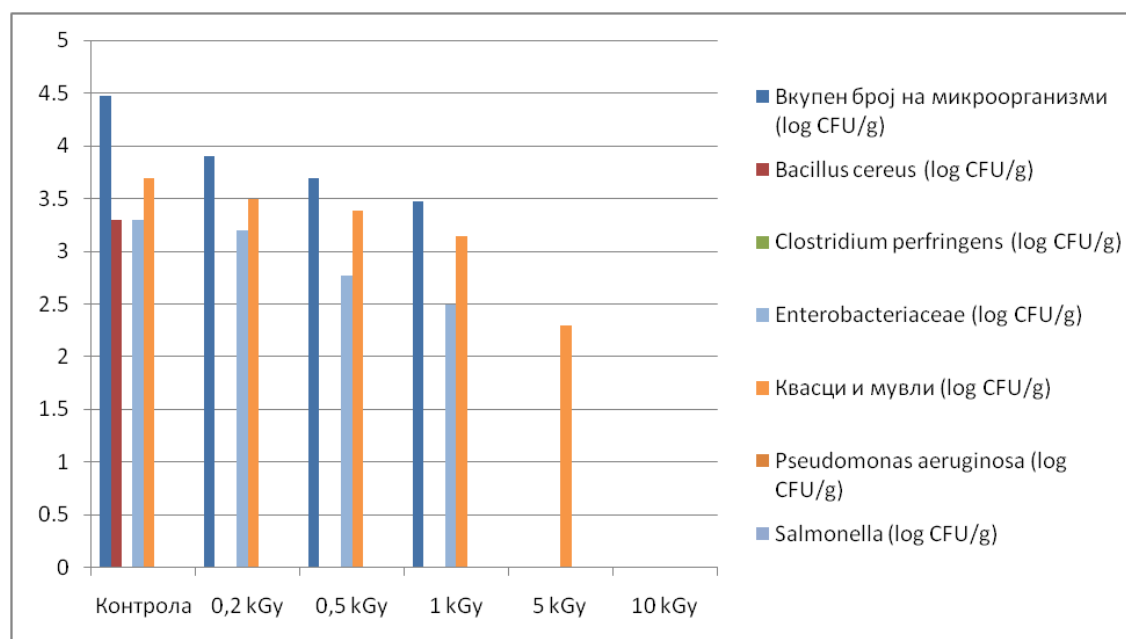


График 29. Приказ на вредностите на микробиолошките параметри после 9 месеци од третирањето на примероците пченица (*Triticum aestivum* L.) со јонизирачко зрачење.

Сепак, со цел донесување на сигурен статистички заклучок за сигнификантноста на ваквите промени, направена е анализа на добиените резултати со примена на параметарскиот тест ANOVA и соодветниот модел на два фактори и повеќе модалитети. Параметрите добиени од оваа анализа се прикажани во Табела 21.1

Табела 21.1 Статистичка анализа на резултатите од Табела 21.

Anova: Two-Factor Without Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
Контрола	9	14,76	1,64	3,896325
0,2 kGy	9	10,6	1,177778	3,151944
0,5 kGy	9	9,84	1,093333	2,744375
1 kGy	9	9,11	1,012222	2,366144
5 kGy	9	2,3	0,255556	0,587778
10 kGy	9	0	0	0
Вкупен број на микроорганизми (CFU/g)	6	15,53	2,588333	4,130217
Bacillus cereus (CFU/g)	6	3,3	0,55	1,815
Clostridium perfringens (CFU/g)	6	0	0	0
Escherichia coli (CFU/g)	6	0	0	0
Enterobacteriaceae (CFU/g)	6	11,77	1,961667	2,392817
Квасци и мувли (CFU/g)	6	16,01	2,668333	1,944017
Pseudomonas aeruginosa (CFU/g)	6	0	0	0
Salmonella (CFU/g)	6	0	0	0
Коагулаза позитивни стафилококи (CFU/g)	6	0	0	0

Компаративна анализа на промените во квалитативниот состав кај храна третирана со јонизирачко зрачење

ANOVA							
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit	
Rows	17,02703	5	3,405406	3,961707	0,00518	2,449466	
Columns	67,58931	8	8,448664	9,828823	2E-07	2,18017	
Error	34,38322	40	0,85958				
Total	118,9996	53					

Од добиените параметри во Табела 21.1 може да се извечат следните констатации:

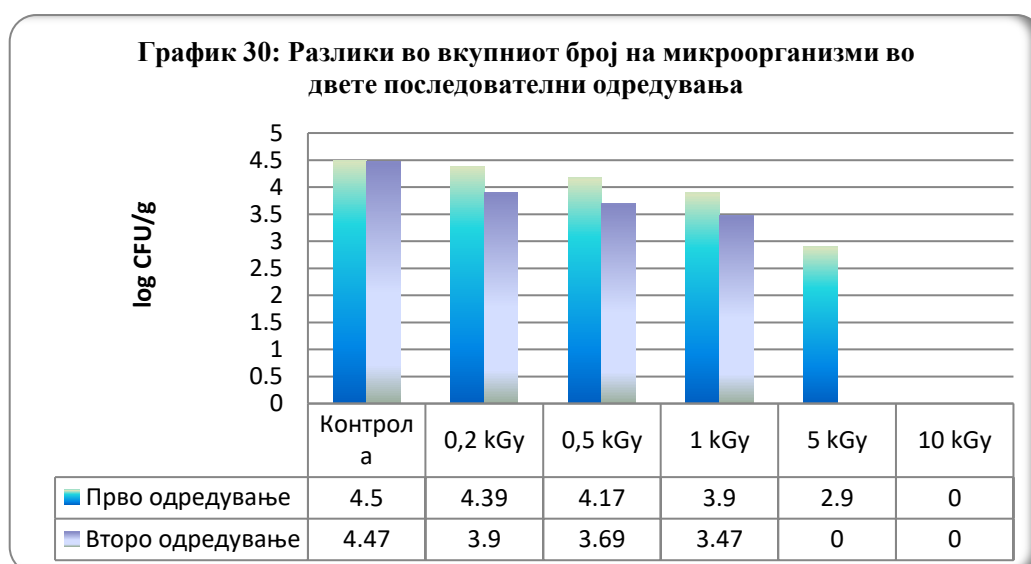
а. Теориската вредност на Снедекоровата променлива F_{0A} за соодветен број степени на слобода ($\nu_1 = 5$) и ($\nu_2 = 40$) и праг на значајност $\alpha = 0,95$ изнесува $F_{0A} = 2,449466$. Бидејќи оваа вредност е помала од пресметаната вредност на Снедекоровата променлива $F = 3,961707$, статистички се заклучува дека има разлика во вредностите на микробиолошките параметри после период од 9 месеци од третирањето со јонизирачко зрачење. Во овој случај постои статистичка значајност, односно сигнификантност, а до истиот статистички заклучок се доаѓа преку споредба на пресметаната вредност на $p=0,00518$ со теориската вредност $p \leq 0,05$.

б. Теориската вредност на Снедекоровата променлива F_{0B} за соодветен број степени на слобода ($\nu_1 = 8$) и ($\nu_2 = 40$) и праг на значајност $\alpha = 0,95$ изнесува $F_{0B} = 2,18017$. Ваквата вредност на Снедекоровата променлива е помала од пресметаната вредност $F = 9,828823$ поради што статистички се заклучува дека има разлика во вредностите на микробиолошките параметри после период од 9 месеци од третирањето со јонизирачко зрачење, во зависност од различните дози на зрачење. Во овој случај постои статистичка значајност, односно сигнификантност. До истиот статистички заклучок се доаѓа преку споредба на пресметаната вредност на $p=0,0000002$ со теориската вредност на $p \leq 0,05$.

Според тоа, може да се констатира дека разликите во бројноста на детектираните микроорганизми се статистички сигнификантни и директно се во корелација со дозата на јонизирачко зрачење. Ова јасно ја потврдува ефикасноста на јонизирачкото зрачење во микробиолошката деконтаминација на храната.

Со цел да се добие поцелосен приказ за евидентираните разлики во микробиолошките параметри, направена е споредба на бројноста на секој од детектираните видови микроорганизми во двете последователни одредувања. Статистичката споредба е направена со параметарскиот тест ANOVA со два фактори и повеќе модалитети. Добиените резултати се прикажани во продолжение.

На График 30 е прикажана компарација на *вкупниот број на микроорганизми* во двете последователни одредувања. Се забележува дека вкупниот број на микроорганизми, после девет месеци од направеното третирање со јонизирачко зрачење е понизок во сите испитувани примероци.



За да се процени сигнификантноста на овие разлики, направена е статистичка анализа на вредности за вкупниот број на микроорганизми, а добиените параметри се прикажани во Табела 22.1.

Согласно параметрите во Табела 22.1 се забележува дека Теориската вредност на Снедекоровата променлива F_{0B} за соодветен број степени на слобода ($\nu_1 = 1$) и ($\nu_2 = 5$) изнесува $F_{0B} = 6,607891$. Бидејќи нејзината вредност е поголема од пресметаната вредност $F = 2,62966$, тоа укажува дека не се воочливи статистички значајни промени во вредностите за вкупниот број на микроорганизми во двете

последователни одредувања. Истото се потврдува и со добиената вредност за факторот на сигнификантност $p=0,165811$, која е поголема од граничната вредност на $p \leq 0,05$.

Табела 22.1 Статистичка анализа на резултатите за *вкупниот број на микроорганизми во двете последователни одредувања.*

Anova: Two-Factor Without Replication

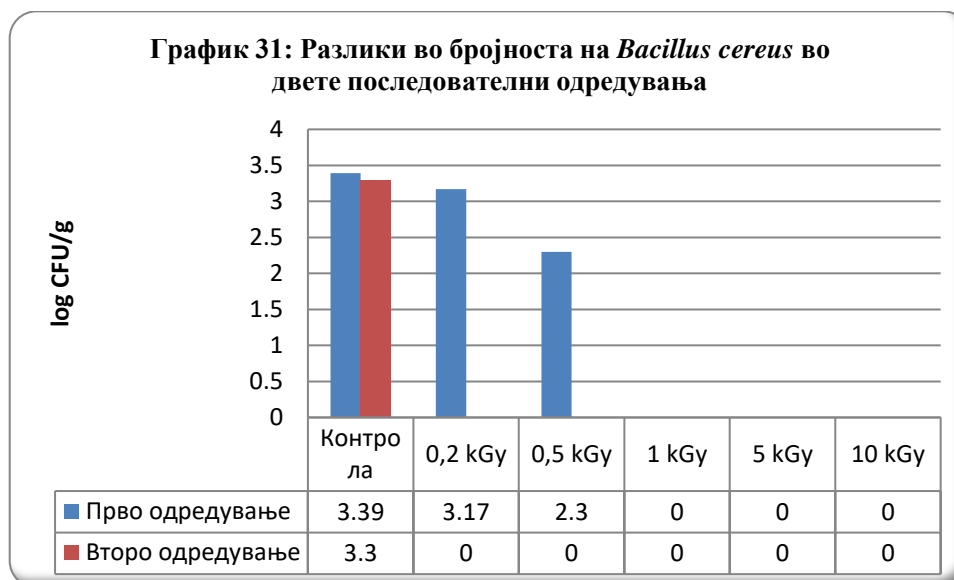
SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
Нетретиран (контролен) примерок	2	8.97	4.485	0.00045
Примерок третиран со 0.2 kGy	2	8.29	4.145	0.12005
Примерок третиран со 0.5 kGy	2	7.86	3.93	0.1152
Примерок третиран со 1 kGy	2	7.37	3.685	0.09245
Примерок третиран со 5 kGy	2	2.9	1.45	4.205
Примерок третиран со 10 kGy	2	0	0	0
Прво одредување	6	19.86	3.31	2.95888
Второ одредување	6	15.53	2.588333	4.130217

ANOVA	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	32.47474	5	6.494948	10.93153	0.010072	5.050329
Columns	1.562408	1	1.562408	2.62966	0.165811	6.607891
Error	2.970742	5	0.594148			
Total	37.00789	11				

Во однос на бројноста на видот *Bacillus cereus* забележани се мошне големи разлики. Како што може да се забележи од График 31, за разлика од првото одредување кога *Bacillus cereus* беше детектиран и во контролниот примерок и во примероците третирани со доза од 0,2 kGy и 0,5 kGy, при повторените микробиолошки анализи, *Bacillus cereus* е детектиран единствено во контролниот (нетретиран) примерок. Причината за ова се најверојатно неповолните услови за негов развој во затворени пакувања, кои го оневозможуваат неговото развивање.

Статистичката сигнификантност на овие разлики е прикажана во Табела 22.2. Согласно добиените параметри за *Bacillus cereus* може да се забележи дека вредноста на Снедекоровата променлива F_{0B} за соодветен број степени на слобода ($\nu_1 = 1$) и ($\nu_2 = 5$) изнесува $F_{0B} = 6,607891$. Бидејќи оваа вредност е поголема од пресметаната вредност на Снедекоровата променлива $F = 2,526926$, тоа значи дека не се воочливи статистички значајни промени во вредностите за *Bacillus cereus* во двете

последователни одредувања. Истото се потврдува и со добиената вредност за факторот на сигнификантност $p=0,172788$, која е поголема од граничната вредност на $p \leq 0,05$.



Табела 22.2 Статистичка анализа на резултатите за *Bacillus cereus* во двете последователни одредувања.

Anova: Two-Factor Without Replication

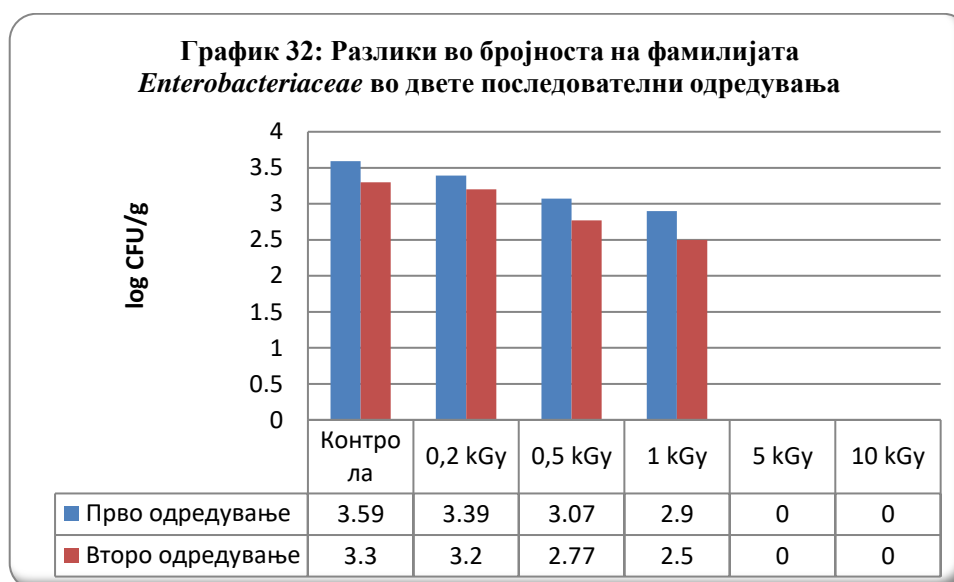
SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
Нетретиран (контролен) примерок	2	6.69	3.345	0.00405
Примерок третиран со 0.2 kGy	2	3.17	1.585	5.02445
Примерок третиран со 0.5 kGy	2	2.3	1.15	2.645
Примерок третиран со 1 kGy	2	0	0	0
Примерок третиран со 5 kGy	2	0	0	0
Примерок третиран со 10 kGy	2	0	0	0
Прво одредување	6	8.86	1.476667	2.749547
Второ одредување	6	3.3	0.55	1.815

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	17.72537	5	3.545073	3.477358	0.098797	5.050329
Columns	2.576133	1	2.576133	2.526926	0.172788	6.607891
Error	5.097367	5	1.019473			
Total	25.39887	11				

Доколку се спореди бројноста на фамилијата *Enterobacteriaceae* во двете последователни микробиолошки одредувања (График 32), може повторно да се забележи дека во сите испитувани примероци нивниот број е понизок после

деветмесечниот период на складирање на примероците. Идентично како и при првото одредување, колонии од *Enterobacteriaceae* не се детектирани при дози од 5 kGy и 10 kGy. Тоа го потврдува силниот инхибиторен ефект на повисоките дози на јонизирачко зрачење врз видовите од оваа фамилија.



Со цел да се провери статистички сигнификантноста на овие разлики, направена е споредба на вредностите на фамилијата *Enterobacteriaceae* а добиените параметри се прикажани во Табела 22.3.

Табела 22.3. Статистичка анализа на резултатите за *Enterobacteriaceae* во двете последователни одредувања.

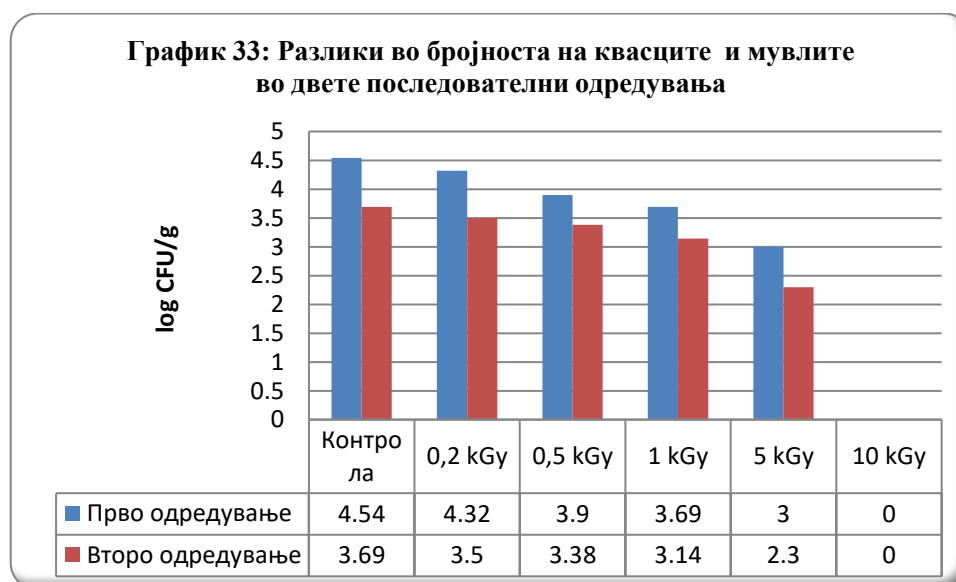
Anova: Two-Factor Without Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
Нетретиран (контролен) примерок	2	6.89	3.445	0.04205
Примерок третиран со 0.2 kGy	2	6.59	3.295	0.01805
Примерок третиран со 0.5 kGy	2	5.84	2.92	0.045
Примерок третиран со 1 kGy	2	5.4	2.7	0.08
Примерок третиран со 5 kGy	2	0	0	0
Примерок третиран со 10 kGy	2	0	0	0
Прво одредување	6	12.95	2.158333	2.852937
Второ одредување	6	11.77	1.961667	2.392817

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	26.1597	5	5.23194	378.7601	1.93E-06	5.050329
Columns	0.116033	1	0.116033	8.400097	0.033858	6.607891
Error	0.069067	5	0.013813			
Total	26.3448	11				

Може да се констатира дека во овој случај, вредноста на Снедекоровата променлива F_{0B} за соодветен број степени на слобода ($\nu_1 = 1$) и ($\nu_2 = 5$) изнесува $F_{0B} = 6,607891$. Бидејќи оваа вредност е помала од пресметаната вредност $F = 8,400097$, тоа значи дека постојат воочливи статистички значајни разлики во вредностите за фамилијата *Enterobacteriaceae* во двете последователни одредувања. Истото се потврдува и со добиената вредност за факторот на сигнификантност $p = 0,033858$, која е пониска од граничната вредност на $p \leq 0,05$.

Најголеми разлики во бројноста во зависност од должината на складирање на примероците е утврдено кај вредностите на квасците и мувлите. Од График 33, може да се забележи дека при второто одредување, нивниот број е понизок во сите испитувани примероци, а притоа, ниту при првото, ни при второто одредување квасци и мувли не се детектирани единствено при доза од 10 kGy.



Со статистичка анализа на овие вредности е направена проверка на нивната сигнификантност. Добиените параметри се прикажани во Табела 22.4.

Табела 22.4 Статистичка анализа на резултатите за *квасци и мувли* во двете последователни одредувања.

Anova: Two-Factor Without Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
Нетретиран (контролен) примерок	2	8.23	4.115	0.36125
Примерок третиран со 0.2 kGy	2	7.82	3.91	0.3362
Примерок третиран со 0.5 kGy	2	7.28	3.64	0.1352
Примерок третиран со 1 kGy	2	6.83	3.415	0.15125
Примерок третиран со 5 kGy	2	5.3	2.65	0.245
Примерок третиран со 10 kGy	2	0	0	0
Прво одредување	6	19.45	3.241667	2.809937
Второ одредување	6	16.01	2.668333	1.944017

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	23.527	5	4.7054	96.91199	5.664E-05	5.050329
Columns	0.986133	1	0.986133	20.31031	0.0063602	6.607891
Error	0.242767	5	0.048553			
Total	24.7559	11				

Од Табела 22.4 може да се констатира дека кај квасците и мувлиите, вредноста на Снедекоровата променлива F_{OB} за соодветен број степени на слобода ($\nu_1 = 1$) и ($\nu_2 = 5$) изнесува $F_{OB} = 6,607891$ и истата е значително помала од пресметаната вредност $F = 20,31031$. Тоа значи дека постојат статистички големи разлики во вредностите на квасците и мувлиите во двете последователни одредувања. Истото се потврдува и со добиената вредност за факторот на сигнификантност $p=0,0063602$, која е значително помала од граничната вредност на $p \leq 0,05$.

Генерален заклучок е дека резултатите од повторените микробиолошки анализи покажуваат дека ефектите на јонизирачкото зрачење се долготрајни и не постои зголемување на растот на микроорганизмите, ниту после деветмесечен период на чување на пченицата. Утврдено е континуирано намалување на бројноста на сите детектирани микроорганизми, паралелно со зголемување на дозата на зрачење. Притоа, при доза од 5 kGy, детектирани се само квасци и мувли, додека при доза од 10 kGy, не се детектирани колонии на микроорганизми во ниту еден од испитуваните примероци.

6.6.3. Резултати од испитувањата на концентрациите на вкупните афлатоксини во примероците пченица (*Triticum aestivum* L.) третирани со јонизирачко зрачење

Иако јонизирачкото зрачење може да ги деактивира биолошките организми, па дури и да ја стерилизира храната, за жал, многу од нивните производи (микотоксини или бактериски токсини) се отпорни на него и не можат да бидат деактивирани. Поради тоа, постои мислење дека храната контаминирана со токсини генерално не може да се детоксицира ниту со третман со јонизирачко зрачење. Во овој поглед, зрачењето не се разликува многу од конвенционалните методи за пастеризација или стерилизација на храната – постапки, кои исто така не ги уништуваат повеќето микробиолошки токсини (WHO, 1994).

Според проценките на FAO, контаминацијата на житата со микотоксини резултира со приближно 10 милијарди тони загуби на житни посеви низ целиот свет, секоја година. Истовремено, акумулацијата на микотоксини во житните култури е особено штетна за здравјето на луѓето и на животните (Lung *et al.* 2015). Во оваа насока, Pascale (2009) истакнува дека житните производи се главниот извор за внес на микотоксини кај човековата популација во земјите на EU, па поради тоа, за да се заштити човековото здравје од нивните штетни ефекти, мора да се спроведуваат редовни рутински проверки на нивните концентрации во житата.

Особно значајна група микотоксини се афлатоксините, чија продукција кај житата е многу честа појава. Тоа се должи на фактот што житните култури се природно контаминирани со афлатоксикогени мувли уште пред жетвата. Ваквата контаминација продолжува и во периодот на складирањето, како последица на зголемената влага во складиштата (Bennett & Klich, 2003). Притоа, степенот на контаминација со афлатоксини во голема мера зависи и од други фактори, и тоа: од содржината на влага во зрната, релативната влажност на воздухот, температурата, рН вредноста на медиумот и сл. (Pleadin *et al.* 2014).

Афлатоксините се канцерогени секундарни метаболити (дифуранокумарини) кои се продуцираат во земјоделските производи (жита, пченка, добиточна храна) првенствено од страна на видовите: *Aspergillus parasiticus* и *Aspergillus flavus*. Првите сознанија за нивното постоење и токсичност се поврзани со масовното умирање на

мисирки и младенчина од пајки во голем број фарми во јужна Англија, во 1960 година. Резултатите од направените испитувањата покажале дека тоа било последица на контаминираната храна која фармерите ја употребувале, а во која бил развиен видот *Aspergillus flavus*, чиј токсин ја предизвикал оваа појава (Marth, 1967).

Од 18 различни типови на афлатоксини, шест (B₁, B₂, G₁, G₂, M₁ и M₂) се идентификувани како особено важни. Од сите нив, најмоќен природен канцероген е афлатоксинот B₁ и тој е воедно и најчестиот афлатоксин кој се продуцира од страна на токсикогените мувли. Истиот според IARC (1993) е потврден канцероген и кај човекот, бидејќи неговиот ефект се манифестира преку негово поврзување со молекулата на DNA, во која предизвикува трансверзија на азотните бази G – T. Ваквата мутација покасно доведува до хепатоцелуларен карцином. Истовремено, ефектите на афлатоксинот B₁ се одразуваат и врз јаглехидратниот метаболизам, бидејќи предизвикува редукција на хепаталниот гликоген и зголемување на концентрацијата на глукоза во крвта. Со него се поврзуваат и други метаболитички процеси, во кои се вклучени ензими кои учествуваат во јаглехидратниот метаболизам (Wacoо *et al.* 2014).

Биолошките ефекти на афлатоксините според Smith (1995) се мошне разновидни: мутагени, канцерогени, ембиотоксични, тератогени и естрогени. Притоа, според Marth (1967) нивните штетни ефекти зависат од повеќе фактори како што се: внесената доза, видот и староста на организмите и временскиот период во кој организмот бил изложен на нивните токсични ефекти. Во таа насока, според Wogan (1966) ефектите кои ги предизвикуваат афлатоксините може да се класифицираат во 3 групи: акутна токсичност поврзана со ингестија на летална доза, субакутна токсичност поврзана со конзумирање на мали количества од токсинот и карциногени ефекти на токсинот.

Токсичноста и канцерогениот ефект на афлатоксините кај човекот и домашните животни е потврден во бројни студии (Newberne & Butler, 1969; Peers *et al.* 1976). Притоа, утврдено е дека акутните афлатоксикози завршуваат летално, додека хроничните доведуваат до развој на рак, имуносупресија и други патолошки состојби (Peers & Linsell, 1973; Peers & Linsell, 1977).

Lancaster (1961) утврдил дека продолжена изложеност на субакутни дози на афлатоксини доведува до појава на канцерогени тумори на хепарот. Во неговите истражувања, во кои групи на глувци биле хранети со токсични кикиритки, било

констатирано дека единките кои биле хранети со ваква храна манифестирале повеќекратни тумори на хепарот, како и метастази на белите дробови, што не било забележано кај единките од контролната група. Се докажало дека причината за ова бил афлатоксинот во кикиритките, а после овој случај, неговата канцерогеност била редовно потврдена.

Афлатоксините се стабилни хемиски соединенија кои со класичните постапки за преработка на храната не можат да се уништат. Бидејќи житата се најчест извор на афлатоксини и особено на афлатоксин В₁, тоа повлекува и последователна контаминација и на производите кои се добиват од житата. Сепак, контаминацијата на житата со токсикогени мувли е скоро неизбежна, особено во областите каде владее тропска или суптропска клима. Ова наметнува потреба од постојани контроли и редовно следење на нивната концентрација во житните култури (Pleadin *et al.* 2014).

Со цел да се процени ефектот на јонизирачкото зрачење врз афлатоксините во пченицата користена во овој докторски труд, направено е одредување на нивните концентрации во сите испитувани примероци и тоа во два наврати: непосредно после третирањето на примероците пченица со јонизирачко зрачење и повторно после период од 9 месеци од третирањето. Добиените резултати се прикажани во Табела 23.

Табела 23. Вредности на вкупните афлатоксини во испитуваните примероци пченица во двете последователни одредувања

Вкупни афлатоксини	Прво одредување (27.10.2020) (ppb)	Второ одредување (19.07.2021) (ppb)	Средна вредност (ppb)	Стандардна девијација (ppb)
Контрола	4,0	3,75	3,875	0,176777
0,2 kGy	3,4	3,5	3,45	0,070711
0,5 kGy	3,7	3,2	3,45	0,353553
1 kGy	3,5	3,3	3,4	0,141421
5 kGy	1,9	1,8	1,85	0,070721
10 kGy	1,5	1,6	1,55	0,070711

Согласно резултатите во Табела 23, контаминацијата со афлатоксини е присутна и во примероците пченица кои се користени во овој докторски труд. Може да се забележи дека во контролните примероци нивните измерени вредности изнесуваат 4,0 ppb и 3,75 ppb, со средна вредност од 3,875 ppb. Според Службен весник бр. 118 (30.12.2005) и Правилникот за општите барања за безбедност на храната (Член 29), како и според Службен весник бр. 175 (19.09.2018), максимално дозволените концентрации на афлатоксини во сите жита и сите производи кои произлегуваат од жита во Р. С. Македонија изнесуваат 4,0 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (ppb). Овие вредности се идентични и со максимално дозволените вредности согласно Европската регулатива (ЕС, 2006), но се доста пониски од максимално дозволените вредности од страна на FDA (2021) според кои за вкупните афлатоксини во човековата храна се дозволени концентрации и до 20 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Ова покажува дека вредностите на вкупните афлатоксини во испитуваните примероци пченица во овој докторски труд се во рамките на максимално дозволените концентрации согласно законската регулатива.

Врз основа на средната вредност и стандардна девијација добиени за вредностите на вкупните афлатоксини во испитуваните примероци пченица (Табела 22) може да се изнесат следните две констатации:

а. Најголема средна вредност на вкупните афлатоксини во испитуваните примероци пченица, добиени во двете последователни одредувања, има кај нетретираниот (контролниот) примерок (3,875), додека најмала средна вредност има кај примероците третирани со вредност на дозата од 5 kGy (1,85 ppb) и 10 kGy (1,55 ppb).

б. Најголем варијабилитет во вредностите на вкупните афлатоксини во испитуваните примероци пченица добиени од двете одредувања има при јонизирачко зрачење со вредност на дозата од 0,5 kGy (0,353553), а најмал варијабилитет има при јонизирачко зрачење со вредност на дозата од 0,2 kGy и 10 kGy (0,070711).

Со цел да се процени динамиката на нивните износи во зависност од дозата на јонизирачко зрачење, направена е компарација на нивните концентрации, која е прикажана на График 34.

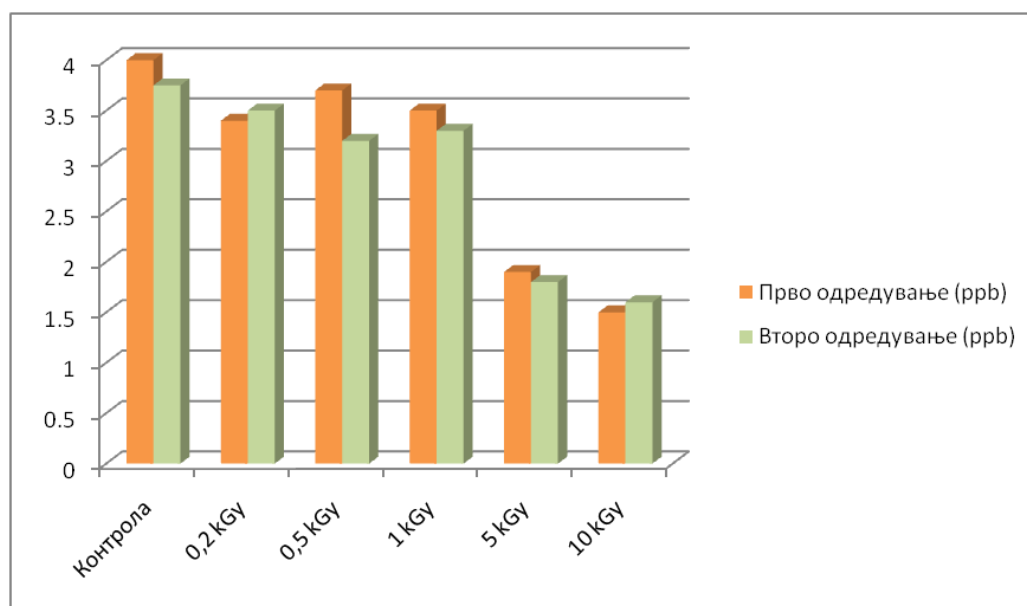


График 34. Споредба на вредностите на вкупните афлатоксини во испитуваните примероци пченица во двете последователни одредувања

Врз основа на вредностите на вкупните афлатоксини добиени при двете одредувања прикажани на График 34, воочливи се одредени разлики во нивните концентрации во испитуваните примероци пченица.

Со цел да се провери статистички сигнификантноста на овие разлики, нивните вредности се анализирани со параметарскиот тест ANOVA (два фактори и повеќе модалитети). Добиените параметри се прикажани во Табела 23.1

Табела 23.1 Статистичка анализа на резултатите за вкупните афлатоксини во испитуваните примероци пченица

Anova: Two-Factor Without Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
Контрола	2	7,75	3,875	0,03125
0,2 kGy	2	6,9	3,45	0,005
0,5 kGy	2	6,9	3,45	0,125
1 kGy	2	6,8	3,4	0,02
5 kGy	2	3,7	1,85	0,005
10 kGy	2	3,1	1,55	0,005
Прво одредување (ppb)	6	18	3	1,072
Второ одредување (ppb)	6	17,15	2,858333	0,844417

Компаративна анализа на промените во квалитативниот состав кај храна третирана со јонизирачко зрачење

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	9,451042	5	1,890208	72,12242	0,000117	5,050329
Columns	0,060208	1	0,060208	2,297297	0,190036	6,607891
Error	0,131042	5	0,026208			
Total	9,642292	11				

Од Табела 22.1 може да се извлечат следните две констатации:

а. Теориската вредност на Снедекоровата променлива F_{0A} за соодветен број степени на слобода ($\nu_1 = 5$) и ($\nu_2 = 5$) и праг на значајност $\alpha = 0,95$ изнесува $F_{0A} = 5,050329$. Бидејќи оваа вредност е значително помала од пресметаната вредност $F = 72,12242$, се заклучува дека различните вредности на дозите на јонизирачко зрачење, статистички значајно влијаат врз вредностите на вкупните афлатоксини во испитуваните примероци пченица. Во овој случај постои статистичка значајност, односно сигнификантност, при што до истиот статистички заклучок се доаѓа и преку споредба на пресметаната вредност на $p = 0,000117$ со теориската вредност на $p \leq 0,05$.

б. Теориската вредност на Снедекоровата променлива F_{0B} за соодветен број степени на слобода ($\nu_1 = 1$) и ($\nu_2 = 5$) и праг на значајност $\alpha = 0,95$ изнесува $F_{0B} = 6,607891$. Бидејќи нејзината вредност е поголема од пресметаната вредност $F = 2,297297$, се констатира дека временските периоди на реализирано јонизирачко зрачење не влијаат врз вредностите на вкупните афлатоксини во испитуваните примероци пченица. Имено, статистички се заклучува дека нема разлика во вредностите на вкупните афлатоксини после период од 9 месеци од третирањето со јонизирачко зрачење во зависност од различните дози на зрачење. Во овој случај не постои статистичка значајност, односно сигнификантност, а до истиот статистички заклучок се доаѓа и преку споредба на пресметаната вредност на $p = 0,190036$ која е поголема од теориската вредност на $p \leq 0,05$.

Генерално, може да се констатира дека контаминацијата на пченицата со афлатоксини е редовна појава и тоа е потврдено со бројни испитувања од други автори. Така на пример, Birck *et al.* (2006) при испитување на 35 примероци пченица (*Triticum aestivum* L.) во период од 180 дена после жетвата, во сите анализирани примероци детектирале присуство на афлатоксини, охратоксин А, зеараленон, деоксиниваленол и фумонисин.

Daou (2021) во 312 примероци од пченица и производи од пченица земени од различни места (пристаништа, силоси, мелници и супермаркети), потврдил присуство на AFB₁ во 65,7 % од примероците. Нешто пониски вредности добил Nathout (2020), кој анализирајќи 36 примероци пченица, утврдил дека 33 % од испитуваните примероци биле контаминирани со афлатоксин В₁, а во 16,6 % од примероците неговата концентрација била над максимално дозволените вредности.

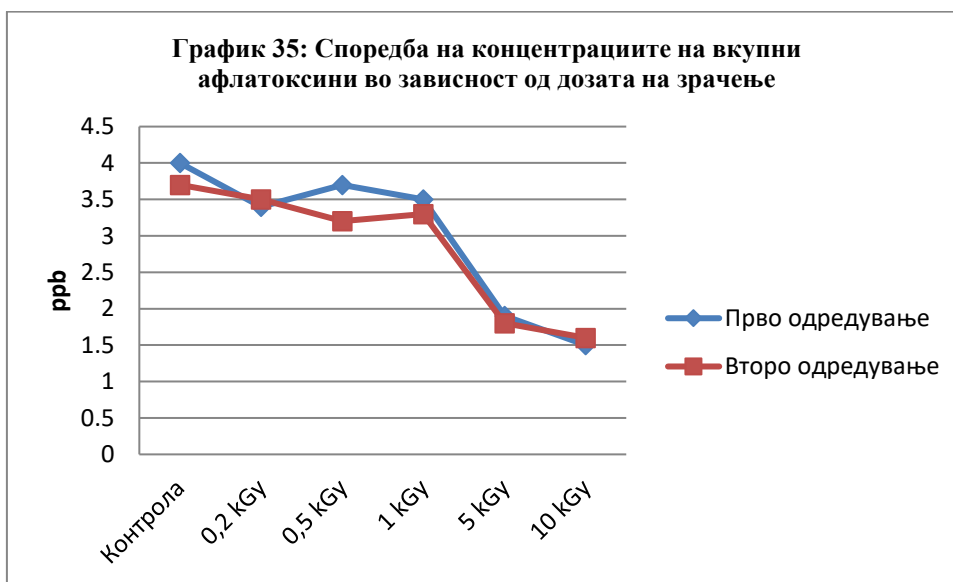
Во литературата постојат податоци за концентрациите на вкупните афлатоксини во житото од различни земји во светот. Така на пример, Baydar *et al.* (2005), во различни видови житарици, утврдиле вредности за вкупните афлатоксини во граници од 0,03 – 3,16 ppb. Trombete *et al.* (2014) во 35 примероци пченица во Бразил, измериле просечни вредности за вкупните афлатоксини од 0,69 µg/kg, при што највисоката вредност достигнувала 6,2 µg/kg. Lutfullah & Hussain (2012) испитувајќи го присуството на афлатоксини во 160 примероци од различни житарици и граорици во Пакистан, утврдиле дека најголема концентрација на афлатоксини има токму во примероците пченица и тоа во концентрации од дури 15,5 µg/kg.

Според испитувањата на Ghanem *et al.* (2020) продукцијата на афлатоксини е директно стимулирана од постоењето на лушпи на пченичните зрна, кои служат како извор на јаглерод. Тие во 16 примероци пченица измериле максимални вредности на афлатоксини од 2,85 ng/mg.

Во бројни студии од различни автори се истакнува дека концентрациите на вкупните афлатоксини во пченицата може да варираат во големи рамки. Така на пример, Asghar *et al.* (2016) во 185 примероци пченица од различни области на Пакистан, утврдиле големи разлики во концентрациите на вкупните афлатоксини, кои се движеле од 0,02 – 5,26 µg/kg. Разлика во концентрациите на афлатоксините забележале и Nathout *et al.* (2020). Тие во 36 примероци пченица од различни краеве на Египет утврдиле вредности на вкупните афлатоксини во распони од 20 до 63,64 µg/kg. Најголеми разлики во концентрацијата на афлатоксини наведуваат Giray *et al.* (2007), кога во 41 примерок пченица од различни региони во Турција утврдиле разлики во вкупните афлатоксини во распон од 10,41 ng/kg до 643,5 ng/kg.

Присуството на афлатоксини во храната и во житото е проблем од енормни размери поради нивната опасност по човековото здравје, па поради тоа многу внимание се посветува на начините за нивна редукција. Методите за контрола на афлатоксините

се делат на две групи: методи за спречување на загадувањето и развој на мувли, и методи за детоксикација на контаминираните производи. Третирањето на храната со јонизирачко зрачење е метода која покрај примарната примена за стерилизација на храната, се покажала и како ефикасна во поглед на редукцијата на овие соединенија. Со цел да се процени степенот на редукција на концентрациите на афлатоксини во испитуваните примероци пченица во овој докторски труд, направена е анализа на нивната динамика во зависност од дозата на јонизирачко зрачење. Истата е прикажана на График 35.



Како што може да се забележи од График 35, кривите на динамиката на вкупните афлатоксини во двете последователни испитувања се скоро идентични. Сепак, особено е значајно што и при првото и при второто одредување, воочливо е континуирано намалување на нивните вредности, паралелно со зголемување на дозата на зрачење. Особено е впечатливо нивното сигнификантно намалување при дозите со вредност од 5 kGy и 10 kGy. Во таа насока, може да се констатира дека при доза од 5 kGy, процентот на редукција на вкупните афлатоксини во испитуваните примероци пченица изнесува 40 %, додека при доза од 10 kGy, овој процент е поголем и изнесува 48 % .

За компарација на овие резултати може да се споменат истражувањата на Iqbal *et al.* (2012), кои ја одредувале концентрацијата на вкупни афлатоксини во пакуван црвен пипер, во два случаи (непосредно по зрачењето со дози од 2 kGy, 4 kGy и 6 kGy и после

складирање на примероците во период од 90 дена). Тие констатирале дека концентрациите на вкупните афлатоксини останале практично непроменети т.е дека складирањето не влијае врз нивните вредности. Сепак, овие автори утврдиле редуција на почетната концентрација на вкупни афлатоксини од 6 % при доза од 6 kGy.

Слични резултати објавиле и Akueche *et al.* (2012) потврдувајќи дека ниту јонизирачкото зрачење не може целосно да ги уништи афлатоксините. Имено, испитувајќи ги вкупните афлатоксини во семе од сусам, забележале дека иако ниту една мувла не била изолирана од примероците третирани со дози од 6 – 15 kGy, немало значајна разлика во концентрациите на вкупните афлатоксини помеѓу третираните и нетретираните примероци. Сепак, постоела сигнификантна редуција во концентрациите на вкупните афлатоксини при високи дози од 15 kGy. Аналогно на ова и Herzallah *et al.* (2008) утврдиле редуција на концентрациите на афлатоксини од 10 % при доза од 5 kGy и 35 % при доза од 25 kGy.

Повисока редуција на концентрациите на афлатоксините е потврдена со испитувањата на Markov *et al.* (2015) кои во 30 примероци природно контаминирана пченка, заклучиле дека дозата од 5 kGy го редуцира нивото на афлатоксин В₁ за околу 69,8 %, додека дозата од 10 kGy за околу 94,5 %. До слична констатација дошле и Nathout *et al.* (2020) испитувајќи 36 примероци пченица контаминирани со 20 µg/kg афлатоксин В₁. Тие утврдиле редуција на афлатоксинот В₁ до 1,22 µg/kg при дози од 10 kGy, па дури и до 0,94 µg/kg при доза 20 kGy.

Поради поврзаноста на продукцијата на афлатоксини со концентрацијата на афлатоксикогените мувли, многу автори концентрациите на афлатоксините ги анализираат паралелно со концентрациите на видовите од родот *Aspergillus*. Притоа, првите испитувања на радиосензитивноста на видовите од родот *Aspergillus* се направени од страна на Ito *et al.* (1973) кои испитувале 15 видови од родот *Aspergillus*. Тие утврдиле дека за стерилизација на житариците од овие мувли, потребни се дози од 500-600 Крад (5 – 6 kGy). Скоро ист заклучок објавиле и Aziz & Mahrous (2004) испитувајќи го ефектот на гама зрачењето врз продукцијата на афлатоксин В₁ од страна на *A. flavus*, кај три вида житарици. Тие констатирале дека растот на *A. flavus* и продукцијата на афлатоксин В₁ биле инхибирани при дози со вредност од 5 kGy.

За разлика од овие резултати, Hammad *et al.* (1996) дошле до заклучок дека дозата од 3 kGy целосно го редуцира растот на *A. flavus* во суво грозје и примероци од

харинга. Истовремено дозите од 1 kGy, 5 kGy и 2 kGy, довеле до значителна редукција на концентрациите на афлатоксини, при што, при доза од 3 kGy и 4,5 kGy концентрациите на афлатоксините биле целосно немерливи.

На крај може да се споменат и резултатите на Cvetnić & Pepeljnjak (2007) кои докажале дека постои интеракција помеѓу различните видови мувли, т.е дека постои антагонизам помеѓу родовите *Alternaria*, *Cladosporium*, *Mucor* и *Aspergillus*, во однос на продукцијата на афлатоксин В₁. Притоа, родовите *Alternaria* и *Cladosporium* го редуцирале создавањето на афлатоксинот В₁ за 100 %, со што бил потврден нивниот голем анти-токсикоген потенцијал. Со тоа се отворила нова насока за проучување на начините за редукција на концентрациите на афлатоксини, чии сознанија би помогнале во заштитата на човековото здравје од овие опасни соединенија.

7. ЗАКЛУЧОЦИ

Во оваа докторска дисертација е направена компаративна анализа на квалитативниот состав на храна третирана со јонизирачко зрачење со различна вредност на дозата на зрачење. Анализата е спроведена преку одредување на квалитативните и микробиолошките параметри кај примероци од пченица (*Triticum aestivum* L.) обезбедена од производствените капацитети на ЗК Пелагонија – Битола, од жетвата во 2020 година. Врз основа на добиените резултати од направените испитувања, можат да се извлечат следните заклучоци:

Од направените хемиски анализи на примероците пченица (*Triticum aestivum* L.), со цел одредување на нејзиниот **природен квалитативен состав** утврдено е дека:

- Во **контролните (нетретирани) примероци** пченица најголема процентуална застапеност имаат јаглехидратите и тоа 64,65 %, вкупните протеини се застапени 10,52 %, масите 1,33 %, диететските влакна 12,42 %, процентот на влага изнесува 9,616 %, процентот на пепел е 1,47 % додека присутниот песок е застапен со 0,05 %. Според овие испитувани параметри, контролните примероци ОДГОВАРААТ на барањата во Правилникот за квалитетот на житата, мелничките и пекарските производи (Сл 57/88 член 9-22);

Од направените **хемиски анализи** за испитување на ефектите на јонизирачкото зрачење врз квалитативниот состав на пченицата донесени се следните заклучоци:

- Во примероците пченица третирани со јонизирачко зрачење со доза од **0,2 kGy** јаглехидратите се застапени 64,34 %, вкупните протеини 10,8 %, масите 1,39 %, диететските влакна 12,4 %, влагата изнесува 9,68 %, пепелот 1,39 %, а песокот 0,048 %. Согласно добиените резултати овие примероци ОДГОВАРААТ на барањата на Правилникот за квалитетот на житата, мелничките и пекарските производи (Сл 57/88 член 9-22);

- Во примероците пченица третирани со јонизирачко зрачење со доза од **0,5 kGy** утврдени се следните вредности за испитуваните параметри: јаглехидрати има 64,65 %, вкупни протеини 10,52 %, масти 1,31 %, диететски влакна 12,45 %, влага 9,65 %, пепел 1,42 % и песок 0,049 %. Во однос на овие резултати и овие примероци пченица ОДГОВАРААТ на барањата на Правилникот за квалитетот на житата, мелничките и пекарските производи (Сл 57/88 член 9-22);
- Во примероците пченица третирани со јонизирачко зрачење со доза од **1 kGy**, утврдени се следните вредности за испитуваните параметри: јаглехидратите се 65,14 %, вкупни протеини има 10,04 %, масти 1,37 %, диететски влакна 12,39 %, влага 9,65 %, пепел 1,41 %, а песок 0,048 %. Според добиените резултати и овие примероци ОДГОВАРААТ на барањата на Правилникот за квалитетот на житата, мелничките и пекарските производи (Сл 57/88 член 9-22);
- Во примероците пченица третирани со јонизирачко зрачење со доза од **5 kGy** јаглехидратите се присутни со 65,19 %, вкупни протеини има 10,08 %, масите се застапени со 1,34 %, диететските влакна со 12,3 %, влагата изнесува 9,69 %, пепелот 1,4 %, а песокот 0,05 %. И овие примероци врз основа на добиените резултати ОДГОВАРААТ на барањата на Правилникот за квалитетот на житата, мелничките и пекарските производи (Сл 57/88 член 9-22);
- Во примероците кои се третирани со јонизирачко зрачење со доза од **10 kGy**, јаглехидратите се застапени со 64,94 %, протеините со 10,1 %, масите со 1,39 %, диететските влакна се 12,4 %, влага има 9,78 %, пепел 1,39 %, а песок 0,048 %. Според овие добиени резултати и овие примероци ОДГОВАРААТ на барањата на Правилникот за квалитетот на житата, мелничките и пекарските производи (Сл 57/88 член 9-22);
- Со статистичка обработка на добиените хемиски резултати е констатирано дека **не се воочливи статистички значајни разлики** во вредностите на испитуваните параметри во примероците пченица (*Triticum aestivum* L.) третирани со јонизирачко зрачење со различна вредност на дозата (0,2 kGy, 0,5 kGy, 1 kGy, 5 kGy и 10 kGy) и нетретираниот (контролен) примерок, веднаш

после направеното третирање на примероците. Тоа значи дека не постои статистичка значајност односно сигнификантност и не се детектираат настанати промени во квалитативниот состав на пченицата. Според тоа утврдено е дека дозите на јонизирачко зрачење со вредности од 0,2 kGy, 0,5 kGy, 1 kGy, 5 kGy и 10 kGy не предизвикуваат промени во квалитативниот состав на пченицата во поглед на нејзините квалитативни параметри пропишани со Правилникот за квалитетот на житата, мелничките и пекарските производи (Сл 57/88 член 9-22).

Од направените **физички анализи** на испитуваните примероци донесени се следните заклучоци:

- Со методите фотостимулирана луминисценција и термолуминисценција, а врз основа на добиените вредности за луминцентниот сигнал, потврдено е дека контролните примероци не се третирани со јонизирачко зрачење;
- Врз основа на добиените вредности за луминцентниот сигнал кај примероците пченица третирани со јонизирачко зрачење со доза со вредност од 0,2 kGy, со методот фотостимулирана луминисценција се добиваат неодредени (“intermediate”) резултати. Потврда дека овие примероци биле третирани со јонизирачко зрачење, не може со сигурност да се направи ниту со методот на термолуминисценција, па според тоа, за тестирање вакви исклучително ниски дози на јонизирачко зрачење се потребни други, поосетливи дијагностички методи;
- Врз основа на добиените вредности за луминцентниот сигнал кај примероците пченица третирани со доза со вредност од 0,5 kGy, со методот фотостимулирана луминисценција се добиваат несигурни т.е неодредени (“intermediate”) резултати. Овие примероци успешно се докажуваат со методот на термолуминисценција, кој дава поверодостојни потврдни резултати за оваа доза на јонизирачко зрачење;
- Врз основа на добиените вредности за луминцентниот сигнал, третирањето на примероците пченица со дози со вредност од 1 kGy, 5 kGy и 10 kGy успешно и

ефикасно се докажува со методот фотостимулирана луминисценција. Поради тоа, за докажување на овие дози на зрачење не се потребни други посложени дијагностички методи;

- Генерално може да се заклучи дека третирањето на пченицата со многу ниски дози на јонизирачко зрачење од 0,2 kGy и 0,5 kGy тешко се докажува со методите фотостимулирана луминисценција и термолуминисценција, па за потврда на вакви исклучително ниски дози, потребни се други, поосетливи дијагностички методи. За дозите со вредност од 1 kGy, 5 kGy и 10 kGy методот фотостимулирана луминисценција е сосема погоден и може да е прв избор за нивно докажување.

Од направените хемиски анализи на примероците пченица (*Triticum aestivum* L.) со цел одредување на нејзиниот природен **квалитативен состав во корелација со стареењето на примероците**, утврдено е дека:

- Во контролните (нетретирани) примероци пченица најголема процентуална застапеност имаат јаглехидратите 63,7 %, вредностите на вкупните протеини изнесуваат 10,42 %, масите се застапени 1,32 %, диететските влакна 12,35 %, процентот на влага изнесува 10,81 %, процентот на пепел е 1,4 % додека присутниот песок е 0,05 %. Според овие вредности контролните примероци и после деветмесечно складирање ОДГОВАРААТ на барањата од Правилникот за квалитетот на житата, мелничките и пекарските производи (Сл 57/88 член 9-22);

Од испитувањата на **влијанието на јонизирачкото зрачење врз квалитативниот состав на пченицата во корелација од стареењето на примероците**, донесени се следните заклучоци:

- Во примероците пченица третирани со јонизирачко зрачење со доза од **0,2 kGy, после деветмесечно складирање**, испитуваните параметри ги имаат следните вредности: јаглехидрати 64,11 %, вкупни протеини 10,33 %, масти 1,39 %, диететски влакна 12,39 %, влага 10,34 %, пепел 1,44 % и песок 0,049 %.

Согласно добиените резултати овие примероци ОДГОВАРААТ на барањата на

Правилникот за квалитетот на житата, мелничките и пекарските производи (Сл 57/88 член 9-22);

- Во примероците пченица третирани со јонизирачко зрачење со доза од **0,5 kGy** после деветмесечно складирање, утврдени се следните вредности за испитуваните параметри: јаглехидрати има 64,32 %, вкупни протеини 10,4 %, масти 1,36 %, диететските влакна се застапени 12,41 %, влагата изнесува 10,21 %, пепелот 1,3 %, а песокот 0,05 %. Во однос на овие резултати, овие примероци пченица ОДГОВАРААТ на барањата на Правилникот за квалитетот на житата, мелничките и пекарските производи (Сл 57/88 член 9-22);
- Во примероците пченица третирани со јонизирачко зрачење со доза од **1 kGy** после деветмесечно складирање јаглехидратите се застапени 64,32 %, вкупни протеини има 10,31 %, масти 1,31 %, диететски влакна 12,41 %, влага 10,32 %, пепел 1,33 % и песок 0,048 %. Според добиените резултати и овие примероци ОДГОВАРААТ на барањата на Правилникот за квалитетот на житата, мелничките и пекарските производи (Сл 57/88 член 9-22);
- Во примероците пченица третирани со јонизирачко зрачење со доза од **5 kGy**, после деветмесечно складирање јаглехидратите се присутни со 64,83 %, вкупни протеини има 10,14 %, масите се застапени 1,3 %, диететските влакна се јавуваат со 12,35 %, влагата изнесува 10,05 %, пепелот 1,33 % и песокот 0,05 %. И овие примероци врз основа на добиените резултати ОДГОВАРААТ на барањата на Правилникот за квалитетот на житата, мелничките и пекарските производи (Сл 57/88 член 9-22);
- Во примероците пченица кои се третирани со јонизирачко зрачење со доза од **10 kGy**, после деветмесечно складирање, јаглехидратите се застапени 64,55 %, протеините 10,33 %, масите 1,4 %, диететските влакна се јавуваат со 12,43 %, влага има 10,00 %, пепел 1,29 %, а песок 0,049 %. Според овие добиени резултати и овие примероци ОДГОВАРААТ на барањата на Правилникот за квалитетот на житата, мелничките и пекарските производи (Сл 57/88 член 9-22);

- Со статистичка обработка на добиените резултати од анализите на примероците пченица складирани за период од девет месеци после третирањето со јонизирачко зрачење, не се констатирани статистички значајни разлики во вредностите на испитуваните параметри во однос на нетретираниот (контролен) примерок. Ова покажува дека **не постои статистичка значајност односно сигнификантност на промените на квалитативните параметри на пченицата од аспект на стареењето на примероците.**

Од испитувањата на **промените на одделните квалитативни параметри** во примероците пченица **во зависност од стареењето на примероците**, констатирани се следните заклучоци:

- Утврдено е сигнификантно намалување на количеството на јаглехидрати, т.е нивен значителен губиток во пченичните зрна во корелација со стареењето на примероците. Ова е утврдено врз основа на добиената вредност на факторот за сигнификантност ($p=0,016582$), која е пониска од граничната вредност ($p\leq 0,05$) и покажува статистички сигнификантни промени во вредностите на јаглехидратите во двете последователни одредувања;
- Не се утврдени сигнификантни промени во вредностите на вкупните протеини во зависност од стареењето на примероците, бидејќи вредноста на факторот за статистичка сигнификантност на нивните разлики изнесува $p=0,853364$ и е повисока од неговата гранична вредност ($p\leq 0,05$);
- Не се утврдени сигнификантни промени во вредностите на масите во зависност од стареењето на примероците, бидејќи вредноста на факторот за сигнификантност во овој случај изнесува $p=0,620321$ и е повисока од неговата гранична вредност ($p\leq 0,05$);
- Не се утврдени сигнификантни промени во вредностите на диететските влакна во зависност од стареењето на примероците бидејќи вредноста на факторот за сигнификантност изнесува $p=0,999999$ и е значително повисока од неговата гранична вредност ($p\leq 0,05$);

- Утврдени се статистички сигнификантни разлики во однос на параметарот влага во зависност од стареењето на примероците, што се потврдува со добиената вредност на факторот за статистичка сигнификантност, која во овој случај изнесува $p=0,01690$ и е значително пониска од граничната вредност ($p\leq 0,05$);
- Утврдени се слаби сигнификантни разлики за вредноста на пепелот во зависност од стареењето на примероците, бидејќи добиената вредност на факторот за статистичка сигнификантност изнесува $p=0,044229$ и е нешто пониска од граничната вредност за сигнификантност ($p\leq 0,05$);
- Генерално, може да се констатира дека не постои статистичка сигнификантност во однос на разликите во процентуалната застапеност на протеините, мастите и диететските влакна во корелација со стареењето на примероците. Статистички сигнификантни разлики се забележани во процентуалната застапеност на јаглехидратите, влагата и пепелот во корелација со стареењето на примероците.

Од резултатите добиени од испитувањата на **поважните органолептички особини** на пченицата може да се извлечат следните заклучоци:

- Не е констатирана промена во изгледот на зрната кај испитуваните примероци третирани со јонизирачко зрачење со различна вредност на дозата (0,2 kGy, 0,5 kGy, 1 kGy, 5 kGy и 10 kGy), ниту при нивна меѓусебна споредба, ниту во однос на контролниот (нетретиран) примерок. Според тоа изгледот на сите примероци пченица е оценет како СВОЈСТВЕН НА ВИДОТ;
- Не е констатирана промена во бојата кај испитуваните примероци пченица третирани со јонизирачко зрачење со различна вредност на дозата (0,2 kGy, 0,5 kGy, 1 kGy, 5 kGy и 10 kGy), ниту при нивна меѓусебна споредба, ниту во однос на контролниот (нетретиран) примерок. Врз основа на тоа, бојата на сите примероци пченица е оценета како СВОЈСТВЕНА НА ВИДОТ;
- Не е констатирана промена во мирисот на испитуваните примероци пченица третирани со јонизирачко зрачење со различна вредност на дозата (0,2 kGy, 0,5

kGy, 1 kGy, 5 kGy и 10 kGy), ниту при нивна меѓусебна споредба, ниту во однос на контролниот (нетретиран) примерок. Притоа, мирисот на испитуваните примероци е оценет како СВОЈСТВЕН НА ВИДОТ.

Од извршените **микробиолошки испитувања**, може да се извлечат следните заклучоци:

- Микробиолошката флора на контролните (нетретирани) примероци пченица (*Triticum aestivum* L.) е претставена со видот *Bacillus cereus*, видови од фамилијата *Enterobacteriaceae* и присутни соеви на *квасци и мувли*. Во ниту еден од испитувани контролни примероци не е детектирано присуство на видови од родот *Salmonella*, видовите *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli* и *Clostridium perfringens*. На овој начин, добиените резултати со во целосна согласност со Правилникот за посебните барања за безбедност на храната по однос на микробиолошки критериуми (Службен весник бр.100/2013, член 2.6.1), според кој соевите кои се детектирани во испитуваните примероци се нормално присутни во пченицата (*Triticum aestivum* L.);
- Според бројноста на детектираните микроорганизми, утврдено е дека во контролниот (нетретиран) примерок, *вкупниот број на микроорганизми* изнесува 32 000 CFU/g (4.5 log CFU/g), *Bacillus cereus* е застапен со 2500 CFU/g (3.39 log CFU/g), *Enterobacteriaceae* се присутни со 3900 CFU/g (3.59 log CFU/g), додека *квасците и мувлите* имаат бројност од 35 000 CFU/g (4.54 log CFU/g). Според овие резултати, а во согласност со микробиолошките критериуми за житариците од горенаведениот Правилник, контролниот примерок е оценет како ПРИФАТЛИВ во однос на микроорганизмите кои се присутни во него.

Од резултатите добиени за испитување на **ефектот на јонизирачкото зрачење врз детерминираниите соеви на микроорганизми** може да се извлечат следните заклучоци:

- Во примерокот пченица третиран со јонизирачко зрачење со вредност на дозата од **0,2 kGy**, *вкупниот број на микроорганизми* изнесува 25 000 CFU/g (4.39 log

CFU/g), *Bacillus cereus* е застапен со 1000 CFU/g (3.17 log CFU/g), *Enterobacteriaceae* се присутни со 2500 CFU/g (3.39 log CFU/g), додека за *квасците и мувлите* добиена е вредност од 21 000 CFU/g (4.32 log CFU/g). Според овие резултати, а во согласност со микробиолошките критериуми за житариците, овој примерок е оценет како ПРИФАТЛИВ во однос на микроорганизмите кои се присутни во него;

- Во примерокот пченица третирана со јонизирачко зрачење со вредност на дозата од **0,5 kGy**, *вкупниот број на микроорганизми* изнесува 15 000 CFU/g (4.17 log CFU/g), *Bacillus cereus* е застапен со 200 CFU/g (2.3 log CFU/g), *Enterobacteriaceae* се присутни со 1200 CFU/g (3.07 log CFU/g), додека за *квасците и мувлите* добиена е вредност од 8000 CFU/g (3.9 log CFU/g). Според овие резултати, а во согласност со микробиолошките критериуми за житариците, овој примерок е оценет како ЗАДОВОЛИТЕЛЕН во однос на микроорганизмите кои се присутни во него;
- Во примерокот пченица третиран со јонизирачко зрачење со вредност на дозата од **1 kGy**, *вкупниот број на микроорганизми* изнесува 8 000 CFU/g (3.9 log CFU/g), *Bacillus cereus* не е детектиран, *Enterobacteriaceae* се присутни со 800 CFU/g (2.9 log CFU/g), додека за *квасците и мувлите* е добиена вредност од 5000 CFU/g (3.69 log CFU/g). Според овие резултати, а во согласност со микробиолошките критериуми за житариците, овој примерок е оценет како ЗАДОВОЛИТЕЛЕН во однос на микроорганизмите кои се присутни во него;
- Во примерокот пченица третиран со јонизирачко зрачење со вредност на дозата од **5 kGy**, *вкупниот број на микроорганизми* изнесува 800 CFU/g (2.9 log CFU/g), *Bacillus cereus* не е детектиран, *Enterobacteriaceae* не се детектирани, додека за *квасците и мувлите* добиена е вредност од 1000 CFU/g (3.0 log CFU/g). Според овие резултати, а во согласност со микробиолошките критериуми за житариците, овој примерок е оценет како ЗАДОВОЛИТЕЛЕН во однос на микроорганизмите кои се присутни во него;

- Во примерокот пченица третиран со јонизирачко зрачење со вредност на дозата од **10 kGy**, не се детектирани колонии на микроорганизми;
- Врз основа на статистичката обработка на вредностите од испитуваните микробиолошки параметри, констатирано е дека разликите во бројноста на детектираните микроорганизми помеѓу контролниот (нетретиран) примерок и примероците пченица третирана со јонизирачко зрачење со различна вредност на дозата (0,2 kGy, 0,5 kGy, 1 kGy, 5 kGy и 10 kGy) се статистички сигнификантни. Тоа значи дека **разликите во бројот на микроорганизми се директно поврзани и предизвикани од дејството на јонизирачкото зрачење и се во корелација со дозата на зрачење.**

Од испитувањата на **влијанието на јонизирачкото зрачење врз одделните микроорганизми** детектирани во пченицата, може да се извлечат следните заклучоци:

- Утврдена е редукција на *вкупниот број на микроорганизми* во примероците третирана со јонизирачко зрачење, во корелација со зголемување на дозата на зрачење. Притоа, *вкупниот број на микроорганизми* во контролниот примерок изнесува 4.5 log CFU/g, при доза од 5 kGy е намален на 2.9 log CFU/g, додека при доза од 10 kGy, колонии на микроорганизми не се детектирани;
- Утврдена е редукција на бројноста на *Bacillus cereus* од 3.39 log CFU/g во контролниот (нетретиран) примерок, на 2.3 log CFU/g при доза од 0,5 kGy, додека при дози од 1 kGy, 5 kGy и 10 kGy негови колонии не се детектирани;
- Утврдена е редукција на бројноста на фамилијата *Enterobacteriaceae* и тоа од 3.59 log CFU/g во контролниот (нетретиран) примерок, на 2.9 log CFU/g при доза од 1 kGy, додека при дози од 5 kGy и 10 kGy истите не се детектирани;
- Утврдена е редукција на бројноста на *квасците и мувлите* од почетните 4.54 log CFU/g во контролниот (нетретиран) примерок, на 3 log CFU/g при доза од 5 kGy, додека при доза од 10 kGy истите не се детектирани;

- Доколку се сублимираат резултатите добиени од микробиолошките анализи направени после третирањето на примероците пченица со јонизирачко зрачење, може да се констатира дека **кај сите детектирани микроорганизми постои редуција во бројот на колонии, која се зголемува паралелно со зголемување на дозата на зрачење.** Притоа, при доза од 10 kGy не е утврдено присуство на ниту еден од детектираните видови микроорганизми во пченицата.

Од испитувањата на **микробиолошките параметри на пченицата во корелација со стареењето на примероците**, може да се изведат следните заклучоци:

- Микробиолошка флора во контролните (нетретирани) примероци пченица (*Triticum aestivum* L.), после деветмесечен период на нејзино складирање е претставена со истите видови микророганизми кои се детектирани и при првото одредување (*Bacillus cereus*, *Enterobacteriaceae* и соеви на *квасци и мувли*). Повторно во ниту еден од испитуваните примероци не е детектиран родот *Salmonella*, видовите *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli* и *Clostridium perfringens*;
- Во поглед на бројноста на детектираните микроорганизми, утврдено е дека во контролниот (нетретирани) примерок, после деветмесечно складирање, *вкупниот број на микроорганизми* изнесува 30 000 CFU/g (4.47 log CFU/g), *Bacillus cereus* е застапен со 2000 CFU/g (3.3 log CFU/g), *Enterobacteriaceae* се присутни со 2000 CFU/g (3.3 log CFU/g), додека за *квасците и мувите* е добиена вредност од 5 000 CFU/g (3.69 log CFU/g). Според овие резултати, а во согласност со микробиолошките критериуми за житариците, контролниот примерок е оценет како ПРИФАТЛИВ во однос на микроорганизмите кои се присутни во него.

Од резултатите добиени за испитување на **ефектот на јонизирачкото зрачење врз детерминираниот соев на микроорганизми во корелација со стареењето на примероците**, може да се извлечат следните заклучоци:

- Во примерокот пченица третиран со јонизирачко зрачење со вредност на дозата од **0,2 kGy**, после девет месеци од третирањето, *вкупниот број на микроорганизми* изнесува 8000 CFU/g (3.9 log CFU/g), *Bacillus cereus* не е детектиран, *Enterobacteriaceae* се присутни со 1600 CFU/g (3.2 log CFU/g), додека за *квасците и мувлите* добиена е вредност од 3200 CFU/g (3.5 log CFU/g). Според овие резултати, а во согласност со микробиолошките критериуми за житариците, овој примерок е ЗАДОВОЛИТЕЛЕН во однос на микроорганизмите кои се присутни во него;
- Во примерокот пченица третиран со јонизирачко зрачење со вредност на дозата од **0,5 kGy**, после девет месеци од третирањето, *вкупниот број на микроорганизми* изнесува 5000 CFU/g (3.69 log CFU/g), *Bacillus cereus* не е детектиран, *Enterobacteriaceae* се присутни со 600 CFU/g (2.77 log CFU/g), додека за *квасците и мувлите* е добиена вредност од 2400 CFU/g (3.38 log CFU/g). Според овие резултати, а во согласност со микробиолошките критериуми за житариците, и овој примерок е ЗАДОВОЛИТЕЛЕН во однос на микроорганизмите кои се присутни во него;
- Во примерокот пченица третиран со јонизирачко зрачење со вредност на дозата од **1 kGy**, после девет месеци од третирањето, *вкупниот број на микроорганизми* изнесува 3000 CFU/g (3.47 log CFU/g), *Bacillus cereus* не е детектиран, *Enterobacteriaceae* се присутни со 320 CFU/g (2.5 log CFU/g), додека *квасците и мувлите* се со вредност од 1400 CFU/g (3.14 log CFU/g). Според овие резултати, а во согласност со микробиолошките критериуми за житариците, овој примерок е ЗАДОВОЛИТЕЛЕН во однос на микроорганизмите кои се присутни во него;
- Во примерокот пченица третиран со јонизирачко зрачење со вредност на дозата од **5 kGy**, после девет месеци од третирањето, *вкупниот број на микроорганизми* изнесува 0 CFU/g, *Bacillus cereus* не е детектиран, *Enterobacteriaceae* не се детектирани, додека за *квасците и мувлите* е добиена вредност од 200 CFU/g (2.3 log CFU/g). Според овие резултати, а во согласност

со микробиолошките критериуми за житариците, овој примерок е **ЗАДОВОЛИТЕЛЕН** во однос на микроорганизмите кои се присутни во него;

- Во примерокот пченица третиран со јонизирачко зрачење со вредност на дозата од **10 kGy**, после девет месеци од третирањето, *вкупниот број на микроорганизми* изнесува 0 CFU/g, додека *Bacillus cereus*, *Enterobacteriaceae* и *квасци и мувли* не се детектирани. Според тоа, а во согласност со микробиолошките критериуми за житариците, овој примерок оценет како **ЗАДОВОЛИТЕЛЕН**;
- Со статистичката обработка на вредностите од микробиолошките параметри добиени после деветмесечно складирање на примероците пченица, констатирано е дека разликите во бројноста на детектираните микроорганизми помеѓу контролниот (нетретиран) примерок и примероците пченица третирани со јонизирачко зрачење со различна вредност на дозата (0,2 kGy; 0,5 kGy; 1 kGy, 5 kGy и 10 kGy) се статистички сигнификантни. Тоа значи дека **разликите во бројот на присутните микроорганизми, после деветмесечно складирање, се директно поврзани со дејството на јонизирачкото зрачење и се во корелација со дозата на зрачење**. Со тоа се потврдува долготрајноста на ефектите на јонизирачкото зрачење во однос на микробиолошката безбедност на храната.

Од испитувањата на **разликите во бројноста на детектираните микроорганизми во двете последователни одредувања**, може да се извлечат следните заклучоци:

- Не постојат статистички значајни разлики во *вкупниот број на микроорганизми* во двете последователни одредувања, што се потврдува со добиената вредност на факторот за сигнификантност $p=0,165811$, која е поголема од граничната вредност ($p \leq 0,05$);

- Не постојат статистички значајни разлики во бројноста на *Bacillus cereus* во двете последователни одредувања, поради добиената вредност на факторот за сигнификантност $p=0,172788$, која е поголема од граничната вредност ($p \leq 0,05$);
- Постојат статистички значајни разлики во бројноста на фамилијата *Enterobacteriaceae* во двете последователни одредувања, што се потврдува со вредноста на факторот за сигнификантност $p=0,033858$, која е пониска од граничната вредност ($p \leq 0,05$);
- Постојат статистички сигнификантни разлики во бројноста на *квасците и мувлите* во двете последователни одредувања, што се потврдува со добиената вредност на факторот за сигнификантност $p=0,0063602$, која е значително помала од неговата граничната вредност ($p \leq 0,05$);
- Генерално може да се заклучи дека јонизирачкото зрачење има продолжен ефект врз бројноста на детектираните видови микроорганизми, што се потврдува со сигнификантните разлики во поглед на нивната застапеност во испитуваните примероци во двете последователни одредувања. Утврдено е **континуирано намалување во бројноста на сите детектирани видови микроорганизми, во зависност од дозата на зрачење**. Истовремено, после деветмесечно складирање на примероците пченица, при доза од 5 kGy, детектирани се само *квасци и мувли*, додека при доза од 10 kGy, не е забележан микробиолошки раст во ниту еден од испитуваните примероци.

Од направените испитувања **на ефектот на јонизирачкото зрачење врз присутните афлатоксини** во пченицата, може да се извлечат следните заклучоци:

- Во контролните (нетретирани) примероци, измерени се концентрации на афлатоксини со средна вредност од 3,85 ppb. Овие вредности се во рамките на дозволените концентрации за афлатоксини во сите жита и сите производи кои произлегуваат од жита, според: Службен весник бр. 118 (30.12.2005), Правилникот за општите барања за безбедност на храната (Член 29), како и според Службен весник бр. 175 (19.09.2018). Истовремено, овие вредности се во

рамките на максимално дозволените вредности според Европската регулатива (ЕС, 2006) и се доста пониски од максимално дозволените вредности од страна на FDA (2021);

- Најголема средна вредност на вкупните афлатоксини во испитуваните примероци пченица има кај нетретираниот (контролен) примерок (3,875 ppb), а најмала средна вредност има кај примерокот третиран со вредност на дозата од 10 kGy (1,55 ppb);
- Статистички е утврдено дека нема разлика во вредностите на вкупните афлатоксини после период од деветмесечно складирање на примероците, преку споредба на пресметаната вредност за нивните разлики ($p=0,190036$) и граничната вредност ($p\leq 0,05$);
- Воочливо е континуирано намалување на вредностите на вкупните афлатоксини паралелно со зголемување на дозата на зрачење, при што е забележливо нивно сигнификантно намалување при високи дози на јонизирачко зрачење. Притоа, нивната редукција при доза од 5 kGy изнесува 40 %, додека при доза од 10 kGy истата изнесува 48 %;
- Генерално може да се констатира дека иако **јонизирачкото зрачење не ги уништува целосно афлатоксините** како токсични метаболити во пченицата, сепак **значително влијае на нивната редукција** и може успешно да се применува за ваква намена;
- Резултатите од истражувањата во овој докторски труд се само дел од комплексните истражувања кои треба да се реализираат на ова поле. Имајќи ја предвид перспективата на јонизирачкото зрачење во поглед на одржувањето на безбедноста на храната, вакви истражувања би требало да се применат и врз други видови храна. На тој начин би се добила целосна слика за сите предности на оваа технологија во корист на човековото здравје.

8. КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

1. Adam, S. (1983). Recent developments in radiation chemistry of carbohydrates. In: Recent advances in food irradiation (P.S. Elias and A.J. Cohen, Eds.), Elsevier Biomedical Press, Amsterdam, The Netherlands, 149-170.
2. Adrovic, F. (2012). Gamma radiation. In Tech, Croatia.(eds)
3. Ahn, D. U., Jo, C and Olson, D. G. (2000). Analysis of volatile components and sensory characteristics of irradiated raw pork. Iowa State University. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.598.6930&rep=rep1&type=pdf> (Пристемено на 8.8.2021)
4. Akueche, E. C., Toba, A. S., Iyenebowa, H. B and Doris, K. (2012). Studies on fungal load, total aflatoxins and ochratoxin A contents of gamma-irradiated and non-irradiated *Sesamum indicum* Grains from Abuja Markets, Nigeria. Kasetart J. (Nat. Sci.) 46,371-382
5. Al-Assaf, S., Gulrez, S. K. H., *et al.* (2016). Radiation modification of polysaccharides. In: The radiation chemistry of polysaccharides. IAEA, 2016 (77-115)
6. Alijošius, S., Švirmickas, G. J., Bliznikas, S., Gružauskas, R., Šaušyte, V., Racevičiūtė-stupelienė, A., Kliševičiūtė, V and Daukšienė, A. (2016). Grain chemical composition of different varieties of winter cereals. Zemdirbyste-Agriculture, vol. 103, No. 3 (2016), 273–280
7. Amir, R. M. *et al.* (2019). Comprehensive assessment and evaluation of selected wheat varieties for their relationship to chapatti quality attributes. Food Sci. Technol, Campinas, 40 (Suppl.2), 436-443
8. Anon. (1993). Report and recommendations of a working group, in *Cost-benefit Aspects of Food Irradiation Processing*. Proceedings of an IAEA/FAO/WHO International Symposium, Aix-en-Provence, 481
9. Anon. (1995). Irradiation in the production, processing and handling of food. *Federal Register* 60, 12,669-12,670.
10. Araujo, M. M., Marin-Huachaca, N. S., Mancini-Filho, J., Delince'e, H. and Villavicencio, A. L. C. H. (2004). Identification of irradiated refrigerated pork with the DNA comet assay. Radiation Physics and Chemistry 71 (2004), 183–185

11. Arvanitoyannis, I. S. (2010). Irradiation of food commodities: techniques, applications, detection, legislation, safety and consumer opinion. First edition. Elsevier Inc. (eds)
12. Asghar, M. A., Ahmed, A., Iqbal, J., Zahir, E. and Nauman, H. (2015). Fungal flora and aflatoxin contamination in Pakistani wheat kernels (*Triticum aestivum* L.) and their attribution in seed germination. *Journal of Food and Drug Analysis*. Vol.24.Issue 3,635-643
13. Aziz, N. H., Souzan, R. M and Azza, A. S. (2006). Effect of gamma-irradiation on the occurrence of pathogenic microorganisms and nutritive value of four principal cereal grains. *Applied Radiation and Isotopes*. Volume 64, Issue 12, 1555-1562
14. Aziz, N. H and Mahrous, S. R. (2004). Effect of gamma-irradiation on aflatoxin B1 production by *Aspergillus flavus* and chemical composition of three crop seeds. *Food / Nahrung* 48(3), 234-8
15. Bashir, K and Aggarwal, M. (2016). Effects of gamma irradiation on cereals and pulses-A review. *International Journal of Recent Scientific Research*. Vol. 7, Issue, 14680-14686
16. Baydar, T., Engin, A. B., Girgin, G., Aydin, S, Sahin, G. (2005). Aflatoxin and ochratoxin in various types of commonly consumed retail ground samples in Ankara, Turkey. *Ann Agric Environ Med* 2005, 12, 193–197
17. Bennett, J. W and Klich, M. (2003). Mycotoxins. *CLINICAL MICROBIOLOGY REVIEWS*, 497–516
18. Berghofer, L. K., Hocking, A. D Miskelly, D and Jansson, E. (2003). Microbiology of wheat and flour milling in Australia. *International Journal of food microbiology*. Volume 85, Issues 1–2,137-149
19. Bhat, N. A., Wani, I. A., Hamdani, A and Masoodi, F. A. (2016). Physicochemical properties of whole wheat flour as affected by gamma irradiation. *LWT - Food Science and Technology* 71,175-183
20. Biel, W., Kazimierska, K and Bashutska, U. (2020). Nutritional value of wheat, triticale, barley and oat grains. *Acta Sci. Pol. Zootechnica* 19(2), 19–28
21. Bierman, E. L., Plough, I. C., Sellars, J. H., McGary, V. E., Nevels, E. M., Harding, R. S., Richmond, J and Bowman, B. O. (1958). Short-term human feeding studies of

- foods sterilized by gamma radiation and stored at room temperature. Country unknown/Code not available. Web.
22. Biliaderis C. G and Izydorczyk, M. S. (2007). *Functional food Carbohydrates*. CRC Press.
 23. Birck, N. M. M., Lorini, I., Scussel, V. M. (2006). Fungus and mycotoxins in wheat grain at post harvest. 9th International Working Conference on Stored Product Protection
 24. Błaszczak, W., Gralik, J., Klockiewicz-Kamińska, E., Fornal, J., Warchalewski, JR. (2002). Effect of gamma-radiation and microwave heating on endosperm microstructure in relation to some technological properties of wheat grain. *Nahrung*.46(2):122-9.
 25. Bullerman, L. B and Bianchini, A. (2009). Food safety issues and the microbiology of cereals 532 and cereal products. In Heredia, N., Wesley, I. and Garcia, S. (Eds.), *Microbiologically Safe Foods*, 315–335. New York, USA: John Wiley & Sons
 26. Buriro, M., *et al.* (2012). Impact of storage sources on physicochemical properties of various wheat varieties. *Sarhad J.Agric.* Vol.28, 185-190. No.2, 2012
 27. CAC (1995). Codex Alimentarius International Food Standards. Standard for wheat and durum wheat. CXS 199-1995.
 28. CAC (2003). Codex Alimentarius Commission. General Standard for Irradiated Foods (CODEX STAN 106-1983, Rev.1-2003). Codex Alimentarius, FAO/WHO
 29. Calado, T., Fernández-Cruz, M. L., Cabo Verde, S., Venâncio, A and Abrunhosa, L. (2018). Gamma irradiation effects on ochratoxin A: degradation, cytotoxicity and application in food. *Food Chem.* 240, 463–471.
 30. CAST (Council for Agricultural Science and Technology) (1989). *Ionizing Energy in Food Processing and Pest Control: II. Applications*. Ames, Iowa: Council for Agriculture Science and Technology, 1989:72-76. Task Force Report, No.115
 31. CAST (Council for Agricultural Science and Technology) (2003). *Mycotoxins: Risk in plant, animal and human systems*. Ames, Iowa. USA. P. 105–210
 32. Cerda, H., Delinc'e, H., Haine, H and Rupp, H. (1997). The DNA 'comet assay' as a rapid screening technique to control irradiated food. *Mutation Research* 375 (1997),167–181

33. Champagne, J. R. and Nawar, W. W. (1969). The Volatile Components of Irradiated Beef and Pork Fats. *Journal of food science*. Vol.34. No.4,335-340
34. Chantharasakul, S. (1971). Effect of irradiation on carbohydrates content. https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/25/055/25055176.pdf
(пристапено на 25.07.2020)
35. Chattha, S. H., Hasfalina, C. M., Mahadi, M. R., Mirani, B. N and Lee, T. S. (2015). Quality change of wheat grain during storage in a ferrocement bin. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*. Vol. 10, No. 8, 313-323
36. Chauhan, S. K., Kumar, R., Nadanasabapathy, S and Bawa, A. S. (2009). Detection Methods for Irradiated Foods. *COMPREHENSIVE REVIEWS IN FOOD SCIENCE AND FOOD SAFETY—Vol. 8*, 4-16
37. CieSla, K., Roos, Y and Gluszewski, W. (2000). Denaturation processes in gamma irradiated proteins by differential scanning calorimetry. *Radiation Physics and Chemistry*. Vol.58. Iss.3,233-243
38. Citrubins, M., Delincee, H., Stahl, M. R and Schaller, H. J. (2005). Detection methods for cereal grains treated with low and high energy electrons. *Radiation Physics and Chemistry* 72(5):639-644
39. COMMISSION REGULATION (EU) No 165/2010. Official Journal of the European Union.
40. Cottee, J., Kunstadt, P and Fraser, F. (1995). Commercialization of food irradiation in the USA. *Radiat. Phys.Chem.* Vol.46, No,4-6, 669-672
41. Daly, M. J. (2012). Death by protein damage in irradiated cells. *DNA Repair* 11 (2012), 12-21
42. da Silva Aquino, K. A. (2012). Sterilization by Gamma Irradiation. In: *Gamma Radiation*, Prof. Feriz Adrovic (Ed.), InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/gammaradiation/sterilization-by-gamma-irradiation>
(пристапено на 18.јуни.2021)
43. Dauphin, J. F., Saint-Lebe, L. R. and Cohen, A. J. (Ed.). (1977). *Radiation chemistry of carbohydrates*, ch 5. Netherlands: Elsevier/North-Holland Biomedical Press.
44. Daou, R., Joubrane, K., Khabbaz, L. R., Maroun, R. G., Ismail, A. and El Khoury A. (2021). Aflatoxin B₁ and ochratoxin A in imported and Lebanese wheat and – products. *Food Addit Contam Part B Surveill.* 14(3):227-235.

45. De Groot, A. P., van der Mijll Dekker, L. P., Slump, P., Vos, H. J. and Willems, J. J. L. (1972). Composition and nutritive value of radiation-pasteurized chicken. Rept. No. R3787. Central Inst. for Nutr. and Food Res. The Netherlands.
46. Delincee, H. (1983a). Recent advances in radiation chemistry of lipids. In: *Recent Advances in Food Irradiation*. (eds P.S. Elias & A.J. Cohen). 89–114. Elsevier Biomedical Press, Amsterdam
47. Delincee, H. (1983b). Recent advances in radiation chemistry of proteins. In: *Recent Advances in Food Irradiation*. (eds P.S. Elias & A.J. Cohen). 129–147. Elsevier Biomedical Press, Amsterdam
48. Derr, D. D. (1996). Progress of food irradiation in the United States. *Radat. Phys. Chem.* Vol. 48, No. 3, 362-363
49. Diehl, J. H. (1967). Combined effects of irradiation, storage, and cooking on the vitamin E and B1 levels of foods. *Food Irradiation*, Vol. 10, N° 2-7, 1967
50. Diehl, J. F., Adam, S., Declincee, H and Jakubick, V. (1978). Radiolysis of carbohydrates and carbohydrate-containing foodstuffs. *J.Agric.Food.Chem.* 26(1):15-20
51. Diehl, J. H. (1979). Reduction of radiation-induced vitamin E- and B1- losses by irradiation of foodstuffs at low temperature and by exclusion of atmospheric oxygen. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung* volume 169, pp. 276–280
52. Diehl, J. F. (1979). Food irradiation. *Radiat.Phys.Chem.*Vol.14,117-125
53. Diehl, J. F. (1983). Radiolytic effects on foods, in *Preservation of Foods by Ionising Radiation*, Vol.1, (eds. E.S.Josephson and M.S. Peterson), CRC Press Inc. Boca Raton, Florida, 279-357
54. Diehl, J. F. (1990). *The safety of irradiated food*. New York and Basel, Marcel Dekker.
55. Diehl, J. F. (1991). Nutritional effects of combining irradiation with other treatments. *Food Control*, 2 (1), 20-25.
56. Diehl, J. F (1992). Food irradiation: is it an alternative to chemical preservatives? *Food Additives and Contaminants* 9, 409-416
57. Diehl, J. F. (1995). *Safety of Irradiated Foods* 2nd. Ed. Marcel Dekker Inc. NY p.310
58. Diehl, J. F. (2002). Food irradiation-past, present and future. *Radiat.Phys.Chem.*Vol.63, pp.211-215

59. D'Innocenzo, M and Lajolo, M. (2001). Effect of gamma irradiation on softening changes and enzyme activities during ripening of papaya. *Journal of Food Biochemistry*, 25, 425–438.
60. Directive 1999/2/EC of the European Parliament and of the Council, 1999. (1999)
61. Directive 1999/3/EC of the European Parliament and of the Council, 1999. (1999)
62. Dogan, A., Siyakus, G and Severcan, F. (2007). FTIR spectroscopic characterization of irradiated hazelnut (*Corylus avellana* L.). *Food Chemistry* 100,1106-1114.
63. Draganic, I. G and Draganic, Z. D. (1971). "Radiation Chemistry of Water" (Academic Press, New York)
64. Државен завод за статистика на Република Северна Македонија (ДЗС). Земјоделски површини и растително производство, 2019 година. http://www.stat.gov.mk/pdf/2020/5.1.20.03_mk.pdf (пристапено на 10.09.2020)
65. Dului, O. G, Ferdes, M and Ferdes, O. S, (2004). EPR study of some irradiated food enzymes. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 260, 273-277
66. Duke, J. A. (1983). *Triticum aestivum* L. Handbook of Energy Crops. Unpublished
67. Eglezos, C. (2010). Microbiological Quality of Wheat Grain and Flour from Two Mills in Queensland, Australia. *Journal of Food Protection*, Vol. 73, No. 8, 1533–1536
68. EFSA (2011). Scientific Opinion on the Chemical Safety of Irradiation of Food. *EFSA Journal* 2011;9 (4):1930
69. Ehlermann D.A.E. (1972). The possible identification of an irradiation treatment of fish by means of electrical (ac) resistance measurement. *J Food Sci* 37:501.
70. Elias, P. S and Cohen, A. J. (1977). Radiation chemistry of major food components: its relevance to the assessment of the wholesomeness of irradiated food. [Lead abstract]. Netherlands: N.p. Web.
71. Elias, P. S. (1980). The wholesomeness of irradiated food. *Ecotoxicology and environmental safety*. Vol.4, Issue 2,172-183
72. Elmadfa, I., Titz, A. M and Burger, M. P. (1999). *Expertengutachten zur lebensmittelsicherheit lebensmittelbestrahlung*. Institut für Ernährungswissenschaften der Universität Wien
73. El Mageed, M. A., Shaaban, A. H., Ibrahim, G. E., Mahmoud, K. A. and Osman, IF. (2014). Impact of γ -irradiation on the Aroma Volatiles, Antioxidant and Antimicrobial

- Activities of Black and White Pepper (*Piper nigrum* L.) Middle East Journal of Applied Sciences, 4(2): 262-276
74. Elmi, M. (2008). Food safety. Eastern Mediterranean Health Journal, Vol. 14, Special Issue S143. <http://www.emro.who.int/emhj-volume-14-2008/volume-14-supplement/food-safety.html> (пристапено на 20.август.2020)
75. El-Naggar, S. M and Mikhael, A. A. (2011). Disinfestation of stored wheat grain and flour using gamma rays and microwave heating. Journal of Stored Products Research, Volume 47, Issue 3, 191-196
76. Enas I. E. (2015). Influence of Gamma-Irradiation on the Physico-Chemical Properties of the tow Sudanese Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars. Dissertation.
77. Erkmén, O and Bozoglu, F. (2016). Food Preservation by Irradiation. In: *Food Microbiology: Principles into Practice*. First Edition, (Vol. 2, 7-10), John Wiley & Sons, Ltd. Published. Oxford.
78. EUROPEAN COMMISSION OF HEALTH and CONSUMER PROTECTION DIRECTORATE-GENERAL. (2003) Revision of the opinion of the Scientific Committee on Food on the irradiation of food. https://ec.europa.eu/food/system/files/2020-12/sci-com_scf_out193_en.pdf (пристапено на 12.07.2021)
79. Eustice, R. F. (2017). Global Status and Commercial Applications of Food Irradiation. Chapter 20, pp. 397-424. In: *Food Irradiation Technologies: Concepts, Applications and Outcomes*. Eds. Editors: Isabel C.F.R. Ferreira, Amílcar L. Antonio, Sandra Cabo Verde
80. FAO. General standard for irradiated foods. CODEX STAN 106-1983, Rev.1-2003.
81. Faltermaier, A., Maters, D., Becker, T., Arendt, E and Gastl, M. (2014). Common wheat (*Triticum aestivum* L.) and its use as a brewing cereal – a review. J. Inst. Brew. 2014; 120: 1–15
82. Fan, X. (2007). Control of irradiation-induced lipid oxidation and volatile sulfur compounds using antioxidants in raw meat and ready to eat meat product. In: *Antioxidant Measurement and Applications, ACS Symposium Series*, Vol. 956 (eds F. Shahidi & C.T.Ho). 401–418. American Chemical Society, Washington, DC.

83. Fan, X. (2005). Formation of furan from carbohydrates and ascorbic acid following exposure to ionizing radiation and thermal processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53, 7826-7831.
84. Fan, X. (2013). Radiation chemistry of food components. In: *Food Irradiation Research and Technology, Second Edition*
85. Fan, X and Mastovska, K. (2006). Effectiveness of ionizing radiation in reducing furan and acrylamide levels in foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54, 8266-8270.
86. Fan, X and Sokorai, K. J. B. (2002). Sensorial and chemical quality of gamma irradiated fresh-cut iceberg lettuce in modified atmosphere packages. *J Food Prot* 65:1760-1765. Cited in: Niemira, B.A and Huetong Fan. (2009). *Irradiation Enhances Quality and Microbial Safety of Fresh and Fresh-Cut Fruits and Vegetables.*
87. Fan, X and Sommers, C. H. (2006). Effect of gamma radiation on furan formation in ready-to-eat products and their ingredients. *Journal of Food Science* 71, C407-C412.
88. Fan, X and Sommers, C. H. (2013). *Food irradiation research and technology. Second edition.* A John Wiley & Sons, Inc., Publication
89. Farkas, J. (1985). Radiation processing of dry ingredients. *Radiation Physics and Chemistry*. 25:271-280
90. Farkas, J. (1988) *Irradiation of dry food ingredients*, CRC Press Inc., Boca Raton, Florida, 11-40.
91. Farkas, J. (1989). Microbiological safety of irradiated foods. *International Journal of Food Microbiology*. Vol.9, issue 1, 1-15
92. Farkas, J. (2006). Irradiation for better foods. *Trends in Food Science & Technology*. Vol.17, Issue 4, pp. 148-152
93. Farkas, J., Koncz, A and Sharif, M. M. (1990) Identification of irradiated dry ingredients on the basis of starch damage. *International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part C. Radiation Physics and Chemistry. Volume 35, Issues 1-3*, 324-328
94. FDA (2021). Compliance Policy Guide Sec. 555.400 Aflatoxins in Human Food: Guidance for FDA Staff
95. Fernandes, A., Pereira, C., Antoniot, L and Fereira, I.C.F.R. (2018). Food irradiation chemistry. In: Ferreira, C. F. R., Antonio, A & Verde, S. C. (2018) *Food irradiation*

- technologies. Concepts, Applications and Outcomes. The Royal Society of Chemistry 2018. ISSN: 2398-0656
96. Fink, A and Rehmann, D. (1994). Research priorities relating to food irradiation. Food-science and techniques. Study report No 3. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities
97. Fox J. B., Thayer, D. W, Jenkins, R. K, Phillips, J. G, Ackerman, S. A, Beecher, G. R, Holden, J. M, Morrow, F. D and Quirbach, D. M. (1989). Effect of gamma-irradiation on the B-vitamins of pork chops and chicken breasts. International Journal of Radiation Biology 55, 689-703.
98. Frumkin, M. L., Kovalskaya, L. P. and Gelfand, S. Y. (1973). Technological principles in the radiation treatment of food products. Pischevaya Promyshlennost' Publ. Cited in: Josephson, E. S, Thomas, M. H and Calhoun, W. K. (1978). Nutritional aspects of food irradiation- An overview. Journal of food processing and preservation. Vol.2. Num. 4. 299-313
99. Fung, F. (2006). Aflatoxin attack (*Aspergillus species*) Chapter 137 in: Disaster Medicine,722-724
100. Garrison, W.M. (1985). Reaction mechanisms in the radiolysis of peptides, polypeptides and proteins. Lawrence Berkeley Laboratory. University of California. https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc1067139/m2/1/high_res_d/5415209.pdf
101. Ghanem, K. M., Walid, A., Lotfy, W. A., El-Shaer, M. M and Elassar, S. A. (2020). The Inhibitory Effect of Wheat Husks Addition on Aflatoxins Production by *Aspergillus flavus* in Liquid Culture With Various Wheat Compositions as Carbon Sources. Front. Microbiol.,11: 1448,1-12
102. GHI. (2018). Working Group Food Preservation Technologies. Discordant international regulations of food irradiation are a public health impediment and a barrier to global trade. Web.
103. Ginovska, M., Spasevska, H., Stojanovska-Georgievska, L., Sandeva, I. and Kochubovski, M. (2016). Procedure for detection and control of irradiated food. Journal of Environmental Protection and Ecology 17, No 1, 402–412
104. Giray, B., Gozde, G. A., Basak, E., Sevtap, A. and Gonul, S. (2007). Aflatoxin levels in wheat samples consumed in some regions of Turkey. Food Control 18 (2007) 23–29

105. Goresline, H. E. (1982). "Historical aspects of radiation preservation of food," in Preservation of Food by Ionizing Radiation, Vol. I, E. S. Josephson and M.S. Peterson (eds.), CRC Press, Boca Raton, FL
106. Gould, W. G. (1996). Methods for preservation and extension of shelf life. International Journal of Food Microbiology. Vol.33, issue 1, 51-64
107. Grover, S and Khan, A. S. (2014). Effect of ionizing radiation on some characteristics of seeds of wheat. International journal of scientific and technology research. Vol 3, Issue 4, 32-39
108. Gryczka, U., Sadowska, M., Guzik, G., Stachowicz, W and Liskiewicz, G. (2018). Physical detection methods. In: Ferreira, C. F. R., Antonio, A and Verde, S. C. (2018) Food irradiation technologies. Concepts, Applications and Outcomes. The Royal Society of Chemistry 2018.
109. Gutiérrez-Alamo, A., Pérez de Ayala, P., Verstegen, M. W. A., Den Hartog, L. A. and Villamide, M. J. (2008). Variability in Wheat: Factors Affecting Its Nutritional Value. World's poultry science journal 64:20-39
110. Hagiwara, A., Yoshino, H., Sano, M., Kawabe, M., Tamano, S., Sakaue, K., Nakamura, M., Tada, M., Imaida, K and Shirai, T. (2005). Thirteen-week feeding study of thaumatin (a natural proteinaceous sweetener), sterilized by electron beam irradiation, in Sprague-Dawley rats. Food and Chemical Toxicology, 43, 1297-1302.
111. Hammad, A. A. I., Atalla, M. M., Kamel, Z, El-Shayeb, N. M. A and Ahmed, A. A. (1996). Effect of Gamma Irradiation on Growth and Aflatoxin Production by Certain Local Aflatoxigenic Isolates of Aspergillus Flavus. Third Arab Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Damascus 9-13
112. Hanis, T., Mnukova, J., Jelen, P., Klir, P., Perez, B and Pesek, M. (1988). Effect of Gamma Irradiation on Survival of Natural Microflora and Some Nutrients in Cereal Meals. Cereal Chem. 65(5): 381-383
113. Hathout, A. S., Abel-Fattah, S. M., Abou-Sree, Y. H and Fouzy, A. S. M. (2020). Incidence and exposure assessment of aflatoxins and ochratoxin A in Egyptian wheat. Toxicol Rep. 15;7:867-873
114. Hayashi, T. (1993). Detection methods for irradiated foods-Review on current developments. In: Harmonization of regulations on food irradiation in Asia and the Pacific, 97-106

115. Hayashi, T., Iwamoto, M and Kawashima, K. (1982). Identification of Irradiated Potatoes by Impedance Measurements. *Agricultural and Biological Chemistry*, Vol. 46, Issue 4, 905–912
116. Helle, N., Linke, B., Shreiber, G and Bögl, K. W. (1992). Status of the development of electron spin resonance measurement for the detection of irradiated food. (Article in German). *Z Ernährungswiss* 31:205-218
117. Herzallah, S., Alshawabkeh, K and Al Fataftah, A. (2008). Aflatoxin decontamination of artificially contaminated feeds by sunlight, gamma radiation and microwave heating. *J. Appl. Poultry Res.* 17:515–521.
118. Horak, C. I., Pietranera, M. A., Malvicini, M, Narvaiz, P., Gonzalez, M and Kairiyama, E. (2006). Improvement of hygienic quality of fresh, pre-cut, ready-to-eat vegetables using gamma irradiation. In: *Use of Irradiation to Ensure the Hygienic Quality of Fresh, Pre-Cut Fruits and Vegetables and Other Minimally Processed Food of Plant Origin*. IAEA, 2006 <https://www.iaea.org/topics/food-irradiation>
119. IAEA (1985). Proceedings of seminar on food irradiation. Nuclear Energy Board. 1985 Dublin.
120. IAEA (1992). Irradiation of spices, herbs and other vegetable seasonings - a compilation of technical data for its authorization and control, IAEA-TECDOC-639, International Atomic Energy Agency, Vienna
121. IAEA (2002). Dosimetry for food irradiation. Technical report series No. 409. International Atomic Energy Agency, Vienna
122. IAEA (2015). Manual of good practice in food irradiation sanitary, phytosanitary and other applications. Technical report series No. 481 International Atomic Energy Agency: Vienna, Austria
123. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. (1993). International Agency for Research on Cancer, Lyon, France.
124. Ibarz, A. (2008). Ionizing irradiation of foods. In: *Urwaye, A. New food engineering research trends*. Nova Science Publishers, Inc.
125. International Commission of Microbiological Specification for Foods (ICMSF). (1980). Cereals and cereal products. In: *Microbial ecology of foods*, Vol. 2, Food commodities. New York: Academic Press, Inc

126. Iqbal, Q., Amjad, M., Rafique Asi, M and Arin˜o, A. (2012). Mold and aflatoxin reduction by gamma radiation of packed hot peppers and their evolution during storage. *Journal of Food Protection*, Vol. 75, No. 8, 1528–1531
127. Ito, H., Iizuka, H and Sato, T. (1973). Identification of Osmophilic *Aspergillus* Isolated from Rice and Their Radio-sensitivity. *Agr. Bioi. Chem.*, 37 (4), 789~798, 1973
128. Jankuloski, Z., Boshevska, M., Spasevska, H & Sandeva, I. (2021). Assessment of public opinion towards irradiated food. Food quality and safety, health and nutrition congress (Nutricon), Ohrid 9-11.June 2021.
129. Jay, J. (2000). *Modern food microbiology*. Sixth edition. Aspen Publishers, Inc. Gaithersburg, Maryland 2000.
130. Jelača, S. L. (1972). *Hemija i tehnologija pšenice (priručnik za tehnologe i hemičare)*. Jugosl.Institut za prehrambenu industriju. Zavod za tehnologiju žita i brašna, Novi Sad.
131. Joint FAO/IAEA/WHO Study Group. Proposed Draft Revised General Standard for Irradiated Foods at Step 3. (пристапено на 6.Септември.2020)
132. Josephson, E. S, Thomas, M. H and Calhoun, W. K. (1978). Nutritional aspects of food irradiation- An overview. *Journal of food processing and preservation*. Vol.2. Num.4, 299-313
133. Josephson, E. S., Thomas, M. H. and Calhoun, W. K. (1975). In *Nutritional Evaluation of Food Processing*, 2nd Ed., Chapter 14. R.S. Harris and E. Karmes (ed.), Avi Publishing Co., Westport, Conn.
134. Josephson, E. S and Peterson, M. S. (1983). *Preservation of Food by Ionizing Radiation*. Vol.II. 1 edition.Boca Raton. CRC Press
135. Kanemaru, J, Tavares, D. T, Singer, C. S., Hilsenrath, F. C., Sabato, S. F. and Tadini, C. C. (2005). Influence of gamma radiation on rheological properties of wheat flour. Eurotherm Seminar 77 – Heat and Mass Transfer in Food Processing June 20-22, 2005, Parma, Italy
136. Kaplan, I. (1955). *Nuclear Physics*. Addison-Wesley Pub. Co., Boston, USA
137. Katta, S. R., Rao, D. R., Sunki, G. R. and Chawan, C. B. (1991). Effects of gamma irradiation of whole chicken carcasses on bacterial loads and fatty acids. *Journal of food science*, Vol. 56, 371-372

138. Kazakova, E., Makarenko, E., Podlutsky, M. S and Dontsova, A. A. (2020). Radio sensitivity of the winter and spring barley varieties according to the morphological effect of low-dose gamma irradiation on the original seeds. Article in: Grain Economy of Russia, 23-28
139. Kennedy, T. S. and Ley, F. J. (1971). Studies on the combined effect of gamma radiation and cooking on the nutritional value of food. Journal of the Science of food and agriculture. Vol 22. Issue 3. 146-148
140. Khattak, A. B and Klopfenstein, C. F. (1989). Effects of Gamma Irradiation on the Nutritional Quality of Grain and Legumes. I. Stability of Niacin, Thiamin, and Riboflavin. Cereal Chem. Vol.66(3): 169-170
141. Khawar, A., Bhatti, I. A., Khan, Q. M., Khan, A. I., Asi, M. R and Ali, T. (2011). Evaluation of irradiation in foods using DNA Comet assay. J Food Sci Technol (Jan-Feb 2011) 48(1):106-109
142. Kilcast, D. (1994). Effect of irradiation on vitamins. Food Chemistry 49, 157-164.
143. Kilonzo-Nthenge, A. K. (2012). Gamma Irradiation for Fresh Produce. In: Adrovic, F. (2012). Gamma radiation. In Tech, Croatia.(eds)
144. Kim, J. C., Mullan, B. P. Simmins, P. H. and Pluske. J. R. (2003). Variation in the chemical composition of wheat grown in Western Australia as influenced by variety, growing region, season, and post-harvest storage. Australian Journal of Agricultural Research, 2003, 54, 541-550
145. Koxsel, H., Çelik, S and Tuncer, T. (1996). Effects of Gamma Irradiation on Durum Wheat and Spaghetti Quality. Cereal Chem. 73(4):506-509.
146. Kowieska, A., Lubowicki, R and Jaskowska, I. (2011). Chemical composition and nutritional characteristics of several cereal grain. Acta Sci. Pol., Zootechnica 10 (2) 2011, 37-50
147. Kumar, P. *et al.*, (2011). Nutritional Contents and Medicinal Properties of Wheat: A Review. Life Sciences and Medicine Research, Volume 2011: LSMR-22
148. Kyu-Heon Kim, Ji-Young Kwak, Jin-Ho Yoon, Young-Eun Park, Jae-Hwang Lee, Yong-Chjun Park, Tae-Yong Jo , Hwa-Jung Lee, Sang-Jae Lee and Sang-Bae Han. (2013). Comparison of Irradiated Food with Electron Beam and Gamma-ray by PSL and TL Methods. J. Fd Hyg. Safety Vol. 28, No. 3, 258~266

149. Laca, A., Mousia, Z., Díaz, M., Webb, C., & Pandiella, S. S. (2006). Distribution of microbial 658 contamination within cereal grains. *Journal of Food Engineering*, 72(4), 332–338.
150. Lachman, J., Martinek, P., Kotíkov, Z., Orsak, M., Šulc, M. (2017). Genetics and chemistry of pigments in wheat grain- A review. *Journal of Cereal Science* 74 (2017) 145-154
151. Lacroix, M., Caillet, S., Millette, M., Turgis, M., Salmieri, S and Lafortune. R. (2006). The influence of antimicrobial compounds or coating and modified atmosphere packaging on radiation sensitivity of *Listeria monocytogenes* and *Listeria innocua* on quality maintenance of ready-to-use carrots (*Daucus carota*) In: Use of Irradiation to Ensure the Hygienic Quality of Fresh, Pre-Cut Fruits and Vegetables and Other Minimally Processed Food of Plant Origin. IAEA, 2006
152. Lakritz, L., Fox, J. B and Thayer, D.W. (1998). Thiamin, riboflavin, and α -tocopherol content of exotic meats and loss due to gamma radiation. *J. Food Prot.*, 61, 1681-1683.
153. Le Caer, S. (2011). Water Radiolysis: Influence of Oxide Surfaces on H₂ production under Ionizing Radiation. *Water* 2011, 3, 235-253
154. Le Maire, M., Thauvette, L., De Foresta, B., Viel, A, Beauregard, G and Potier, M. (1990). Effects of ionizing radiations on proteins. *Biochem. J.* (1990) 267, 431-439 (Printed in Great Britain)
155. Ley, F. J. (1969). Sterilization of laboratory animal diets using gamma radiation. *Laboratory Animals*. Vol. 3, 201-254
156. Lillehoj, E. B., Fennell, D. I., Kwolek. W. F. (1976). *Aspergillus flavus* and aflatoxin in Iowa corn before harvest. *Science* 06, Vol. 193, Issue 4252, 495-496
157. Linko, P and Milner, M. (1958). Enzyme activation in wheat grains in relation to water content. Glutamic acid- alanine transaminase and glutamic acid decarboxylase. Department of flour and feed milling industries, Kansas State University, Manhattan, Kansas.
158. Loaharnu, P. (2003). Irradiated foods. Fifth edition. American Council on Science and Health, Inc. (eds)
159. Loaharanu, P. (2003). Consumer acceptance of irradiated food. In Irradiated foods. Fifth edition. American council on science and health.

160. Loffer, C. M., Rauch, T. L. and Busch, R. H. (1985). Grain and plant protein relationships in hard red spring wheat. *Crop Science*, 25(3), 521–524.
161. Lorenz, K and Miller, B. S. (1975). Irradiation of cereal grains and cereal grain products. *CRC Critical Reviews in food science and nutrition*. Vol.6 (4). 317–382
162. Los, A., Ziuzina, D and Bourke, P. (2018). Current and Future Technologies for Microbiological Decontamination of Cereal Grains. *J Food Sci*;83(6),1484-1493.
163. Ludwig, F and Hopf, H. (1925). (In German). Experimental study on the effect of Roentgen irradiation on the food, *Strahlentherapie* 20: 342.
164. Mahmood, S. U., Bashir, M. H., Abrar, M., Sabri, M. S and Khan, M. A. (2013). Appraising the Changes in the Nutritional Value of Stored Wheat, *Triticum aestivum* L. Infested with Acarid Mite, *Rhizoglyphus tritici* (Acari: Acaridae). *Pakistan J. Zool.*, vol. 45(5), pp. 1257-1261, 2013
165. Манасиевска-Симиќ, С и Ангелов, И. (2012). Споредбени испитувања на производните карактеристики кај видовите *Triticum durum*, *Triticum aestivum* и *Triticum diococum* од родот *Triticum*. *JAFES*, Vol 59, (2012) 88-94
166. Manthey, F. A., Wolf-Hall, C. E., Yalla, S., Vijayakumar, C and Carlson, D. (2004). Microbial loads, mycotoxins, and quality of durum wheat from the 2001 harvest of the North Plains region of the United States. *J. Food Prot.* 67:772-780.
167. Manupriya, B. R., Lathika, Somashekarappa, H. M., Patil, S. L and Shenoy, K. B. (2020). Study of gamma irradiation effects on the physic-chemical properties od wheat flour (*Triticum aestivum* L.). *Rad.Phys and Chem.* Vol.172, July 2020, 108693
168. Marathe, S. A., Machaiah, J. P., Rao, B. Y. K., Pednekar, M. D., Rao, V. S. (2002). Extension of shelf-life of wheat flour by gamma radiation. *International journal of food science & technology* 2002 v.37 no.2, 163-168
169. Markov, K., Mihajlević, B., Domijan, A., Pleadin, J, Delaš, J and Frece, J. (2015). Inactivation of aflatoxicogenic fungi and the reduction of aflatoxin B1 *in vitro* and *in city* using gamma irradiation. *Food control.* Vol.54,79-85
170. Marth, E. H. (1967). Aflatoxins and other mycotoxins in agricultural products *Journal of Milk and Food Technology*, 1967 - meridian.allenpress.com
171. McGivney, W. T. (1988). Preservation of food products by irradiation. *Seminars in Nuclear Medicine*, Vol XVIII, No 1,36-45

172. McKeivith, B. (2004). Nutritional aspects of cereals. *British Nutrition Foundation Nutrition Bulletin* 29, 111–142
173. Mehta, K and O'Hara, K. (2013). Dosimetry for food processing and research applications. In: *Food Irradiation Research and Technology, Second Edition*. Edited by Xuetong Fan and Christopher H. Sommers. Published 2013 by Blackwell Publishing.
174. Meier, W. (1991). Analysis of irradiated food. *Microchimica Acta*, 104(1), 71–79.
175. Miller, R. B. (2005). *Electronic irradiation of foods: an introduction to the technology*. (Springer, 2005)
176. Mitchell, G. E., McLauchlan, R. L., Isaacs, A. R. and Nottingham, S. M. (1992). Effect of low dose irradiation on composition of tropical fruits and vegetables. *Journal of Food Composition and Analysis*, Vol. 5, 291-311
177. Munir, M. T and Federighi, M. (2020). Control of Foodborne Biological Hazards by Ionizing Radiations. *Foods* 2020, 9, 878
178. Mollins, R. A. (2001). *Food irradiation: principles and applications*. (Ed). Willey, New York.
179. Muranno, E and Haves, D. J. (1995). *Food Irradiation: A Sourcebook*, Iowa State University: Blackwell Pub Professional, Ames, USA
180. Mustapha, K. B., Zubairu, H. L and Adamu, A. (2018). Comparison of nutritional values of wheat (*Triticum aestivum*) and acha (*Digitaria exilis*) grains. *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences*, 11 (1): 133-138
181. Nawar, W. W. (1986). Volatiles from food irradiation. *Food reviews international*, 2(1), 45-78
182. Nawar, W. W. (1995). The use of ionizing radiation in the preservation of food. In A. G.Gaonkar (Ed.). *Food processing: Recent developments* (209–226). The Netherlands:Elsevier.
183. Newberne, P. M and Butler, W. H. (1969). Acute and Chronic Effects of Aflatoxin on the Liver of Domestic and Laboratory Animals : A Review. *CANCER RESEARCH* 29
184. Newberne, P. M., Carlton, W. W. and Wogan, G. N. (1964). Hepatomas in rats and hepatorenal injury in ducklings fed peanut meal or *Aspergillus flavus* extract. *Pathologia Veterinaria*, 1: 105-132

185. Nikjoo, H., O'Neill, P., Goodhead, D. T. and Terrissol, M. (1997). Computational modelling of low- energy electron-induced DNA damage by early physical and chemical events. *Int. J. Radiat. Biol.* 71, 467- 83.
186. O'Beirne, D. (1985). Applications of irradiation in horticultural produce. The Agricultural Institute, Kinsealy Research Centre, Dublin
187. O'Bryan, C. A., Crandall, P. G., Ricke, S. C and Olson, D. G. (2008). Impact of irradiation on the safety and quality of poultry and meat products: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 48, 442-457
188. O'Hara, K. (2013). Gamma ray technology for food irradiation. In: *Food Irradiation Research and Technology, Second Edition*. Edited by Xuetong Fan and Christopher H. Sommers.
189. Ostling, O and Johanson, K. J. (1984). Microelectrophoretic Study of Radiation-Induced DNA Damages in Individual Mammalian Cells. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 123, 291-298.
190. Pascale, M. N. (2009). "Detection methods for mycotoxins in cereal grains and cereal products," *Zbornik Matice Srpske za Prirodne Nauke*, vol. 117, 15–25
191. Patterson. M. (2005). Food Irradiation: Microbiological Safety and Disinfestation. International Symposium "New Frontier of Irradiated food and Non-Food Products" 22-23 September 2005, KMUTT, Bangkok, Thailand
192. Patil, S. (2015). Changes in total carbohydrate and total antioxidant activity induced by gamma irradiation of wheat flour. Conference paper: National conference on recent advances in animal sciences. At: Mangalore (India)
193. Peers, F. G., Gilman, G. A and Linsell, C. A. (1976). Dietary aflatoxins and human liver cancer. A study in Swaziland. *International Journal of Cancer*, 17 (2): 167-176
194. Peers, F. G., and Linsell, C. A. (1973). Dietary aflatoxins and liver cancer--a population based study in Kenya. *Br J Cancer*. 27(6): 473–484
195. Peles, F., Györi, Z., Bácskai, T., Szabó, Zs., Murvai, M. and Kovács, B. (2012). Microbiological quality of organic wheat grains and sprouts. *Institute of Food Science, Quality Assurance and Microbiology, University of Debrecen, Böszörményi*. 18:53-60
196. Pillai, S. D. (2004). Food Irradiation. In Ross et al., eds, *Preharvest and Postharvest Food Safety: Contemporary Issues and Future Directions*, (375-387), Blackwell Publishing and the Institute of Food Technologists, Iowa

197. Pitt, J. I. and Hocking, A. D. (2009). Fresh and Perishable Foods. In *Fungi and Food Spoilage* 737 (pp. 395-403). New York, USA: Springer Science+Business Media.
198. Pleadin, J., Frece, J and Markov, K. (2014). Aflatoksini - Onečišćenje, učinci i metode redukcije. *Croatian Journal of Food Technology, Biotechnology and Nutrition* 9 (3-4),75-82
199. Plough, I. C. (1957). An evaluation in human beings of the acceptability, digestibility and toxicity of pork sterilized by gamma radiation and stored at room temperature. *US Army Med Nutr Labor. Report* 204.
200. Poling, C. E., Warner, W. D., Humburg, F. R., Reber, E. F., Urbain, W. M. and Rice, E. E. (1955). Growth, reproduction, survival and histopathology of rats fed beef irradiated with electrons. *Food Research*, 20, 193–214.
201. Правилник за посебните барања за безбедност на храната произведена со јонизирачко зрачење, Службен весник на РМ, бр. 63/2014.
202. Prokopowich, D., Blank, G. (1991). Microbiological evaluation of vegetable sprouts and seeds. *Journal of Food Protection*, 54, 560-562
203. Prpa, Đ. (2004). Neki pokazatelji hemijskog sastava I kvaliteta pšenice I mogućnosti ekstrakcije brašna. Публикација.
204. Rady, A. H., Maxwell, J., Wierbicki, E and Phillips, J. G. (1988). Effect of gamma radiation at various temperatures and packaging conditions on chicken tissues. I. Fatty acid profiles of neutral and polar lipids separated from muscle irradiation at -20° C. *Journal of physical chemistry*, Vol. 31, 195-202
205. Ramírez-Cahero, H. F. (2017). *Food Chemistry*, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.057>
206. Rao, V. S., Vakil, U. K and Sreenivasan, A. (2006). Effect of gamma irradiation on composition of wheat lipids and purothionines. *Journal of Food Science* 43(1):64 – 67
207. Ravindran, V., Johnston, S., Camden, B. J., Thomas, D. V., (2001). Influence of storage of New Zealand wheats on energy availability for poultry. *Recent Advances in Animal Nutrition in Australia*, Volume 13 (2001)
208. Rechman, Z. U. (2006). Storage effects on nutritional quality of commonly consumed cereals. *Food Chemistry*. 95(1), 53–57

209. Riganakos, A. K. (2010). Food Irradiation Techniques. In: Arvanitoyannis, I. S. Irradiation of food commodities: techniques, applications, detection, legislation, safety and consumer opinion. First edition. Elsevier Inc. (eds)
210. Risk Assessment Studies. (2009). Safety of Irradiated Food. Report No. 37 Centre for Food Safety, Food and Environmental Hygiene Department. Hong Kong.
211. Roberts, T. (1998). Cold pasteurization of food by irradiation. Food safety. Publication 458-300. Virginia Cooperative Extension
212. Roberts, C. A. (2001). The food safety information handbook. Oryx Press.
213. Rodrigues, P and Venancio, A. (2018). Biological techniques. In: Ferreira, C.F.R., Antonio, A and Verde, S.C. (2018). Food irradiation technologies. Concepts, Applications and Outcomes. The Royal Society of Chemistry
214. Rogers, R. F and Hesseltine, C.W. (1978). Microflora of wheat and wheat flour from six areas of united states. Cereal Chem. 55(6): 889-898
215. Ruska, L and Timar. A.V. (2010). Changes in wheat during storage at three diferent temperatures. Analele uniferitatii din Oradea. Fascicula: Ecotoxiologie zootehnie si tehnologii de industrie alimentara, Vol. VII, Anul 9,
216. Sabillón, L., Stratton, J., Rose, D.J., Regassa, T.H and Bianchini, A. (2016). Microbial Load of Hard Red Winter Wheat Produced at Three Growing Environments across Nebraska, USA. Journal of Food Protection, Vol. 79, No. 4, 646–654
217. Sádecká, J. (2007). Irradiation of spices-a Review. Czech J. Food Sci. Vol. 25, No. 5: 231–242
218. Sadecka J., Kolek E., Peřka J and Suhaj M. (2005a). Influence of two sterilization ways on the volatiles of black pepper (*Piper nigrum* L.). Chemicke Listy, 99: 335–338.
219. Salama, A. M., Ali, M. I., El-Kirdassy, Z. H. and Ali, T. M. (1977). A study on fungal radioresistance and sensitivity. Zentralbl Bakteriol Parasitenkd Infektionskr Hyg. 1977; 132(1):1-13.
220. Sameen, A., Niza, A and Anjum, F. M. (2002). Chemical Composition of Three Wheat (*Triticum aestivum* L.) Varieties as Affected by NPK Doses. Int. J. Agri. Biol., Vol. 4, No. 4, 537-539
221. Сандева, И. (2014). Примена на фотостимулирана луминисценција за испитување на храна третирана со јонизирачко зрачење – магистерски труд

222. Сандева, И., Спасевска, Х., Гиновска, М. и Георгиевска, Л. С. (2015). Развој на постапка за испитување храна третирана со јонизирачко зрачење со методот на фотостимулирана луминисценција. Proc. 12-th Int. Conf. ETAI 2015 (2015).
223. Sanderson, D. C. W. (1990). Photostimulated Luminescence (PLS): A new approach to identifying irradiated foods. BCR Workshop on Potential New Methods on detection of irradiated food, Cadarache, February 13-15
224. Sanderson, D. C. W., Carmichael, L.A and Fisk, S. (2003). Photostimulated luminescence detection of irradiated herbs, spices, and seasonings: international interlaboratory trial. JAOAC Int. 2003 Sep-Oct; 86(5):990-7.
225. Santin E. (2005). Mould growth and mycotoxin production. Evaluating the Impact of Mycotoxins in Europe. Altech, USA. 58–68
226. Sawant, A. A., Patil, S. C., Kalse, S. B. and Thakor, N. J. (2012). Effect of temperature, relative humidity and moisture content on germination percentage of wheat stored in different storage structures. *gric Eng Int: CIGR Journal*. Vol. 14, No. 2.
227. Schreiber, G. A., Ziegelmann, B., Quitzsch, G., Helle, N and Bogl, K. W. (1993). Luminescence Techniques to Identify the Treatment of Foods by Ionizing Radiation. *Food Structure*, Vol. 12, 1993 (Pages 385-396)
228. Scott, J. S, and Pillai, P. (2004). Irradiation and Food Safety. *Food Tech*. 58:48-55
229. Shao, S and Feng, J. (1988). Safety estimation of persons feeding from 35 kinds of irradiated diets-chromosome aberrations and SCE analysis of cultured lymphocyte. *J Chin Radiat Med Prot* 3: 271
230. Shewry, P. R & Hey, S. J. (2015). The contribution of wheat to human diet and health. *Food and Energy Security* 2015 4 (3): 178–202
231. Shi, H., Pleleji, K., Stroshine, R. L., Keener, K and Jensen, J. L. (2017). Reduction of aflatoxin in corn by high voltage atmospheric cold plasma. *Food Bioprocess Technol*. 2017, 10, 1042–1052
232. Shimoyama, Y., Ukai, M. and Nakamura, H. (2006). ESR detection of wheat flour before and after irradiation. *Spectrochimica Acta Part A*, 63, 888–890.
233. Siddiqi, R. A, Singh, T. P, Rani, M., Sogi, D. S and Bhat, M. A (2020). Diversity in Grain, Flour, Amino Acid Composition, Protein Profiling, and Proportion of Total

- Flour Proteins of Different Wheat Cultivars of North India. *Front. Nutr.* 7:141. doi: 10.3389/fnut.2020.00141
234. Silva, R. C., Regitano-D'Arce, M. A. B. and Spoto, M. F. (2002). Avaliação dos parâmetros tecnológicos e sensoriais da farinha de trigo irradiada com diferentes doses. In: XVIII Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Porto Alegre, CBCTA Proceedings, 2497-2500
235. Службен весник бр.100/2013. Правилник за посебните барања за безбедност на храната по однос на микробиолошки критериуми.
236. Smith, J. E., Solomons, G., Lewis, C., Anderson, J.G. (1995). Role of mycotoxins in human and animal nutrition and health. *Nat Toxins*.3(4):187-92
237. Sommers, C. H and Fan, X. (2013). Food irradiation research and technology. First edition. IFT Press. Blackwell Publishing.
238. Stefanova, R, Vasilev, N. V and Spassov, S. L. (2010). Irradiation of food, current legislation framework and detection of irradiated foods. *Food Analytical Methods* 3, 225-252
239. Stevenson, M., & Stewart, E. M. (1995). Identification of irradiated food. The current status. *Radiation Physics and Chemistry*, 46, 653–658
240. Stevenson, D. E and Johnston, M. H. (1990). Food irradiation and the Chemist. Special publication. Royal Society of Chemistry
241. Stewart, E. M. (2001). Food irradiation chemistry. In: Food irradiation: Principles and Applications. Edited by R.A.Molins. 2001. John Wiley & Sons, Inc.
242. Stewart, E. M. (2009a). Effect of gamma irradiation on the quality of ready meals and their meat components. In: Irradiation to Ensure the Safety and Quality of Prepared Meals. Results of the Coordinated Research Project organised by the Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture (2002-2006). IAEA, Vienna, 313-342.
243. Stewart, E. M. (2009b). Food Irradiation. In: Process-Induced Food Toxicants – Occurrence, Formation, Mitigation and Health Risks (Stadler, R.H. and Lineback, D.R., Eds.), Chapter 4.2, 387-412.
244. Steyn, P. S. (1995). Mycotoxins, general view, chemistry and structure. *Toxicoll. Lett.* Vol. 82. P. 843–854.

245. Stoklosa, A. M., Perchonok, M. H., Little, K. M, Nivens, D. E and Mauer, L. J. (2012). Effects of low dose gamma-radiation on selected wheat properties. *International Journal of Food Properties*, 15:109–121
246. Strick, J J T W A. (1986). Toxicological investigations on irradiated feed in pigs. *Tijds Dierg* 111: 240-243
247. Swallow, A. J. (1991). Wholesomeness and safety of irradiated foods. In: *Nutritional and Toxicological Consequences of Food Processing*, (eds M. Friedman). 11–31. Plenum Press, New York.
248. Szczawińska, M. E. (2017). Application of ionizing radiation for control of salmonella in food. *Curr. Top. Salmonella Salmonellosis*.
249. Taub, I. A. (1981). Radiation chemistry and the radiation preservation of food. *Journal of chemical education*. Vol.58, No. 2,162-167
250. Thakur, B. R. and Singh, R.K.(1994). *Food Reviews International*. Vol.10. Issue 4, 437-473
251. Thayer, D. W., Christopher, J. P., Campbell, L. A., Ronning, D. C., Dahlgren, R. R., Thomson, G. M and Wierbicki, E. (1987). Toxicology studies of irradiation-sterilized chicken. *Journal of Food Protection*, 50, 278–288
252. Tipples, K. H and Norris, F. W.(1965). Some Effects of High Levels of Gamma Irradiation on the Lipids of Wheat. *Cereal Chem* 42:437 – 451
253. Tooping, D. (2007). Cereal complex carbohydrates and their contribution to human health. *Journal of cereal science*. Vol.46, Issue 3, 220-229
254. Trajković, J., Mirić, M., Baras, J and Šiler, S. (1983). *Analize životnih namirnica*. Tehnološko-metalurški fakultet. Beograd
255. Trombete, F. M., de Ávila Moraes, D., Porto, Y. P., Santos, T. B., Direito, G. B., Fraga. M. E. and Saldanha, T. (2014). Determination of Aflatoxins in Wheat and Wheat byproducts Intended for Human Consumption, Marketed in Rio de Janeiro, Brazil. *Journal of Food and Nutrition Research*, 2014, Vol. 2, No. 10, 671-674
256. Umrani, J. H., Pahoja, V. M., Ansari, T. I., Ali Sahito, M., Panhwar, U and Tunio, S .P. (2013). Composition of Amino Acids in Seeds of Different Wheat (*Triticum aestivum* L.) Varieties. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science (IOSR-JAVS)*. Volume 2, Issue 5 (Mar. - Apr. 2013), 18-20

257. Underdal, B., Nordal, J., Lunde, G and Eggum, B. (1976). The effect of ionising radiation on the nutritional value of mackerel. *Lebensmittel Wiss. Technology* 9, 72-74.
258. Urbain, W. M. (1986). *Food Irradiation*, Academic Press, Orlando, FL
259. Urrows, G. M. (1968). *Food Preservation by Irradiation*. United States Atomic Energy Commission Division of Technical Information.
260. Variyar, P. S., Chatterjee, S., Sajilata, M. G., Singhal, R. S and Sharma, A. (2008). Natural Existence of 2-Alkylcyclobutanones. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56, 11817-11823.
261. Vitaglione, P., Napolitano, A and Fogliano, V. (2008). Cereal dietary fibre: a natural functional ingredient to deliver phenolic compounds into the gut. *Trends Food Sci Technol* 19:451–463.
262. Von Sonntag, C. (1991). *Basic Life Sci.*, 58, 287.
263. Wacoo, A. P., Wendiyo, D., Vuzi, P and Hawumba, J. F. (2014). Methods for Detection of Aflatoxins in Agricultural Food Crops. *Review Article*. *Journal of Applied Chemistry*. Volume 2014, 15
264. Ward, J. F. (1988). DNA damage produced by ionizing radiation in mammalian cells: identities, mechanisms of formation, and reparability, *Prog. Nucleic Acid Res. Mol. Biol.* 35 (1988) 95–125
265. Warchalewski, J. R., Pradzynska, A., Gralik, J and Nawrot, J. (2000). The effect of gamma and microwave irradiation of wheat grain on development parameters of some stored grain pests. *Nahrung* 2000 Dec; 44(6):411-4
266. WHO. (1970). Wholesomeness of irradiated food with special reference to wheat, potatoes and onions. Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee. Geneva
267. WHO. (1981). Wholesomeness of irradiated food. Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee. 269 WHO Technical report series 659. Geneva 1981.
268. WHO. (1994). Safety and nutritional adequacy of Irradlated food. ISBN 92 4 156162 9 (NLM Classification WA 710)
269. WHO. (1999). High-dose irradiation: wholesomeness of food irradiated with doses above 10 kGy. Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Study Group. WHO technical report series: 890

270. Wick, E., Murray, E., Mizutani, J and Koshika, M. (1967). Irradiation flavor and the volatile components of beef. In Radiation Preservation of Foods, 12-25. Washington, DC: American Chemical Society.
271. Wilkinson, V. M. and Gould, G. W. (1996). Food Irradiation: a reference guide. Butterworth Heinemann.
272. Wilson, J. E. (1974). Radiation Chemistry of Monomers, Polymers and Plastics, Marcel Dekker, Inc. (in: GAMMA RADIATION Edited by Feriz Adrovic)
273. Woodside, J. V. (2015). Nutritional aspects of irradiated food. Stewart Postharvest Review; 3:1-6. DOI: 10.2212/spr.2015.3.2
274. Wu, Q., Jezkova, A., Yuan, Z., Pavlikova, L., Dohnal, V and Kuca, K. (2009). Biological degradation of aflatoxins. Drug Metabolism Reviews, 41(1), 1–7
275. Zaied, S. E., Abdel-Hamid, A. A., Attia, E. A. (1996). Technological and chemical characters of bread prepared from irradiated wheat flour. Nahrung 1996 Feb; 40 (1):28-31.
276. Закон за безбедност на храната и на производите и материјалите што доаѓаат во контакт со храната, Службен весник на РМ, бр. 54/2002 и 84/2007.
277. Zeh, F. S. A and Azzeh. A. (2011). Disinfestation of semolina and wheat grains using gamma irradiation and its effect before and after milling of jordanian durum wheat on semolina and lasagna quality. Journal of Food Processing and Preservation 35(5): 656-664

Web:

1. <https://www.ifst.org/resources/information-statements/food-irradiation> (Пристапено на 20.03.2021)
2. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex%3A31999L0003>
3. http://www.who.int/ionizing_radiation/about/what_is_ir/en/ (пристапено на 5.09.2020).
4. <https://www.ifst.org/resources/information-statements/food-irradiation> (пристапено на 6.Септември.2020)
5. <https://zelenaberza.com.mk/> (пристапено на 10.септември.2020)
6. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:02006R1881-20140701&from=EN>