

әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті

ӘОЖ 577.1:633.111.1

Қолжазба құқығында

ДОҚТЫРБАЙ ГУЛИНА

**Жаңа өнімді мутантты бидайдың линияларын шығару (алу) және
биохимиялық-молекулалық зерттеу**

6D070100-Биотехнология

Философия докторы (PhD)

ғылыми дәрежесін алу үшін дайындалған диссертация

Ғылыми
кеңесшілер:
б.ғ.д., профессор
Кенжебаева С.С.

Израиль, Тель-Авив
университеті.
Профессор
Дистельфельд А.

Қазақстан Республикасы
Алматы, 2023

МАЗМҰНЫ

БЕЛГ		
ІЛЕУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР		4
КІРІСПЕ		5
1 ӘДЕБИЕТТЕРГЕ ШОЛУ		11
1.1 Эксперименттік мутагенездің жалпы сипаттамасы		11
1.2 Астық дақылдарының дәндерінің мөлшері және пішіні		16
1.3 Бидай дәндерінің сапасы		17
1.3.1 Бидай дәндеріндегі белок мөлшері		17
1.3.2 Астық дақылдарының дәндеріндегі Zn және Fe мөлшері		18
1.4 Астық дақылдарының дәндеріндегі фитин қышқылы және микронутриенттердің биоқолжетімділігі		20
1.5 Микроэлементтердің (Zn және Fe) астық дақылдарында сіңірілуі және молекулалық транслокация механизмдері		22
2 ЗЕРТТЕУ НЫСАНДАРЫ ЖӘНЕ ӘДІСТЕРІ		26
2.1 Зерттеу нысандары		26
2.2 Зерттеу әдістері		26
2.2.1 Өнімділік параметрлерін талдау		26
2.2.2 Бидай дәндерін морфометриялық өлшеу		27
2.2.3 Бидай дәндерін биохимиялық талдау		27
2.2.3.1 Дәндегі белок мөлшерін анықтау		27
2.2.3.2 Дәндегі Fe және Zn мөлшерін анықтау		27
2.2.4 Дәнде жинақталған микроэлементтердің локализациясын бояу әдісі арқылы анықтау		28
2.2.4.1 Перлс пруссиялық көк бояу әдісі (Perls бойынша) арқылы дәндегі Fe локализациясын анықтау		28
2.2.4.2 Дитизонат бояу әдісі арқылы дәндегі Zn локализациясын анықтау		28
2.2.5 Дәндегі фитин қышқылының (ФҚ) мөлшерін анықтау		28
2.2.5.1 ФҚ:Fe және ФҚ:Zn молярлық қатынас коэффициенттерін есептеу		29
2.2.6 Өсімдіктерді өсіру жағдайлары		29
2.2.7 РНҚ экстракциясы және кДНК синтезі		29
2.2.8 Нақты уақыттағы ПТР бағдарламасы арқылы Fe гомеостазына қатысатын гендердің экспрессиясы		29
2.3 Статистикалық талдау		30
3 ЗЕРТТЕУ НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛДАУ		31
3.1 Гамма сәулесінің 100 Гр- және 200 Гр- дозаларымен өңделген жаздық бидайдың M ₅ мутантты линияларының өнімділік компоненттерінің скринингі		31
3.2 Жаздық бидайдың жаңа M ₅ мутантты линиялары дәндерінің морфометриялық параметрлерін талдау нәтижелері		44
3.3 Жаздық бидайдың жаңа M ₅ мутантты линияларының дәндеріндегі белок мөлшері бойынша бағалау		58

3.4	Микроэлементтері биофортификацияланған жаздық бидайдың мутантты линияларын идентификациялау	63
3.5	Жаздық бидай сортымен оның M ₅ мутантты линиялары дәндеріндегі темір және мырыштың локализациясын зерттеу	77
3.6	Жаздық бидайдың мутантты линиялары мен оның бастапқы сорттарының дәндеріндегі фитин қышқылының мөлшерін талдау	78
3.7	Жаздық бидайдың мутантты линиялар дәндеріндегі фитин қышқылы мөлшерінің Fe және Zn арасындағы молярлық қатынасын талдау	82
3.8	Бидай дәндерінің сапалық, өнімділік, морфометриялық параметрлері және фитин қышқылы арасындағы байланысты талдау	86
3.9	Темір және мырыш биофортификацияланған мутантты линиялардың тамыр мен жапырақтағы темір гомеостазына қатысатын гендердің экспрессиясын талдау	98
	ҚОРЫТЫНДЫ	105
	ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ	107
	ҚОСЫМША “А”	122
	ҚОСЫМША “Ә”	
	Жеңіс сорты және оның M₅ мутантты линияларының өнімділік компоненттері арасындағы корреляция мәндері	124
	ҚОСЫМША “Б”	
	Алмакен сорты және оның M₅ мутантты линияларының өнімділік компоненттері арасындағы корреляция мәндері	125
	ҚОСЫМША “В”	
	Эритросперум-35 сорты және оның M₅ мутантты линияларының өнімділік компоненттері арасындағы корреляция мәндері	126

БЕЛГІЛЕУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР

Gr	Грэй немесе Грей - Халықаралық бірліктер жүйесіндегі иондаушы сәулеленудің жұтылған дозасының бірлігі
ДБМ	Дәндердегі белок мөлшері
НМДС	негізгі масақтағы дәндердің салмағы
ӨЖДС	Өсімдіктегі жалпы дәндердің саны
1000 ДС	1000 дәннің салмағы
ДДСҰ	Дүниежүзілік Денсаулық Сақтау Ұйымы
ДБМ	дәндердің белок мөлшері
ДҰ	Дәннің ұзындығы
ДЕ	Дәннің ені
ДА	Дәннің ауданы
МҚ	Мугин қышқылы
НА	Никотинамин
S-AM	S-аденозилметионин
НААТ	Никотиан Амин Амино Трансфераза
ДМҚ	Дезоксимугин қышқылы
ФҚ	Фитин қышқылы
IP ₆	инозитол гексафосфаты
Fe	Темір
Zn	Мырыш
SAMC	S-Аденозилметионисинтетаза
НАС	Никотианаминсинтаза
ДМҚС	Дезоксимугин қышқылының синтазасы
МҚТ	Мугин қышқылының тасымалдаушысы
ТФ	Транскрипция факторы
TabHLH	Транскрипция фактор гені
МТБ	Металлға төзімді белоктар
АМА	Ауыр металдық АТФазалар
СЖТБ	Сары жолақ тәрізді белоктар
VIT2	Вакуольдағы темір тасымалдаушы ген
NRAMP	Табиғи төзімділікпен байланысты макрофаг белогы
Fer1A	Ферритин белогы

КІРІСПЕ

Жұмыстың жалпы сипаттамасы: Диссертация Қазақстанның селекциясындағы жаздық бидайдың үш сорты негізінде ^{60}Co гамма-сәулеленудің әр түрлі дозаларын (100 Гр және 200 Гр) пайдаланып генетикалық өзгергіштігі кеңейтілген және генетикалық тұрақты (M_5) мутантты линиялар шығарылған. Олардың ішінде өнімділігі жоғары, дәннің морфометриялық параметрлері артқан линиялар идентификацияланған. Дәннің сапалық параметрлері, микронутиенттері биофортификацияланған және олардың арасындағы корреляциялық байланыстар сипатталған. Дәндерінде белок, Fe мен Zn мөлшері жоғары және фитин қышқылының мөлшері төмен мутантты линиялар анықталған. Темір және мырыш биофортификацияланған мутантты линияларда темір гомеостазына қатысатын тамыр мен жапырақтағы гендердің экспрессиясының ерекшелігі зерттелген.

Диссертациялық жұмыстың өзектілігі: Микроэлементтердің тапшылығы бүкіл әлемде кең таралған. Оратылық Азия және Қазақстан денсаулық сақтау министрлігінің басты міндеттерінің бірі, халықтың денсаулығына әсер ететін Fe және Zn тапшылық мәселесін шешу [1].

Бидай (*Triticum aestivum* L.) – жаһандық маңызы бар негізгі өнім және адам мен жануарлардың негізгі қоректік заттардың көзі болып табылады, Әлемде жеуге жарамды құрғақ заттардың 28%-ын, тәуліктік калорияның 60%-на дейін қамтамасыз етеді Сондай-ақ бидай адамның күнделікті тамақтану рационында микроэлементтердің негізгі көзі [2,3]. Дегенмен, микроэлементтердің мөлшері төмен бидай сорттары шығарылуда, оның ішінде Қазақстан бидай сорттары да бар. Астық дақылдарындағы микроэлементтерді генетикалық байыту (биофортификация), жаһандық микроэлементтердің жетіспеушілігін төмендету, экономикалық тиімді тәсілдердің бірі [4].

Көптеген жылдар бойы дәстүрлі сорттарды заманауи жоғары өнімді сорттар арқылы қарқынды асылдандыру бағдарламалары бидайдың генетикалық әр түрлілігінің, астық дәнінің қоректік құндылығының төмендеуіне алып келді. Бидай сорттарындағы микроэлементтердің генетикалық өзгермелілігі айтарлықтай шектелді. Мәдени бидаймен салыстырғанда, жабайы эмер бидай сортының артықшылығы микроэлементтердің мөлшері жоғары болуында. Бірақ қажетсіз гендердің көп болуының нәтижесінде жүргізілген көп қайталамалы зерттеу әдістері, бидайдың селекциялық құндылығын төмендетіп жіберген. Қалыпқа келтіру үшін қосымша қаражат қажет [5].

Бидай дәнінің сапасын, тағамдық құндылығын анықтайтын аса маңызды көрсеткіш – дәннің құрамындағы белок мөлшері [6]. Өнімнің соңғы сапасына айтарлықтай әсер ететін, дәннің құрамындағы белок мөлшері сандық сипат ретінде (бидай өндірісі үшін жоғары, ал мал азығына және басқада мақсаттар үшін төмен белок мөлшері) бидай өндірісінде селективті түрде тексеріледі. Қолданыстағы бидай сорттарында дән құрамындағы белок мөлшері шектеулі

және оны арттыру қиын. Өнімділік пен осы көрсеткіш арасында әдетте теріс корреляция орын алады [7].

Мутациялық асылдандырудың ең бірегей ерекшелігі - жаңа мутациялық аллель генін жасау. Мутация, гемоплазмалық пулда жоқ жаңа ген аллелін индукциялайды, нәтижесінде қажетті мутациялық аллельдері бар жаңа сорттар өндірісте тікелей қолданылуы мүмкін. Мутагенез, бидайды жақсарту үшін перспективті құрал, өнімділікті арттыру үшін пайдаланылады. Бірақ бұл әдіс астықтың тағамдық құндылығын, Fe және Zn мөлшерін, астық морфологиялық параметрлерін және астықтың сапасын жақсарту мақсатында кеңінен қолданылмаған [8].

Астық дәндеріндегі микронутриенттердің биофортификациясын және биоқолжетімділігін арттырудың жолы – микронутриенттердің биосіңімділігін төмендететін, дәндегі анти-нутриенттердің, әсіресе металдардың күшті хелаторы фитин қышқылының (ФҚ) –мөлшерін азайту [9].

Бидай генотиптеріндегі Fe гомеостазына қатысатын гендердің қалай реттелетінін анықтау өте маңызды. Бірақ Fe және Zn мөлшері жоғары болған жаздық бидайдың мутантты линияларында, темір гомеостазына қатысатын тамыр мен жапырақтағы гендердің экспрессиясы мен олардың арасындағы байланысы туралы жарияланған мәліметтер жеткіліксіз [10].

Зерттеу мақсаты: Генетикалық әр түрлілігін кеңейту мақсатында, жаздық бидайдың генетикалық тұрақты жаңа M₅ мутантты линияларын алу және астықтың тағамдық құндылығымен байланысты қасиеттерін молекулалық-биохимиялық деңгейде зерттеу.

Зерттеу міндеттері:

1. Жаздық бидайдың Жеңіс, Алмакен, Эритросперум-35 сорттары негізінде және ⁶⁰Со гамма сәулесінің 100 Гр- және 200 Гр- дозаларымен өңдеу арқылы генетикалық әр түрлілігін кеңейту және генетикалық тұрақты жаңа мутантты линияларды шығару.

2. Мутантты линиялар және олардың бастапқы сорттарының өнімділік компоненттерін және олардың арасындағы жоғары өнімді генотиптерді анықтау.

3. Мутантты линиялар және олардың бастапқы сорттары дәндерінің морфометриялық параметрлерін сипаттау. Дәндерінің ұзындығы, ені, ауданы артқан линияларды идентификациялау.

4. Мутантты линиялар және олардың бастапқы сорттарының дәндеріндегі белок, Fe және Zn мөлшеріне скрининг жасау. Микронутриенттері биофортификацияланған мутантты линияларды идентификациялау.

5. Темір және мырш мөлшері биофортификацияланған мутантты линиялардың дәндеріндегі Fe және Zn локализациясын бояу әдісі арқылы анықтау.

6. Мутантты линиялардың микроэлементтер мөлшері, өнімділігі және дәндердің морфометриялық параметрлері арасындағы корреляциялық байланыстарды анықтау.

7. Микронутриенттердің биосіңімділігін анықтау үшін дәндегі фитин қышқылының (металдардың негізгі антинутриенті) мөлшеріне скрининг жасау.

Төмен фитинді линияларды анықтау, биосінімділігі жоғары линияларды идентификациялау.

8. Темір мен мырыш мөлшері жоғары мутантты линиялардың тамыр және жапырақтарындағы темір гомеостазына қатысатын гендердің (темірді сіңіру гендері, *TaSAMC*, *TaHAC1*, *TaHAAT2-B*, *TaDMQС1-A* және *TaMҚТ*, транслокация жылдамдығын арттыратын гендер, *TaYSL* және *TaVIT2*, темір жинақтаушы белоктары *TaNRAMP* және *TaFer1A-D*, транскрипциялық фактор *TabHLH*) экспрессиясын анықтау.

Зерттеу нысаны: Зерттеу нысанасы ретінде Жеңіс, Алмакен және Эритросперум-35 сорттары және осы сорттар негізінде алынған, генетикалық тұрақты жаңа жаздық бидайдың M₅ мутантты линиялары.

Зерттеу әдістері: Жұмыс барысында атомды-адсорбциялық спектрометриялық әдіс, инфрақызыл спектрометриялық әдіс (Grain AZX-50 portable grain analyzer), WinRHIZO бейнелеу әдісі, нақты уақыттағы ПТР әдісі қолданылды.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы. Алғаш рет, жергілікті жағдайларға бейімделген жаздық бидай Жеңіс, Алмакен және Эритросперум-35 сорттарына индуцирленген физикалық мутагенез, гамма сәулеленудің әртүрлі дозалары (100 Гр және 200 Гр) қолданылып, генетикалық өзгергіштігі кеңейтілді және генетикалық тұрақты жаңа M₅ линиялар идентификацияланды.

Алғаш рет 100 Гр- және 200 Гр- дозаларының физикалық мутагенезі арқылы жаздық бидай Жеңіс, Алмакен және Эритросперум-35 сорттарынан алынған мутантты линияларда, өнімділік компоненттері және дәнінің морфометриялық параметрлері жоғарлады.

Алғаш рет, 100 Гр- және 200 Гр- дозаларымен сәулеленген линиялардың морфометриялық параметрлері бастапқы сорттармен салыстырғанда жоғарлады. Дәнінің ауданы мен ұзындығы– өзгермелі фенотиптік белгілер болды. Бидай дәндерінің ені мен ауданының корреляциясы 100 Гр- және 200 Гр- дозаланған мутантты линияларда оң мән көрсетті және бастапқы сортпен салыстырғанда 30-40% артты.

Алғаш рет, Fe және Zn мөлшері биофортификацияланған жаздық бидайдың жаңа мутантты линиялардындағы микроэлементтердің (белок, Fe және Zn) мөлшері, өнімділігі және дәннің морфометриялық параметрлерімен оң корреляция құрды. Дәндегі Fe және Zn мөлшері, әсіресе 200 Гр- дозамен өңделген мутантты линияларда бастапқы сортпен салыстырғанда 2-4 есе жоғарлады, дәндегі белок мөлшері бастапқы сортпен салыстырғанда 7-16,9%-ға артты.

Алғаш рет, Fe мен Zn мөлшері биофортификацияланған мутантты линиялардың дәндеріндегі Fe және Zn локализациясы бояу әдісі (перлс пруссиялық және дитизонат) арқылы, алейрон қабатында көп мөлшерде шоғырланғандығы анықталды.

Алғаш рет, Fe мен Zn мөлшері биофортификацияланған мутантты линиялардың тамыр және жапырақтағы темір гомеостазына қатысатын гендердің (темірді сіңіру гендері, *TaSAMC*, *TaHAC1*, *TaHAAT2-B*, *TaDMQС1-A* және *TaMҚТ*,

транслокация жылдамдығын арттыратын гендер, *TaYSL* және *TaVIT2*, темір жинақтаушы белоктары *TaNRAMP* және *TaFer1A-D*, темір биофортификациясына байланысты ген *TabHLH*) экспрессиясы бағаланды. Ең жоғары мән *TabHLH* транскрипция факторында тіркелді, мутантты линиялардың тамырында 13,1 және 30,2 есе жоғары экспрессияланды.

Жұмыстың ғылыми – практикалық маңыздылығы:

Астықтың тағамдық құндылығын арттыруда, микронутриенттердің мөлшерін ұлғайтуда физикалық мутагенез тиімділігін көрсетті. Жоғары сапалы бидай өндіру стратегиясын дамытудың перспективаларын айқындады.

Астық дақылдарының өнімділігін, морфометриялық параметрлерін және тағамдық құндылығын арттыру үшін Қазақстанның Жеңіс, Алмакен және Эритросперум-35 сорттарының гамма сәулесінің 100 Гр- және 200 Гр-дозасымен өңдеу арқылы генетикалық әр түрлілігі кеңейтілді. Жаздық бидайдың өнімділік компоненттерін, морфометриялық параметрлерін жақсартудың кешенді тәсілдері әзірленді.

Астық дақылдарының тағамдық сапасы, морфометрикалық параметрлері және өнімділік компоненттері арасындағы байланысын түсінуге мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер гамма сәулеленудің генетикалық әр түрлілікті жоғарлататынын көрсетті және анықталған линиялар түрлі маңызды параметрлері арасындағы байланысты анықтау үшін пайдаланылады.

Зерттеу нәтижелері радиацияның әртүрлі дозалары арқылы пайда болған генетикалық өзгергіштіктер, ауылшаруашылық дақылдарының микронутриент биофортификациясына қол жеткізуге болатынын көрсетті.

Генетикалық тұрақты, микроэлементтері биофортификацияланған жаздық бидайдың мутантты линиялары Қазақ ғылыми-зерттеу институтының «ҚазАгроИнновация» АҚ-ның асыл тұқымды бағдарламаларына енгізілді.

Қорғауға ұсынылатын негізгі тұжырымдар:

1. 100 Гр- және 200 Гр- сәулелену дозаларын қолданып, Қазақстандық Жеңіс, Алмакен және Эритросперум-35 сорттары негізінде жаңа M_5 мутантты линиялары шығарылды. Олардың ішінде, өнімділік компоненттері (масақтағы дәндердің саны мен салмағы, 1000 дән салмағы, өсімдіктегі жалпы дән салмағы) бастапқы сорттармен салыстырғанда артты.

2. Сәулеленген линиялардың басым бөлігінің дәндерінің ауданы, ұзындығы және ені бастапқы сорттармен салыстырғанда жоғарлады. Сонымен қатар, дәнінің ауданы мен ұзындығы– салыстырмалы түрде, жоғары өзгермелі фенотиптік белгілер болды. 100 Гр- және 200 Гр- дозаланған мутантты популяцияларда дәнінің ені мен ауданы оң корреляцияға ие болды. Дәннің ауданы, ұзындығы мен ені жоғарылаған мутантты линиялар бастапқы сорттардан тиісінше 32,1-50%, 36,0-63% және 36,0-64% -ке артты.

3. 100 Гр- және 200 Гр- гамма дозаларымен өңделген, микронутриенттері биофортификацияланған Жеңіс, Алмакен және Эритросперум-35 сорттарынан алынған бір қатар мутантты линиялардың белок, Fe және Zn мөлшері бастапқы сорттарымен салыстырғанда артты.

4. Жаңа мутантты генетикалық ресурстардың өнімділігі мен дәндерінің

морфометриялық параметрлері төмендеуінсіз микроэлементтердің биофортификациялану қабілетіне ие болды. Дәндерінің фитин қышқылының (негізгі антинутриент) мөлшері 1,1-5,8 есеге төмен мутантты линиялар шығарылды. ФҚ:Fe және ФҚ:Zn (тиісінше, 1,14–14,5 және 0,9–13,0) молярлық қатынасы анықталды. Нәтижесінде микронутриенттердің биосінімділігі жоғары генотиптер идентификацияланды.

5. Эритросперум-35 сортының Fe және Zn мөлшері жоғарылаған мутантты линияларының дәндеріндегі метал жинақталу механизмдерін түсіну мақсатында темір гомеостазына қатысатын гендердің экспрессиясы зерттелді. Біздің зерттеуіміз генотипке және органға тән ген экспрессиясында, темірді сіңіру (*TaSAMC*, *TaHAC1*, *TaHAAT2-B*, *TaДМҚС1-А* және *TaМКТ*), транслокация (*TaYSL* және *TaVIT2*), темір жинақтаушы белоктары (*TaNRAMP* және *TaFer1A-D*) және темір биофортификациясына байланысты ген (*TabHLH*) туралы жаңа түсініктер ашты. *TaSAMC*, *TaHAC1* және *TaДМҚС* гомологты гендерінің экспрессиясы Эритросперум-35 сортымен салыстырғанда екі мутантты линия тамырында 2,1-4,7 есеге, *TaYSL* және *TaVIT2* экспрессиясы 1,3–2,7 есеге айтарлықтай жоғарылағаны анықталды.

Автордың жеке үлесі. Зерттеу жұмысының тақырыбына байланысты әдеби деректерге талдау жасау, жұмыстың мақсаты мен міндеттерін анықтау, тәжірибелік зерттеулерді жүргізу, нәтижелерді статистикалық өңдеу және талдау, диссертацияны жазу мен қол жазбаны рәсімдеу автордың жеке қатысуымен орындалды.

Жұмыстың ғылыми зерттеу бағдарламасымен байланыстылығы. 2012-2014 жылдар аралығында ҚР БҒМ ҒК 074/ГФ «Маңызды бейімділік қасиеттерін бақылайтын асыл тұқымды құнды нысандар мен жаңа гендерді анықтауға арналған мутантты бидай линияларын құру және зерттеу» (Мемлекеттік тіркеу № 012РК00581) ғылыми зерттеу жобасының шеңберінде және 2012-2015 жылдар аралығында МАГАТЭ-нің Ұлттық ТК жобасы KAZ/5003 «Микронутриент мөлшері мен өсімдіктің биопрофильділігін интеграция тәсілі арқылы арттыру» атты халықаралық ғылыми жобаның шеңберінде жасалды.

Жұмыстың сыннан өтуі:

Зерттеу нәтижелері және диссертациялық жұмыстың негізгі төмендегідей халықаралық ғылыми конференцияларда баяндалып, талқыланды:

- Халықаралық конференция «Қоршаған ортаның экстремалды және техногенді жағдайларында өсімдіктердің төзімділігі» (2013, Иркутск, Ресей);
- Студенттер мен жас ғалымдардың халықаралық конференциясы «Ғылым әлемі» (2013 ж., Алматы, Қазақстан);
- Халықаралық конференция «Еуропалық биотехнология конгресі» (2013, Братислава, Словакия);
- Халықаралық конференция «InterDrought-IV» (2013, КровнПерт, Батыс Австралия);
- Халықаралық конференция «Әлемдік биотехнология конгресі» (2013, Бостон, АҚШ);

- Конференция материалдары «Тіршілік ғылымы және биологиялық инженерия бойынша халықаралық конференция» (2013, Токио, Жапония);
- Халықаралық конференция «Қазіргі физиологиялық қондырғының инновациялық бағыттары» (2013, Мәскеу, Ресей);
- Студенттер мен жас ғалымдардың халықаралық конференциясы «Әл-Фараби әлемі» (2014 ж., Алматы, Қазақстан);
- Халықаралық конференция «Еуропалық биотехнология конгресі» (2014, Лечче, Италия);
- Халықаралық конференция «FEBSEMBO» (2014, Париж, Франция)
- Халықаралық конференция «Астық дақылдар биотехнологиясы және шаруашылығы» (2015, Берлин, Германия);
- Халықаралық симпозиум «Орталық Азия геномикасы симпозиумы» (2021, Ташкент, Өзбекстан);
- Халықаралық симпозиум «Еуроазиялық биоәртүрлілік бойынша 5-ші симпозиум» (2021, Мугла, Түркия).

Басылымдар. Диссертацияның негізгі мазмұны 32 баспа жұмыстарында, оның ішінде Scopus-тағы импакт-факторы бар халықаралық журналында 2 мақала, Білім және ғылым саласындағы бақылау комитетінің тізімінен 8 мақала, шетелдік ғылыми кітаптар топтамасында 2 мақала, шетелдік ғылыми журналдарда 2 мақала, халықаралық конференциялар мен симпозиумдар жиынтығында 18 тезис жарияланды. Автор зерттейтін мәселелер бойынша әдеби деректерді, зерттеу мақсаттары мен міндеттерін анықтауды, эксперименталды зерттеулерді, статистикалық өңдеуді және зерттеу нәтижелерін талдауды, диссертацияны жазуды өз бетімен жүргізді.

Жұмыстың құрылымы мен көлемі. Диссертация жұмысының мәтіні белгілеулер мен қысқартулар, кіріспе, әдебиеттерге шолу, зерттеу материалдары мен әдістері, зерттеу нәтижелері және оларды талдау, қорытынды, пайдаланылған әдебиеттер тізімі бөлімдерін қосқанда 126 беттен тұрады. Пайдаланылған әдебиеттер саны 200. Тәжірибе барысында алынған нәтижелер мен мәліметтер 50 сурет және 26 кестеде келтірілген.

1 ӘДЕБИЕТКЕ ШОЛУ

1.1 Эксперименттік мутагенездің жалпы сипаттамасы

Бидай (*Triticum aestivum* L.) – азық-түлік қауіпсіздігі мен қоса бүкіл әлемдік маңызы бар және адам мен жануарлардың бірден-бір қоректік зарттарының қайнар көзі, тамақ өнеркәсібіндегі ең негізгі дақыл болып саналады. Әлемдегі тұтынатын құрғақ заттың 28%-ын және дамып келе жатқан елдердегі тұтынатын каллорияның 60%-ын қамтамасыз етеді. Сонымен қоса адамзаттың қоректің тұтынуына қажетті минералдардың негізгі көзі болып танылады [11].

Микроэлементтер дефициті бүкіл әлем халқының тең жартысына кездеседі. Қажетті микроэлементтердің жетіспеушілігін «жасырын аштық» деп атайды, бұл адам денсаулығына теріс әсерін көрсетеді [12].

Қазіргі таңда 3 миллиардқа жуық адам, микроэлементтердің тапшылығынан зардап шегуде және олардың саны күн санап өсуде. Тағамдағы қажетті элементтердің жетіспеушілігінен туатын аурулар көп, өлімге әкеліп соғатын жағдайдың үштен екісі – бала өлімі [13].

Адам организміне қажетті қоректік заттардың тұтыну мөлшерінің төмендеуі метаболизм қызметінің бұзылуларына, күрделі ауруға, адам денсаулығының нашарлауына, балалардың ақыл-ой дамуының, өсіп жетілудің төмендеуіне алып келеді, сонымен қоса, бұл қоғам үшін де үлкен экономикалық шығын болып табылады [14].

Ауылшаруашылық жүйелері, салауатты өмір салтын ұстану үшін қажетті мөлшерде қоректік заттары бар өнімдерді жеткілікті мөлшерде қамтамасыз етуі керек. Алайда көптеген дамушы елдердің ауыл шаруашылығы бұл талаптарға сай емес [15].

Орталық Азия, Қазақстан Республикасы және көптеген әлем мемлекеттері Денсаулық Сақтау Ұйымдарының ең басты қолға алған мәселесі ол «темір тапшылығы». ДДСҰ-ның (Дүниежүзілік Денсаулық Сақтау Ұйымы) зерттеуі бойынша, микроэлементтердің тапшылығын жоюда жұмсалатын қаржы, мемлекет экономикасының 5%-ын құрайды [16].

Барлық мәселені шешудің ең оңай жолы ол- бидай дәндерінің сапасын жақсарту. Бидайдың функционалдық қасиеттері, оның бағасының өзгеруіне оң әсер береді. Ауылшаруашылық технологиясы, өндірістің ауқымдылығын және тиімділігін анықтайды. Бұл елдің азық-түлік қауіпсіздігінің маңызды элементі.

Бидайдың генетикалық белгілерін жақсарту үшін, ауқымды генетикалық өзгерістер жүргізу қажет. Дәстүрлі сорттарды заманауи сорттармен алмастыру, өнімділікті арттырғанымен, сапаны төмендетті, генетикалық алуантүрлілікті азайтты. Бұл жағдайдың бірнеше себептері бар. Көптеген жылдар бойы дәстүрлі сорттарды қазіргі заманғы жоғары өнімді түрлерімен алмастыруға бағытталған, бидай сорттарын қарқынды өсіру бағдарламалары бидайдың түпкілікті пайдалану сапасын төмендетіп, генетикалық алуан түрлілігін едәуір азайтқан. Ұлыбританияда соңғы 50 жыл ішінде жоғары өнімді сорттарды қолдану, дән құрамындағы металл концентрациясының төмендеуіне әкелген [17, 18].

Бидай сорттарында микроэлементтердің генетикалық өзгергіштігі шектеулі

[19]. Бидайдың қоректік құндылығын жоғарлату үшін жабайы эммер бидайы қолдану үшін, пайдалы қасиеттерімен байланысты емес зиянды гендерді жойған, эмбрионды құтқару немесе қалпына келтіру үшін *in vitro* қолданылған. Бұл қосымша шығындар тудырған [20].

Агрономиялық көптеген маңызды белгілерді, соның ішінде астық сапасын жақсартатын маңызды белгілерді қалыптастыру үшін бидай геномын генетикалық өзгеруді қажет етеді. Алайда, қазіргі селекция процесінде көптеген азық-түлік дақылдарының, әсіресе селекциялық бағдарламаларда кеңінен қолданылған бидай сорттарының маңызды белгілері едәуір қысқарған.

Біріншіден, әлемдік селекциядағы сапаның басты белгілері – Бидайдың жоғары өнімділігі, ауруға төзімділігі және дақылдардың тамақтану құндылығы т.б. сипаттамалары, бірақ бидайдың жоғарыда айтып кеткен негізгі белгілері бір-бірімен теріс байланыста. Екіншіден, негізгі дақылдардың генетикалық өзгергіштігі мен генетикалық әртүрлілігі соңғы бірнеше он жылдықтарда егістік өнімділігін көбейту үшін қарқынды жүргізілген селекциялық процесте, бейімделген генотиптерді бірнеше рет қолдануға байланысты. Сапалы генетикалық белгілердің жойылуына әкелген [21].

Жаздық бидайдың сорттарын жақсарту үшін селекцияның тәсілдерін жүйелі дамыту қажет. Қазақстанда тұңғыш рет жұмсақ бидайға қажетті микронутриенттердің биофортификациясы мен биоқолжетімділігіне интегралды қадамдар жасалады. Астықтың қоректік құндылығы мен ауылшаруашылық өнімдерінің сапасына әсер ететін интегралды тәсілі – Биобайыту және микроэлементтердің биоқолжетімділігін арттыруға мүмкіндік берді. Мутацияның бір ерекшелігі – гермоплазмада болмаған жаңа ген аллельдерін құру және индукциялау, осылайша, жақсартылған белгілері бар жаңа генетикалық түрлер немесе линиялар алынады, олар генетикалық алуантүрлілікті арттыру және коммерцияны өсіру үшін тікелей қолданылады [22].

Мутациялық селекцияны кеңейтуде, жаңа гендік комбинациялар және дән сапасын арттыратын әртүрлі генетикалық жүйелер пайда болды, бұл микроэлементтердің шоғырлануы мен олардың биожетімділігінің жылдам артуына әкеледі. Мутагенез генетикалық өзгергіштікті жақсартудың салыстырмалы түрде жылдам әдісі екені белгілі. Өсімдік шаруашылығында мутагенезді қолдану, екі негізгі кезеңнен тұрады: өсімдік материалдарын мутагендік өңдеуден кейін жақсартылған белгілері бар жекелеген мутанттарды іріктеу және селекциялық бағдарламаларда пайдалану, ал жаңа вариацияларды алу үшін мутагенезді қолдану генетикалық өзгергісі шектеулі, бірқатар азық-түлік дақылдары үшін пайдалы [23, 24].

Бидайдың және басқа дақылдардың мутантты линияларын коммерцияландыру үлкен әлеуетке ие, сондықтан олар ауылшаруашылығы мен азық-түлік өндірісіне орасан зор экономикалық әсерін тигізеді [25].

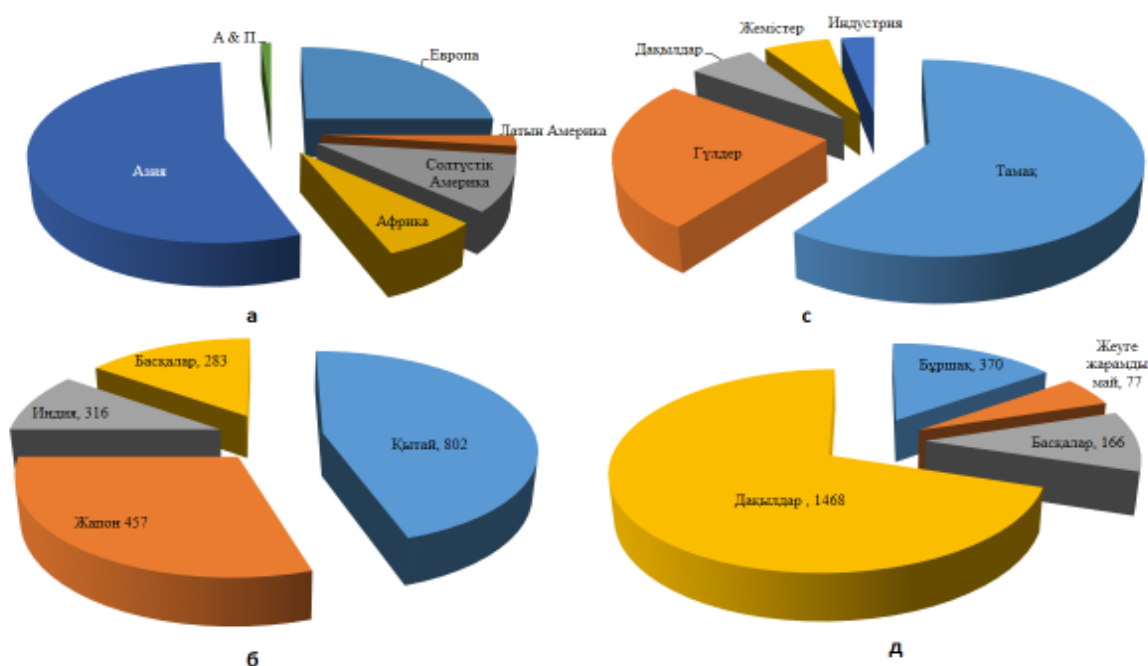
Мутагенез – генетикалық өзгергіштіктің пайда болуына, дақылдарды жетілдіруге арналған күшті құрал. Соңғы 80 жыл ішінде бұл әдіс тұқымның, вегетативті дақылдардың жаңа мутантты сорттарын жасау үшін қолданылды

(кесте 1) [26].

Кесте 1 – ФАО/МАГАТЭ бірлескен орталығының мәліметтер базасына сәйкес

Жылдар	Өсімдік түрлерінің саны	Мутантты өсімдік сорттар саны
1969 ж	77	1330
1989 ж	170	2700
2009 ж	190	3100
2014 ж	214	3220

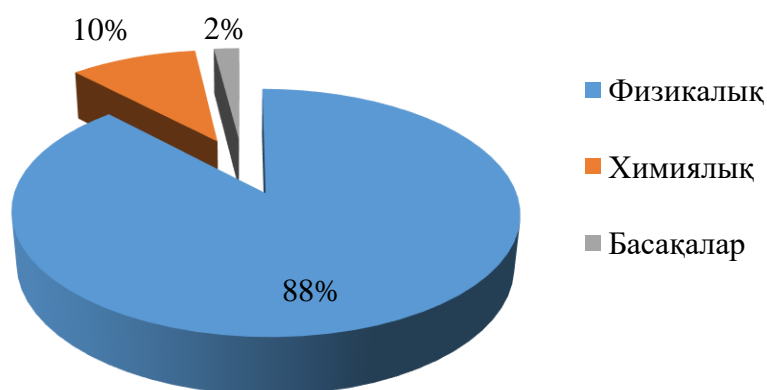
Индукцияланған мутагенездің генетикалық қоры, ауыл шаруашылығында көптеген қолданыстарға ие болуы мүмкін. Мутация 1930 жылдардан бастап қолданылады. Бұл әдіс әртүрлі ауруға, құрғақшылыққа төзімді және басқада құнды сорттарды алуға көмектесетін, агротехникалық процесті жеделдететін құрал. Ядролық техникалар вегетативті дақылдардың және басқа да бағалы сорттардың дамуына айтарлықтай үлес қосты. Әлемнің 60-тан астам елінде өсімдіктердің әр түрлерінен мутантты сорттар шығарылды, бұл биоәртүрлілікті арттырып қана қоймай, дәстүрлі өсімдік өсіру үшін, асыл тұқымды материалмен камтамасыз етті (сурет 1) [27].



Сурет 1 – (а) мутантты сорттардың дүние жүзінде таралуы (А & П: Австралия және Тынық мұхиты); (б) Азияда таралуы; (с) азық-түлік дақылдарының айырмасы; (д) әр түрлі пайдаланушылар айырмасы [28].

XIX ғасырдың аяғында рентгендік және басқа сәулелену формалары арқылы генетикалық материалды өзгерту қабілеттілігін байқаған ғалымдар иондық сәулеленудің түрлі варианттарын жиі қолданып келген. Мысалы, физикалық мутагенез (рентген сәулелерін, гамма-сәулелерін және нейтрондар) қолдану

жақсы жолға қойылған. Мутагенездің барлық түрлерін физикалық, химиялық және биологиялық деп бөлуге болады (сурет 2) [29].



Сурет 2 – Мутагенездің салыстырмалы қолданылуы

ФАО/МАГАТЭ бірлескен орталығының, ядролық әдістер бөлімінде шығарылған 1800-ден астам сорттар әлем бойынша 50 елде қолданылады [30].

Өсімдіктерді радиацияға ұшырату, кейде радиациялық селекция деп те атайды және мутагендік селекцияның қосалқы классы болып табылады. Радиациялық өсіру 1920 жылдары Миссури штатының Льюис Стадлер жүгері мен арпаға рентген сәулелерін қолданған кезде ашылды. 1928 жылы Штадлер алғаш рет өсімдіктердегі радиациялық әсер ететін мутагенез туралы өз тұжырымдарын жариялады [31].

Мутаген дозасы жоғары немесе төмен жиілікте болуы мүмкін. Бастапқыда өлім дозасы анықталады, одан кейін индукцияланған мутагенез үшін оңтайлы доза қолданылды. Мутацияның жиілігі сәулеленудің дозасына пропорционалды. Индукцияланған мутагенезге қолдануға болатын радиацияның түрлері: ультракүлгін және иондаушы сәуле (рентген, гамма-сәулелер, альфа және бета бөлшектері, протондар мен нейтрондар) болып табылады [32, 33].

Гамма-сәулелер рентгендік және ультракүлгін сәулесіне қарағанда көп энергияға ие және биологиялық тіндерге терең еніп әртүрлі мутацияны тудырады. Гамма сәулелері жасушаларға еніп, атомдар мен молекулалар электрондарды бөліп, әртүрлі химиялық реакцияларға тұрақсыз бос радикалдар мен иондарға айналады. Бұл реакцияның пайда болуы тікелей немесе жанама түрде, ДНҚ құрылымының азотты негіздеріне, нүктелік мутация туғызады. Иондаушы сәуле сонымен қатар хромосомалардың тұтастығын бұзатын фосфордиэфирлі байланыстарды бұзады, бұл әртүрлі хромосомалардың қайта орналасуына әкеледі. Радиацияның тіпті кішкентай деңгейін де мутагендік деп санауға болады. Осы заңдылықтарды түсіндіру үшін Ж.А. Кротер мен Ф.Дессоға 1924 жылы мақсатты теория ұсынды. Осы теорияға сәйкес, жасушада бір немесе бірнеше сәулеленуден мутацияға ұшырайды [34, 35].

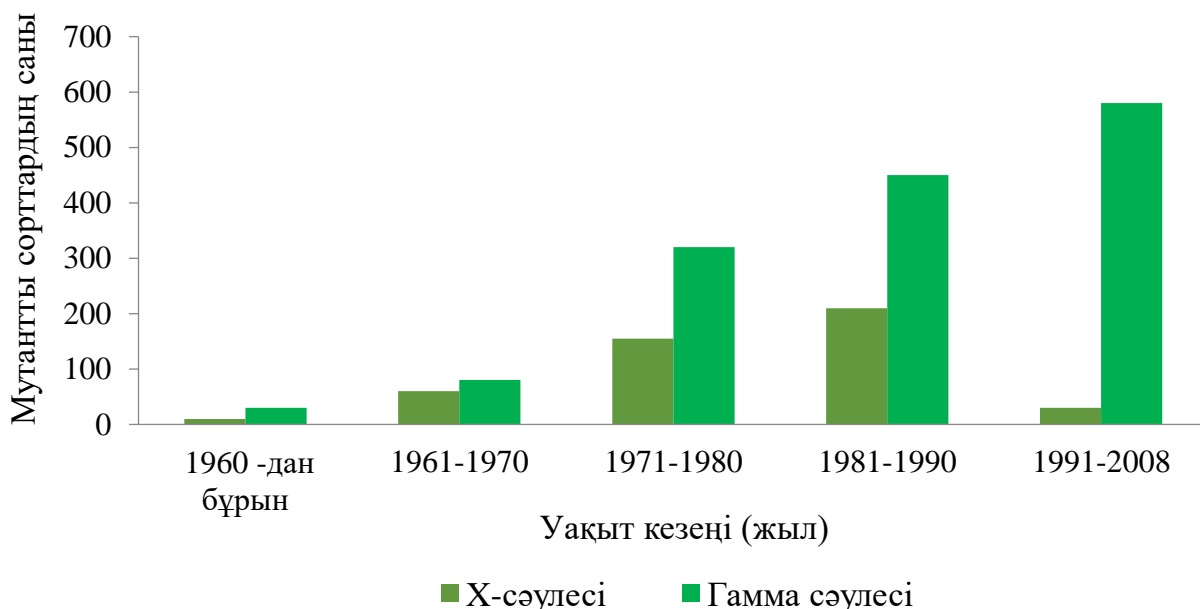
ДНҚ генетикалық материалына тікелей әсер ететін сәулеленуден әр түрлі мутация түрлері бар, олардың классификациясы мен әсерлері әдебиеттерде қарастырылғандай: интрагендік немесе нүктелік мутация (ДНҚ тізбегіндегі генде болатын), хромосомадағы құрылымдық мутация (инверсия, транслокация,

қайталану және жою) және хромосома санының өзгеруіне әкелетін мутацияға (полиплоидия, анеуплоидия және т.б. гаплоидия). Сонымен қатар, ядролық және экстрануклеарлы немесе плазмалық (негізінен хлоропласт және митохондриялы) мутациялар [36, 37].

Мутантты популяциядағы кез-келген бір өсімдіктердегі аз генетикалық өзгерістерден, жаңа сорт алуға мүмкіндік береді [38].

Дәстүрлі сұрыптау арқылы алынған сорттардың дәндеріндегі микроэлементтер биоқолжетімділігі қажетті деңгейден төмен болуымен шектеледі. Сондықтан астық дәндерінің морфометриялық белгілерін және тағамдық құнды параметрлерін кеңейту үшін мутациялық селекция қолданылады.

Физикалық мутагендердің химиялықпен салыстырғанда артықшылығы - мутанттарды жеткілікті көбейту, әсіресе гамма-сәулелер арқылы. Сәулелену арқылы алынған сорттар 90% (гамма сәулелерімен 64%, рентген сәулелерімен 22%) құрайды. Мутантты сорттарды жасау үшін жиі қолданылатын әдіс гамма-сәулесі болып табылады (сурет 3) [39].



Сурет 3 – Рентген және гамма-сәулелері арқылы алынған мутантты дақыл сорттарының жаһандық дамуы

Гамма сәулелері көбінесе зертханаларда радиоактивті кобальт ^{60}Co мутацияны жасау үшін қолданылды. Ол хромосоманың үзілуіне және нүктелік мутацияға әкеледі. Нейтрондар және гамма-сәулелерімен байланысты мутацияны зерттеу екі себепке байланысты ерекше қызығушылық тудырады: біріншіден, физикалық мутагенез әдістері экономикалық тұрғыдан құнды сорттар алу үшін қолданылады. Екіншіден, ядролық жарылыстардың генетикалық салдары ең алдымен мутагендік иондаушы сәулемен байланысты екендігі анықталды [40, 41].

Гамма-сәулелену дақылдардың физиологиялық өзгеруіне әкелді, дегенмен

гамма-сәулелену ауылшаруашылықта, өнеркәсіпте және медицинада кеңінен қолданылатын технология болып табылады, бірақ ауылшаруашылығында қолданылуында, сәулеленудің оңтайлы дозасы туралы ақпарат аз [42].

Өсімдіктің морфологиялық, құрылымдық немесе функционалды өзгерістері гамма-сәулеленудің қарқындылығы мен ұзақтығына байланысты. Қысқасы гамма сәулелерін пайдалану арқылы астық дақылдарының сапасын, қоректілік құндылығын арттыру кезек күттірмейтін маңызды зерттеулер болып табылады.

1.2 Астық дақылдарының дәндерінің мөлшері және пішіні

Астық дақыл дәндерінің мөлшері мен пішіні, астықтың өнімділігі мен сапасының маңызды құрамдас бөлігі болып табылады. Дәнді дақылдар өндірісі халықтың азық-түлік қажеттіліктеріне бейімделіп, үнемі дамуда. Астық дақылдары адамзаттың тамақтануының негізгі көздерінің бірі болып, дәнді дақылдардың сапасын өсірумен қатар морфологиясын кеңейту, дақылдар өндірісінде маңызды рөл атқарды, өйткені олар ұнның шығымы және сапалық сипаттамаларға айтарлықтай әсер етеді [43].

Бидай сорттарын жақсартуда, дәннің мөлшері немесе формасы қарастырылады. Астық дақылдарының массасының жоғарылауына үлкен үлес қосады [44].

Ірі дәндер егу қуатын арттырады, сонымен қатар далада құрғақ заттардың өндірілуіне ықпал етеді. Астықтың мөлшерін тұтасымен астықтың ені (ДЕ) және астық ауданы (ДА) сипаттауға болады, алайда дәнді пішіннің белгісі астық өсуінің негізгі бағыты бойынша анықтайды. Әдетте, астықтың шығымдылығы астықтың беткі қабатына көлемнің қатынасын арттыру арқылы күтіледі.

Астық пішіні дәннің ұзындығымен (ДҰ), дәннің енімен (ДЕ), сфералық және көлденең ось бойымен анықталады. Бидай тұқымдарының морфометриялық көрсеткіштерін астық нарығы мен өңдеу салаларының қажеттіліктеріне сәйкес жақсарту өте маңызды, өйткені бидай адам тұтыну үшін ұнның негізгі көзі болып табылады және оны пайдаланудың көптеген басқа түрлері бар, сондықтан астық морфологиясымен байланысты белгілердің генетикалық өзгерісін бағалау, бидай сорттарын генетикалық жақсарту үшін өте маңызды. Генетикалық әртүрліліктің өсуі бидайдың азық-түлік сапасы және түпкілікті тұтыну сапасын жақсаруы үшін, жақсы белгілерді қамтамасыз етуі мүмкін [45].

Маңызды морфологиялық белгілер, оның ішінде дән мөлшері, гүлдердің ұрықтануы, фотопериод сияқты процестер қатысатын көптеген гендерге байланысты. Бұл астықтың параметрлері полигендермен реттелетінін көрсетуі мүмкін. Фенотиптік белгілерге байланысты көптеген гендер анықтаған [46].

Морфологиялық белгілер тұқым қуалайды, бірақ көбінесе қоршаған ортаның әсеріне ұшырайды [47].

Бұрынғы уақытта дәндердің пішіні мен мөлшерінің генетикалық зерттеу бірнеше бағытта жүргізілген [48].

Бұл зерттеулер дерлік бидай хромосомаларында осы белгілерге бар екендігі туралы хабарлады. Бірнеше хромосомаларда, оның ішінде 2A [49], 2D [50], 4A

[51], 5A [52], 5B, 5D және 6A екендігі QTL арқылы анықталды [53, 54, 55]. Дән пішіні мен мөлшерінің генетикасына талдау жасайтын барлық зерттеулерде генотиптерден жасалған картографиялық популяциялар қолданылды.

Заманауи сорттарда сапалық артықшылықтарын жақсарту себебінен дәннің мөлшері ескі сорттармен салыстырғанда азайды. Алайда, қазіргі сорттармен салыстырғанда астық мөлшері мен формасының үлкен өзгергіштігі қарапайым гексаплоидты бидайда кездеседі [56].

Көптеген талдаулар қазіргі сорттарда астық мөлшері мен формасы айтарлықтай тұрақсыз болатындығын көрсетті. Сонымен қатар, гексаплоидты бидайды одан әрі іріктеу және құндылығы бар ауылшаруашылық дақылдарын кеңінен қолдану қаржылық шығынға әкеледі [57].

Бидай дәндерінің мөлшері мен формасы сапаның маңызды құрамдас бөлігі болып табылады. Астық мөлшері ұнның әртүрлі қасиеттеріне, мысалы ақуызға және гидролизденген ферменттердің белсенділігіне әсер етті, бұл түпкілікті пайдалану сапасын анықтайды [58]. Өнімділіктің құрамдас бөліктерін, астықтың морфометриялық параметрлерін және микроэлементтермен био-байытуды жақсарту үшін жаздық бидай өсіруге кешенді тәсіл жасалды.

Біздің зерттеуімізде әр түрлі сорттарға сәулеленудің әртүрлі дозалары қолданылды. Жеңіс, Алмакен және Эритроспермум-35 мутантты линиялары астықтың ауданы, ұзындығы, ені және сапасы сияқты астық параметрлерін жақсартуға перспективті донорларды ұсынады. Алынған мәліметтер гамма-сәулелену нәтижесінде пайда болатын генетикалық вариациялардың маңызды параметрлері арасындағы байланысты тексеру үшін қолданылды [59, 60].

Осылайша, бидайдың мутантты линияларын морфологиялық арасындағы генетикалық өзгеріс астықтың пішіні мен мөлшерін бақылауға қатысатын жаңа генетикалық локустарды немесе аллельдерді анықтауға көмектеседі. Бұл бидайдың өнімділігі мен сапасын одан әрі жақсарту үшін оңтайлы дән мөлшері мен формасын қамтамасыз ететін аллельдерді қолдануға мүмкіндік береді.

1.3 Бидай дәндерінің сапасы

1.3.1 Бидай дәндеріндегі белок мөлшері

Бидай дәндеріндегі белок мөлшері (БМ) нан өндіруге, оның түпкілікті пайдалану сапасына және тағамдық құндылығына әсер ететін факторлардың бірі болып табылады [61]. Қазіргі коммерциялық бидай сорттарының дәндеріндегі жалпы БМ-нің өзгеріс ауқымдылығы шектеулі, ал дәндеріндегі БМ жоғары болған сорттарды сұрыптау және кешенді генетикалық бақылау өте қиын [62].

Осы фактілерге байланысты, Бидай дәндеріндегі БМ өсіру бағдарламаларын, БМ жоғары құнды үлгілерді, нан өндірісі үшін, ал БМ төмен үлгілерін жемшөппен басқа өнеркәсіптік мақсаттар үшін қолданды. Бидай дәндеріндегі БМ жақсарту әрекеттерінің сәтсіз болуы келесі себептерге байланысты:

1) Бидай дәндеріндегі БМ-не қоршаған орта айтарлықтай әсер етеді [63,64,65];

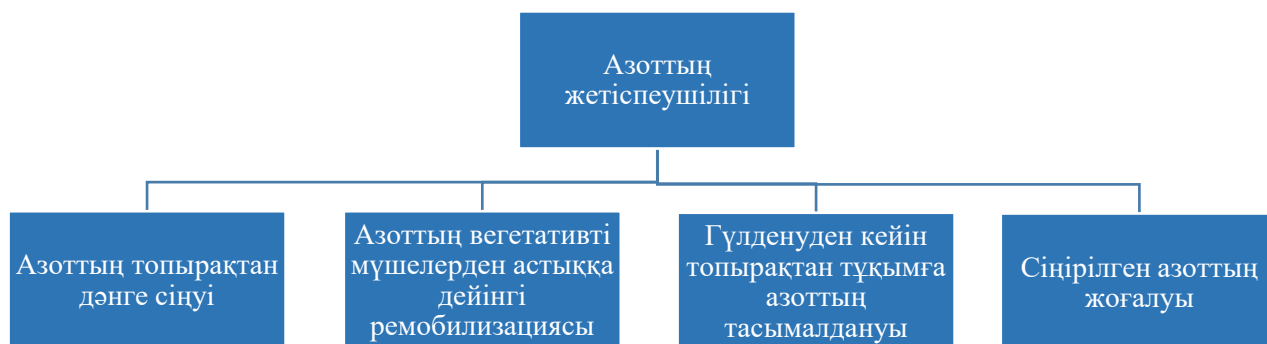
2) Бидай сорттарының дәндеріндегі БМ жоғары болғанмен, өнімділігіне кері

байланыста [66];

3) Бидай дәндеріндегі БМ жоғары болуы, астықтың азотпен қамтамасыз етуілуімен тікелей байланысты. Климаттық жағдайдағы температураның жоғарылауы және CO₂ деңгейінің төмендеуі, бидай дәніндегі БМ-нің тапшылығын жоғарылатады деп болжануда [67].

Австралия мен Канадада астық дақылдарын асылдандыру процесінде астықтың өнімділігі жоғары болған сорттардың дәндеріндегі БМ -нің оңтайлы деңгейі 13-14% құраған және бидайдың бұл сорттарды нан өнімдерінің сапасын жоғарлату мақсатында түрлі зерттеу жұмыстарында пайдаланған [68].

Бидай сорттарының қазіргі сипаттамалары бойынша өнімділікті төмендетпестен, N көп мөлшерде пайдалана отырып, БМ жоғары болған бидайдың құнды генотиптерін жасау өте маңызды, бірақ азоттың жетіспеушілігі салдарынан, бұл процесс өте күрделі. Кейбір зерттеушілердің пікірінше, бидайдың өнімділігі мен дәндеріндегі БМ арасындағы байланыс, теріс байланыс. Олар 4-суретте көрсетілген [69,70].



Сурет 4 – Бидай дәндеріндегі азот жетіспеушілігі

Сонымен, қазіргі өнімді бидай сорттарының дәндеріндегі БМ деңгейінің жақсаруы, астық дақылдарын азотпен қамтамасыз етуілуінің жақсаруымен байланысты. Бидай дәндеріндегі БМ-нің деңгейі жоғары болуын қамтамасыз ету үшін топырақтағы азот мөлшерін 180-200 кг/га-дан жоғарылату қажет. Кейбір жағдайларда температура және басқа факторлар астықтың азотпен қамтамасыз етілуіне кері әсер етуі мүмкін [71,72].

Осы мәселелердің бәрін шешу үшін қосымша күш қажет. Азотсыз, бидай дәндерінің БМ жақсарту жолдарын іздеу қажет. Осыған байланысты бидай дәндерінің БМ гендік қорын зерттеу және осы сапалық белгінің генетикалық вариациясын анықтау қажет. Бұл көптеген уақытты және күшті қажет етеді.

1.3.2 Астық дақылдарының дәндеріндегі Zn және Fe мөлшері

Fe және Zn жетіспеушілігі әлем халқының жартысынан көбінде кездеседі, әсіресе дамушы елдерде денсаулық сақтаудың жаһандық проблемасы болып табылады [73]. Адам организмінен микроэлементтердің жеткіліксіз болуы, денсаулығына әсер ететін «жасырын аштық» деп аталады. Қазіргі уақытта

микроэлементтердің жеткіліксіздігінен зардап шеккендердің саны артып келеді [74]. Көптеген аурулар мен балалардың өлімінің үштен екісі осы микроэлементтердің жетіспеушілігіне байланысты [75].

Темірдің жетіспеушілігі жалпы денсаулыққа, гипоксия мен жүрек жеткіліксіздігіне, аналардағы, балалардағы және жүкті әйелдердегі анемияға және жүкті әйелдердегі ұрықтың дамуына кері әсері болуы мүмкін. Әлемде анемия, жалпы өлімнің 20% құрайды [76].

Мырыштың жетіспеушілігі темір сияқты қазіргі уақытта адам денсаулығына қауіп төндіретін негізгі фактор болып саналады, оның ішінде физикалық өсу, иммундық жүйе, репродуктивті жүйелер мен оқу қабілеттері, инфекция, ДНҚ зақымдалуы және қатерлі ісік қаупі жоғарылайды. ДДҰ-ның ауру мен аурудың даму қаупі факторлары туралы есебіне сәйкес Zn тапшылығы әлемдегі ең маңызды 20 фактордың ішінде 11-ші орында тұрған. Бидай - бұл адам мен жануарлар үшін маңызды қоректік заттардың негізгі арзан көзі. Ол адамның күнделікті рационына қажетті қоректік заттардың көп бөлігін ұстайды [77, 78].

Бидай сорттарының дәндерінде микроэлементтердің көзі нашар болып табылады, әсіресе Zn және Fe. Бидай дәндерінде олардың мәнделері 20-дан 35 мг/кг-ға дейін тіркелді. Бұл мөлшер адамның тамақтануы үшін жеткіліксіз [79, 80]. Бидайдың тетраплоидты және гексаплоидты сорттарында микроэлементтердің генетикалық ауқымдылығы өте тар [81].

Бидай сорттар үшін Zn және Fe мөлшері туралы мәліметтер 2-кестеде келтірілген.

Кесте 2 – Бидайдың әртүрлі заманауи сорттарындағы Fe және Zn концентрациясының диапазоны

Генотиптердің саны	Fe, мг/кг	Zn, мг/кг	Анықтама
43	22-34	21-35	[82]
25	44-54	26-32	[83]
27	35-56	26-40	[84]
132	29-57	25-53	[85]
384	30-73	27-85	[86]
28	33-46	7-10	[87]
14	30-38	26-34	[88]
51	27-42	16-27	[89]
57	34-66	29-46	[90]
19	24-78	20-159	[91]
113	24-109	35-100	[92]
22	52-80	69-139	[93]

Талдау үшін пайдаланылатын астық сорттарының түрлері, Бірдей далалық жағдайда өсірілген.

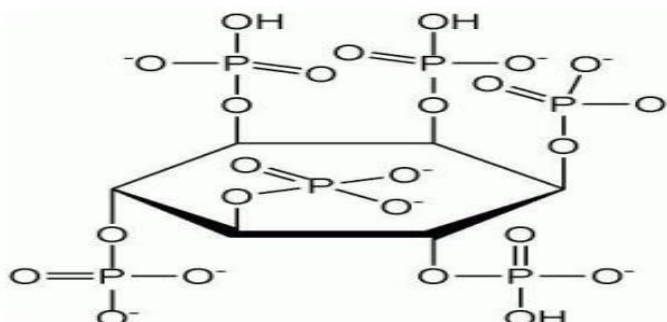
Бидай сорттарындағы маңызды микроэлементтерді генетикалық жақсарту, микроэлементтердің жеткіліксіздігінің жаһандық проблемасын шешудің экономикалық тиімді әдістерінің бірі болып табылады. Ол үшін бидайдың тиімді сорттарын генетикалық жақсартудағы негізгі белгілерді анықтау және селекциялық бағдарламаларда, кең таралған генетикалық вариацияны қажет етеді.

Коммерциялық бидаймен салыстырғанда, жабайы түрлерде Fe және Zn концентрациялары жоғары, генетикалық ресурс болып табылады. Жабайы бидай *Triticum turgidum ssp dicoccoides* Zn мөлшерінің генетикалық өзгерісі 14-тен 190 мг/кг-ға дейін, ал Fe мөлшері 15-тен 109 мг/кг-ға дейін өзгертіні анықталды [94, 95]. Fe және Zn сияқты микроэлементтер өсімдіктердің өмір сүруі мен көбеюі үшін аса қажет. Топырақта мол болуына қарамастан, әсіресе рН жоғары және кальцийлі топырақтарда Fe және Zn аздап ериді. Бірақ қазіргі уақытта селекциялық зерттеулер, негізінен дақылдардың қоректік құндылығына емес, өнімділігін арттыруға бағытталған [96, 97].

1.4 Астық дақылдарының дәндеріндегі фитин қышқылы және микронутриенттердің биоқолжетімділігі

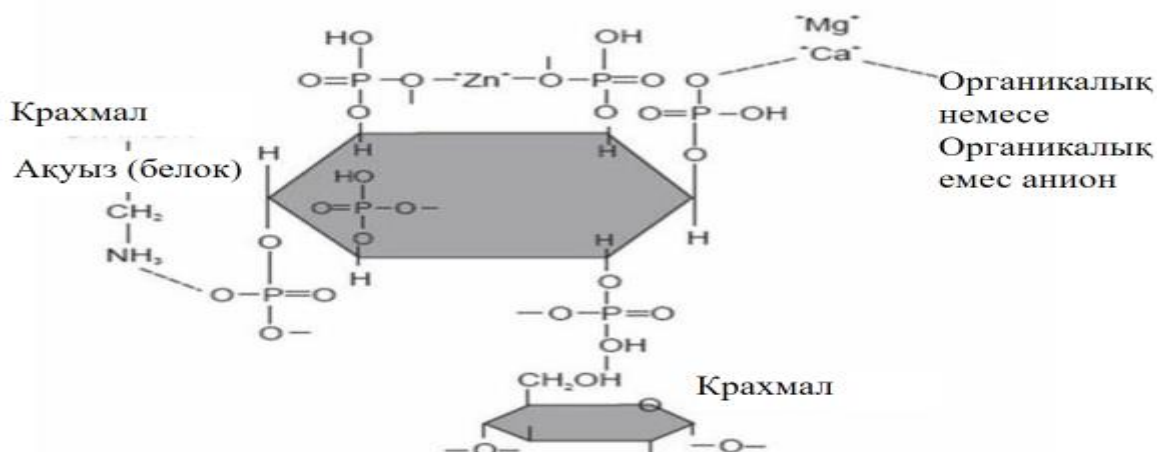
Фитин қышқылы ($C_6H_{18}O_{24}P_6$) инозитол гексафосфаты (IP_6) ретінде де белгілі және 6 фосфат ионымен байланысты мио-инозитол сақинасынан тұрады. Негізінен дәндер мен тұқымдарда фитат мырыш (Zn^{2+}) және темір (Fe^{3+}) сияқты минералды катиондардың аралас тұзы ретінде белгілі фитаттың негізгі физиологиялық рөлі қоректік заттарды сақтау болып табылады, дәндердің өну кезінде эндогендік фитазалардың көмегімен фосфор бөлінеді (сурет 5). Фитат термині әдебиеттерде фитаза субстраты ретінде жиі кездеседі, ал өсімдіктерде Ca, K және Mg бар IP_6 кешені түрінде болады [98, 99].

Фитин қышқылындағы фосфат топтары мен инозитол сақинасы арасындағы эфирлік байланыстарды гидролиздеу үшін құстар мен жануарлардың жемдеріне ингредиенттер қосады. Фитат өсімдік тұқымында болатын жалпы фосфордың 80% құрайды [100]. Бірақ күйіс қайыратын жануарларда фосфор қолжетімді емес, себебі ас қорыту жолында фитат молекуласындағы күрделі эфирлік байланыстарын гидролиздеуге, фосфорды босатуға қажетті фитаза ферментіне жетіспеушілігіне байланысты [101].



Сурет 5- Фитин қышқылы молекуласы

Фитат молекулалары теріс зарядталғандықтан, қоректік маңызды минерал (мысалы, Ca, Mg, Zn және Fe), ақуыз (ферменттерді қоса) және крахмал сияқты оң зарядталған молекулалармен байланысып (сурет 6), оларды аз еритін немесе толық ерімейтін формаға айналдырады және олардың сіңуіне, қорытуына кері әсер етеді. Сондықтан фитат жануарларды азықтандыруда «қоректікке қарсы фактор» ретінде сипатталған [102, 103].



Сурет 6 – Фитат-ақуыз-крахмал кешенінің молекуласы

Фосфор жануарлар үшін маңызды минерал болып табылады және ол жасушалық зат алмасуда, жасушалық реттеу механизмдерінде және сүйектерде маңызды рөл атқарады. Сүйек ағзадағы фосфордың көп бөлігін құрайды, атап айтқанда 85% [104]. Зерттеулерде құстарда фитат-фосфорының сіңімділігі 10%-қа дейін төмен болса, бұл моногастральды жануарларда фитат-фосфорының нашар қорытылуы, асқазан-ішек жолындағы фитазаның жеткіліксіз мөлшеріне байланысты [105].

Фосфорға қатысты алаңдаушылық, мал азығын өндіруге кететін шығын және олардың тағамдық құндылығын жоғарлату байланысты зерттеулер қазіргі кезде өте өзекті мәселелер болып отыр.

Минералды заттардың сіңімділігін фитат азайтады. Минералды заттардың сіңуі ішектің жоғарғы бөлігінде жүреді. Фитин қышқылының молекуласында болатын фосфат топтарында бір немесе екі оттегі атомы болады, олар теріс зарядталғандықтан рН бейтарап кезінде катиондармен байланыса алады. Бұл байланыс бір немесе бірнеше фитин қышқылы молекуласындағы фосфат топтарының санына байланысты күшті немесе әлсіз болуы мүмкін және осы катиондармен ерімейтін комплекстер түзеді, бұл олардың сіңірілу мүмкіндігін азайтады. Ерімейтін кешендер нәтижесінде, минералдың сіңіруі тежеледі. Мырыш – ішектің жоғарғы бөлігінде рН 6 болғанда, фитатпен ерімейтін кешен түзеді, бұл Zn тапшылығын тудырады. Екінші жағынан, сілтілі рН жағдайында фитат екі валентті катиондардың (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Zn^{2+}) қатысуымен комплекстер түзеді, олар теріс зарядталған карбон тобы мен фитат арасында көпір қызметін атқарады. Сонымен қатар, Военго және т.б. тауықты фитатпен (натрий фитаты

ретінде) казеиндік жүгері крахмалы негізіндегі жеммен тамақтандырғанда Са, Mg, Na және К-ның ішек арқылы сіңімділігінің 2%-ға төмендегенін жазған. Равиндран және т.б. (2006) зерттеуінде етті тауықты фитин қышқылы және жүгері-соя ұнымен қоректендіру кезінде Са мен Fe-дің ішекте сіңімділігі төмендегені байқалған [106, 107]. Ферменттердің белсенділігі мен қоректік заттардың сіңуінің төмендеуіне байланысты кейбір бактериялардың шамадан тыс көбеюін және аш ішекте қорытылмаған заттардың жиналуына байланысты бактериялық ашытуды күшейтеді [108].

Фитат хелатының әсері рН жағдайларына байланысты. рН төмен кезінде фитат аргинин, лизин және гистидинмен байланыса алады, нәтижесінде ерімейтін кешен пайда болады [109].

Равиндран және т.б. (2000) бройлерлерді (етті тауық) фитаттың 3 түрлі деңгейі бар бидай-құмай-соя ұнымен қоректендіру кезінде барлық маңызды кешеннің ішекте сіңімділігі төмендегенін байқаған, кейінірек фитат концентрациясы жоғары жүгері-соя ұны негізіндегі жеммен қоректендіргенде АҚ-ның сіңірілуінің төмендеуін айқын байқады [110].

Минералды заттарға келетін болсақ, АҚ сіңімділігін төмендеуі, белоктағы АҚ-мен фитин қышқылының комплекс түзуімен түсіндіруге болады. Ол асқазан мен аш ішектегі диеталық ақуыздармен байланысып, олардың қорытылуын азайтады. Құс етінде протеин-фитат кешендерінің пайда болу ықтималдығы жоғары болған, себебі асқазан ішек жолдарының рН төмен [111, 112].

Экзогендік фитаза негізінен дақылда белсенді болғандықтан, фитаза фитатты гидролиздеу арқылы белок-фитат кешендерінің түзілуін болдырмайды. Екінші жағынан, дақылдағы жоғары рН фитаза белсенділігін төмендетіп, минералды-фитат кешендерінің түзілуінің жоғарылауына әкелуі мүмкін. Демек, ішектің әртүрлі бөліктерінде байқалатын рН өзгерістері фитатқа әсер етуін өзгертуі мүмкін және фитаттың гидролизін міндетті түрде көрсетпейді [113].

1.5 Микроэлементтердің (Zn және Fe) астық дақылдарында сіңірілуі және транслокация механизмдері

Топырақтан бидай өсімдігіне микроэлементтердің сіңірілуі тек оның концентрациясы мен биожетімді формаларға байланысты емес, сонымен қатар фитин қышқылы сияқты хелаттаушы агенттердің мөлшеріне де байланысты. Ол бидай дәнінде көп мөлшерде кездеседі. Микроэлементтердің дәнге сіңірілуі, жинақталуы және тасымалдауы көптеген гендер арқылы бақыланатын күрделі процесс. Өсімдіктер топырақтан жеткілікті мөлшерде Fe сіңіруі үшін әртүрлі стратегиялар әзірленген [114, 115].

Fe сіңірілу механизмдерін Ромхельд пен Маршнер зерттеп, оларды екі категорияға бөлді (сурет 7):

Fe-дің сіңірілуі топырақтың рН-ына және оның тотығу-тотықсыздану потенциалына байланысты. Fe ерімейтін темір оксидтерін түзе отырып, жоғары рН-да оңай тотығады. Керісінше, төмен рН деңгейінде темір (Fe^{3+}) оксидтен босатылды, сондықтан тамырларға оңай сіңіріледі. Fe сіңіру үшін екі стратегия бар, I стратегия, шөптесін өсімдіктерде (мысалы; күнбағыс, көкөністер)

металлдардың сіңірілуі Fe^{3+} ерігіштігін арттыратын АТФазалар арқылы плазмалық мембранадағы H^+ протондардың бөлінуімен сипаттаған [116, 117]. II стратегия немесе хелация стратегиясы; Ал бидайдың топырақтан Fe-ді сіңіріуіне осы стратегия (II стратегия) пайдаланады [118].

Бұл стратегияның негізгі қадамы Fe хелаторларын өндіру болып табылады, яғни мугин қышқылы (МА) фитосидерофорлар (ФС). Бұл ФС S-аденозил-L-метиониннен никотианамин синтаза (НАС), никотиан аминаминтрансфераза (НААТ) және дезоксимугин қышқылы синтазасы (ДМҚС) катализдейтін реакциялар сериясы арқылы өндіріледі [119].

Фитосидерофорлар мугин қышқылдары (МК) синтезіне тәуелді және бейорганикалық ерімейтін (Fe [III]) хелаттанып, Fe^{3+} -ФС комплекстерін түзеді және Fe сіңірілуіне ықпал етеді [120, 121]. Метионинмен белсендірілген S-аденозил метионин (SAM) биосинтезіне қатысады

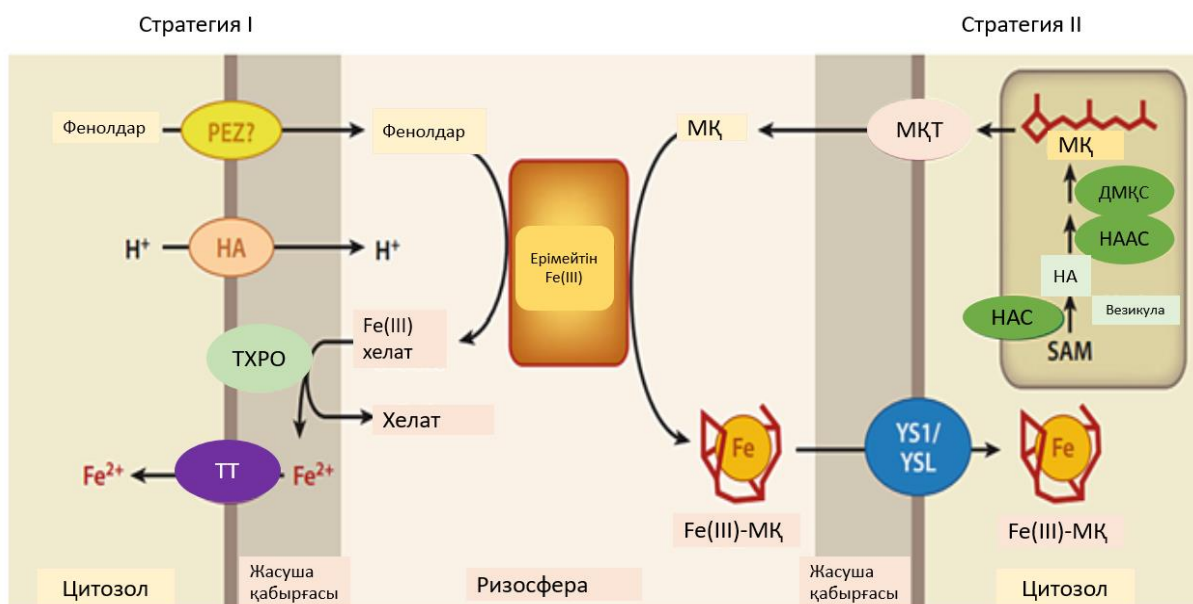
Никотианаминсинтаза (НАС) S-аденозилметиониннен НА синтезделуін катализдейді. Бидайда барлығы 21 НАС гендері анықталды. Никотианамин (НА) Fe сіңірілу, тасымалдау/транслокация және гомеостаз процестеріне қатысатын ферменттерді кодтайтын гендерді белсендіреді [122]. НА метаболизмінде Fe сіңуінде маңызды рөл атқаратын Fe хелаторы болып табылады (сурет 7) [123].

НА деңгейінің жоғарылауы дәндегі Fe және Zn-тың жоғарылауына әкеледі, өйткені НА осы металдардың мобилизациясын арттырады [124].

Никотианамин аминотрансфераза (НААТ) және дезоксимугин қышқыл синтазасы (ДМҚС) НА-нен МК биосинтезін катализдейді [125]. НААТ арқылы НА трансаминденуі тек дақылды өсімдіктерде жүреді, бұл II стратегияның бірінші қадамында көрсетілген. II- Стратегияда Fe- жетіспейтін жағдайларда өсірілген дәнді дақылдарда (мысалы, бидай, арпа, жүгері, күріш) мугин қышқылдары (МК) тұқымдасы фитосидерофорлар (ФС) деп аталатын метионин туындылары никотианамин (НА), 2'-дезоксимугин қышқылы (ДМК) бөлетіні белгілі болды. Сонымен қатар, ДМҚС тікелей Fe алу үшін хелаторлар ретінде топыраққа тасымалданады, немесе олар әрі қарай басқа МК-ға өзгереді [126, 127]. Құрамында HvNAAT-A плюс HvNAAT-B бар арпа геномының фрагменттерін күрішке енгізу DMA секрециясының жоғарылауына және әкті топырақтарға айтарлықтай төзімділікке әкелді [128].

Бидайда МК секрециясымен Fe сіңуіне жауапты гендер *TaNAAT*, *TaДМҚС*, *TaYSL*, *TaZIFL* және тағы басқалары сипатталады [129]. Олар өсімдерде жұмыс істейді, металлдардың ксилема мен флоэма арқылы жапырақтардан дәнге тасымалдауына ықпал етеді. Биофортификация НА-ге бағытталған, өйткені ол цитрат сияқты кең таралған метаболит емес, екі валентті металлдарды тасымалдауға тікелей қатысады [130,131].

Fe^{3+} -ФС кешендері күріште YSL тасымалдаушылары арқылы тасымалданады. Бидайда да YSL гендері транскриптомды талдау арқылы анықталды [132,133].



Сурет 7 – Өсімдіктердегі темірдің сіңірілу стратегиялары

Темір тасымалдаушыларды кодтайтын дәнді дақылдардың *YSL15* гендері күріште жақсы зерттелген. Мысалы, әдебиеттерде *OsYSL15* гені Fe тапшылығы жағдайында күріште хелатталған Fe^{3+} -ДМК және Fe^{3+} -НА түрінде Fe-дің тасымалдануын жеңілдететіні туралы жазылған [134].

Бидайдағы мугин қышқылының тасымалдаушысы (МКТ) Fe тапшылығы жағдайында бидай тамырларында жоғары реттеледі [135].

Мугин қышқылы тасымалдаушылар Күріш (*OsМКТ1*) және арпада (*HvМКТ1*) ДМК-мен байланысып, оны тамырдан топыраққа экспорттайды. ДМК топырақтағы Fe (III) хелаттайды және одан әрі ДМК-Fe (III) кешені түзіледі. Өсімдіктерде МКТ1 Fe (III) ДМК-хелатталған түрінде ксилемаға және флоэмаға тасымалдауға көмектеседі [136].

Бидайда негізгі спираль-іلمек-спираль *TabHLL1* гені ТФ гендерінің бір түрі. Қоректік заттарды тасымалдаушы гендердің транскрипциясын және оттегінің гомеостазын реттей отырып, өсімдіктердің фосфор мен азот жетіспеушілігіне төзімділігін арттырады. Транскрипция факторы өсімдіктердің дамуы мен стресстік реакциялар үшін өте маңызды. Транскриптомды жан-жақты талдау *bHLL* гендерінің әртүрлі бидай тіндерінде дифференциалды түрде экспрессияланатынын және көптеген абиотикалық және биотикалық стресстерге жауап беретінін көрсетті [137]. Дәннің ішіндегі ферритин кешендері макроэлементтерді жинақтау (вакуольде Fe және Zn үшін де) маңызды болып табылады. Жарма өсімдіктерде Fe гомеостазында Fe мөлшерінің өте аз бөлігі ғана ферритинде жинақталады, қалған металдың көп бөлігі вакуольдерде жиналады. Өсімдік ферритині Fe синтезі арқылы бақыланатын негізгі белок. Ферритин транскриптінің деңгейі Fe артық болған кезде байқалады, өсімдіктерде Fe гомеостазы қоршаған орта жағдайларына бейімделу қабілетін арттырады [138, 139].

Zn-тың сіңуін анықтайтын негізгі фактор топырақтың рН-ы болып

табылады, ол топырақтағы мырыштың ерігіштігіне әсер етеді. Су тектік көрсеткіштің (рН) төмен болуы Zn адсорбциясын күшейтеді және нәтижесінде топырақ ерітіндісіндегі Zn қолжетімділігін төмендетеді. Топырақ ылғалдылығы, өсімдік тамырларына диффузия процесі арқылы Zn сіңімділігіне және қолжетімділігіне әсер ететін физикалық фактордың бірі болып табылады. Топырақта Zn жетіспеушілігі байқалған кезде топырақ ылғалдылығының көрсеткіші маңызды [140]. Zn өсімдіктерде негізінен екі валентті катион Zn^{2+} түрінде сіңіріледі және көптеген белоктар Zn-тың гомеостатикалық реттелуі үшін өте маңызды, мысалы; (1) репродуктивті жапырақтар мен тіндерге Zn тасымалдайтын сары жолақ тәрізді (YSL) белоктар тобы [141], (2) Вакуольдерде Zn сақтауға қатысатын металлға төзімді белоктар (МТБ) тобы, (3) Zn-тың тамырға транслокациясына табиғи төзімділікпен байланысты макрофаг 4 (NRAMP4) белогы қатысады. Zn-тың вакуольге тасымалдануын да, оның потенциалының артуын да, ауыр металдық АТФазалар (АМА) белогы қатысады [142]. Zn-тың тамырларға енуі никотианамин арқылы жүзеге асады, комплекстер түзеді, кейіннен тамырлы тіндерге тасымалданады.

Қазіргі кездегі зерттеу мәліметтері бидай генотиптерінің Fe гомеостазына қатысатын нақты гендердің реттелуін анықтауда жеткіліксіз. Жаздық нан бидайының мутантты линиялары дәндеріндегі Fe және Zn мөлшерінің жоғарылауы бізге Fe түзілу процесіне қатысатын гендер туралы жаңа түсінік қалыптастырды және бидай биофортификациясының жаңа көздерін анықтауға мүмкіндік береді. Мутагенез арқылы Fe және Zn мөлшерін арттырудың көптеген жолдарының ішінде, азық-түлік дақылдарын биофортификациялау, минералдың тапшылығын азайту стратегиясы. Биофортификацияға бағытталған селекция арқылы заманауи дәнді дақылдардың сорттарын генетикалық жақсарту арқылы микроэлементтердің жетіспеушілік проблемасын шешу. Индукцияланған мутагенез – климаттың өзгеруі жағдайында тұрақты ауыл шаруашылығының қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін, құнды сорттардың плазмасының көздерін жасау үшін қажетті генетикалық вариацияны шығарудың ең күшті құралдарының бірі [143,144].

2 ЗЕРТТЕУ НЫСАНДАРЫ ЖӘНЕ ӘДІСТЕРІ

2.1 Зерттеу нысандары

Үш жергілікті жазғы бидай Жеңіс, Алмакен, Эритросперум-35 (*Triticum aestivum L*) сорттарының бірыңғай мөлшердегі тұқым базалық материал ретінде алынды (Шамамен 12% ылғалдылық). Әрбір жергілікті сорттардан 3000 дән алынып, Қазақ ядролық орталығында Co^{60} сәулесінің 100 Гр- және 200 Гр-мөлшерімен өңделді. Алынған (M_1 - M_5) мутантты ұрпақ 2009 жылдан 2015 жылға дейінгі аралықта Қазақ егіншілік және өсімдік шаруашылығы ғылыми – зерттеу институтының егіс алаңында өсірілді. Зерттеу жұмысына жалпы 90 мутантты линияның (Жеңістен 30 линия, Алмакеннен 30, Эритросперум-35-тен 30 мутантты линия) M_5 ұрпағы және Жеңіс, Алмакен, Эритросперум-35 сорттары алынды.

Жеңіс сортынан алынған 30 линия атап айтқанда, гамма сәулесінің 100 Гр-дозасымен өңделген 5(4), 6(4), 6(5), 6(13), 13(3), 18(5), 24(1), 24(2), 25(2), 26(6), 26(7), 26(9), 26(10), 30(1), 36(1) және 200 Гр- дозасымен өңделген 43(1), 43(3), 43(4), 45(1), 45(2), 45(3), 48(3), 49(2), 49(4), 49(6), 50(7), 51(1), 51(2), 51(8), 53(2) нөмерленген линияларынан құралған.

Алмакен сортынан алынған 30 линия, гамма сәулесінің 100 Гр-дозасымен дозаланған 75(2), 76(2), 76(3), 79(1), 79(5), 81(1), 82(2), 82(4), 82(5), 84(2), 84(4), 89(5), 89(8), 91(1), 91(2) және 200 Гр-дозасымен дозаланған 94(2), 94(4), 95(2), 95(3), 95(5), 95(7), 95(8), 98(1), 98(2), 98(4), 98(6), 101(1), 101(3), 101(5), 101(6) линияларынан тұрады.

Эритросперум-35 сортынан алынған 30 линия яғни, гамма сәулесінің 100 Гр-дозасымен алынған 105(1), 108(1), 113(1), 113(5), 118(1), 118(2), 118(3), 135(1), 136(1), 138(6), 140(2), 140(3), 140(4), 232(1), 242(2) және 200 Гр-дозасымен алынған 144(1), 144(2), 149(2), 150(7), 152(1), 152(4), 152(5), 152(6), 152(7), 152(8), 153(4), 153(5), 153(6), 153(7), 153(8) линиялары.

Сондай-ақ мутантты линияларды бағалау, бастапқы мутантты емес бақылау сорттармен салыстырмалы түрде жүргізілді (M_1 - M_5) мутантты линиялардан ең жақсы линиялар таңдалып, егіс алаңына өсірілді [145]. Әр мутантты линиялардың нәтижелері Жеңіс, Алмакен, Эритросперум-35 сорттарымен салыстырмалы бағаланды. Әр жол ұзындығы 2 м, ені 1,20 м болатын үш жер аймағында өсірілді, жолдар арасы 20 см және бір қатарға 30 дана дән отырғызылды. Агрономиялық тәжірибеге сәйкес топырақ қоңыр түсті (рН = 7,5); топырақтың жоғарғы қабатындағы бос фосфор мөлшері 16,3 ден 17,8 мг/кг-ға дейін, ал алмастырылатын калий құрғақ топырақтағы мөлшері 451 ден 498 мг/кг дейін болды. Сонымен қатар, күзде фосфат ретінде суперфосфат (19%) және аммоний фосфаты (46%) 250 кг/га қолданылды. Көктемде аммоний нитраты ретінде азот (46%) 100 кг/га қолданылды.

2.2 Зерттеу әдістері

2.2.1 Өнімділік параметрлерін талдау

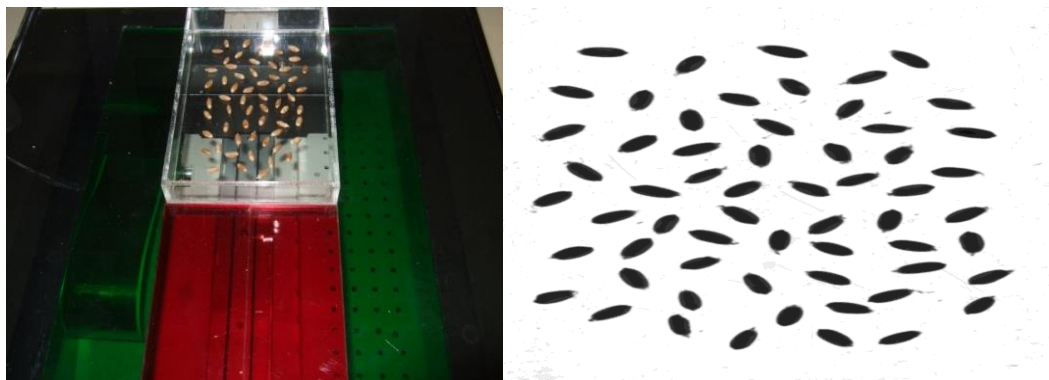
Жергілікті жазғы бидай Жеңіс, Алмакен, Эритросперум-35 (*Triticum*

aestivum L.) сорттары және олардан алынған M₅ мутантты ұрпағының келесі параметрлері өлшенеді:

- Негізгі масақтағы дән саны;
- Негізгі масақтағы дән салмағы, г;
- Өсімдіктегі жалпы дән салмағы, г;
- 1000 дән салмағы, г.

2.2.2 Бидай дәндерін морфометриялық өлшеу

Дәндерді морфометриялық өлшеу Тель-Авив университетінің (Израиль) өсімдіктердің экология және молекулалық биология кафедрасы, Дәнді дақылдарды жақсарту институтының зертханасында WinRHIZO (2007, АҚШ) кескін талдау жүйесінде жасалынды. Әр мутантты линиялардан 50-60 дән алынып, дән ұзындығы (ДҰ), дән ені (ДЕ), дән ауданы (ДА) өлшенді және дән ұзындығы (ДҰ)/ені (ДЕ) арасындағы қатынас коэффициенті есептелінді.



Сурет 8 – дәндердің мөлшерін өлшейтін құрылғы және кескіні

2.2.3 Бидай дәндерін биохимиялық талдау

2.2.3.1 Дәндегі белок мөлшерін анықтау

Белок мөлшерін анықтау үшін Grain AZX-50 portable grain analyzer (фирма Zeltex, АҚШ) автоматты бағдарламамен қамтамасыз етілген калибрлеуші құралы қолданылды. Бұл спектрофотометр стандартталған аналитикалық Къелдал әдісін пайдаланып, бидайдағы белоктың құрамындағы азотты анықтайды. Құрал астық дәндеріне арналған. Белок мөлшерін анықтау үшін 25-30 дана астық дәні алынады, үш қайталама негізінде анықтау жүргізіледі. Дәндегі белоктың мөлшері пайыздық өлшеммен көрсетіледі.

2.2.3.2 Дәндегі Fe және Zn мөлшерін анықтау

Үлгілер (M₅ мутантты линиялар және Бақылау сорттары) SDS 0,1% ерітіндісінде жуылады, артынан дистилденген сумен шайылып, 65-70°C температурада тұрақты салмаққа дейін кептіріледі. Содан кейін араластырғыш диірменді (RETSCHE MM400 GmbH) пайдалана отырып ұнтақталды, одан кейін 0,2 г үлгіге азот қышқылы (HNO₃ 65%, analytical grade) және сутегінің асқын тотығы (30% H₂O₂) (5:1, v/v) қоспасы қосылып, автоматты K-438 және scrubber K-415 (BUCHI Corporation, АҚШ) жүйелеріндегі температура бағдарламасын

пайдаланып, 70°C та 40 мин, 90°C 45 мин, 150°C 3 сағат, 180°C 1 сағат дейін қыздырып, содан кейін 25°C дейін салқындатылды. Үлгілерді Duran D50 шыны жүйесінде (GFL 2102, Германия) дистильденген сумен көлемін 20 мл жеткізілді. Бидайдың құрмындағы микроэлементтер концентрациясын анықтау үшін атомдық-абсорбциялы спектрометр (Analytic Jena NovAA350, Германия) қолданылды. Атомдық спектрлер бойынша элементтерге сандық анализ жасалды. 70 элементке дейін анықтау мүмкіншілігі бар болып, дән құрамындағы элементтердің мөлшерін мг/г өлшемімен көрсетеді. микроэлементтер мөлшерін тексеру үшін 0,3% HNO₃ арқылы сұйылтылған LLC “HromLab”, Zn 7837-2000, Fe 7835-1212000 стандартты үлгілер пайдаланып, үш қайталама негізінде жүргізілді.

2.2.4 Дәнде жинақталған микроэлементтердің локализациясын бояу әдісі арқылы анықтау

2.2.4.1 Перлс пруссиялық көк бояу әдісі (Perls бойынша) арқылы дәндегі Fe локализациясын анықтау

30°C температурада 40 минут бойы инкубациялаудан кейін сәл ісінген піскен дәндер платинамен қапталған скальпельді пайдаланып көлденең және ұзына бойына кесіліп, 60 минут бойы Перлс пруссиялық көк бояу ерітіндісімен боялады (2% калий гексацианоферраты II және 2% тұз қышқылы), содан кейін ионсыздандырылған суда екі рет жуылады.

2.2.4.2 Дитизонат бояу әдісі арқылы дәндегі Zn локализациясын анықтау

Бидай дәніндегі Zn локализациясын зерттеу үшін дитизонат көмегімен бояу әдісі жасалды (DTZ, дифенилтиокарбазон) Цинк-дитизон кешені түзіп, қызылдан күлгінге дейін түс береді (McNary, 1954). Жоғарыда айтылғандай, сәл ісінген піскен дәндер платинамен қапталған скальпельді пайдаланып көлденең және ұзына бойына бөлінді, 60 минут бойы DTZ бояу ерітіндісінде боялады (99,8% трихлорметандағы 0,05% [г/л] DTZ), содан кейін сумен мұқият шайылды.

2.2.5 Дәндегі фитин қышқылының (ФК) мөлшерін анықтау

Фитин қышқылын анықтау үшін бірқатар өзгертулер енгізілген мегазим сандық әдіс жинақ (Megazyme K-PHYT 05/17, 2017) нұсқаулығы қолданылды. 2,0 г дән үлгісі араластырғыш диірменінде (Retsch MM400 GmbH) ұнтақталудан пайда болған ұнды, 15 мл флакон түтікшесіне салып, үстіне 10 мл HCl (0,66 M) құйып, бөлме температурасында тербелмелі араластырғышқа (8 сағ) қойылды. Одан кейін 1 мл ұн ертіндісін 13000 айналымда 8 минутқа центрифугада (Eppendorf Centrifuge 5417R, Германия) центрифугаланды. Оның үстіңгі бөлігіндегі супернатанттан 0,3 мл алып, жаңа eppendorf пробиркаға ауыстырамыз. Оған 2:1 қатынасында NaOH 0.75M:HCl 0.66M ертіндісін қосамыз. Бақылау үлгісіне 0,1 мл HCl 0,66 M ертіндісін қосып, осыдан кейін, биофотометр (Eppendorf BioPhotometer plus, АҚШ) арқылы 655 nm толқы ұзындығында өлшенді, мегазим нұсқаулығына сәйкес фитин қышқылының (ФК) мөлшері есептелінді. Фитин қышқылының мөлшері мг/кг түрінде көрсетілді.

2.2.5.1 ФК:Fe және ФК:Zn молярлық қатынас коэффициенттерін есептеу

Фитин қышқылы (ФК), Fe және Zn мөлшерінің молярлық массаларын атомдық массаларына бөлу арқылы мольге айналды (сәйкесінше $660,04 \text{ моль}^{-1}$, 660 моль^{-1} , $55,85$ және $65,4 \text{ г моль}^{-1}$). Содан кейін ФК:Fe және ФК:Zn молярлық коэффициенттері есептеледі.

2.2.6 Өсімдіктерді өсіру жағдайлары

Эритросперум-35 сорты және оның 144(1) және 153(5) M₅ мутантты линиялары ылғалды сүзгі қағазында 7 күн бойы өсірілді. Өсімділер жылыжай жағдайында гидропоникалық жүйеге ауыстырылды ($22^{\circ}\text{C}/18^{\circ}\text{C}$, 16 сағат жарық/8 сағат қараңғы цикл және 60% ылғалдылық). Өсімдіктер Fe мөлшері жеткілікті болған, соның ішінде $0,88 \text{ mM K}_2\text{SO}_4$, $2 \text{ mM Ca}(\text{NO}_3)_2$, $0,2 \text{ mM KH}_2\text{PO}_4$, $1,0 \text{ mM MgSO}_4$, $0,1 \text{ mM KCl}$, $1,0 \text{ mM H}_3\text{BO}_3$, $1,0 \text{ mM SO}_4$, $1,0 \text{ mM SO}_4$, $0,02 \text{ mM }(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$, $1,0 \text{ mM ZnSO}_4$ және $100 \text{ mM F (III)-EDTA}$ ерітінділерде (pH 6) өсірілді. Эритросперум-35 сорты және оның екі мутантты линиясының гидропоникалық ерітіндісі әр 7 күн сайын ауыстырылып, ерітіндінің pH деңгейі аптасына екі рет реттелді. Айналымды жақсарту үшін гидропоникалық ерітіндіге ауа үздіксіз берілді. Гидропоникалық ерітіндіге трансплантациялаудан кейін 42 күннен соң тамырлар мен жапырақтар талдау үшін алынды. Әрбір үлгі үшін үш қайталама жиналды.

2.2.7 РНҚ экстракциясы және қДНҚ синтезі

Жалпы РНҚ изол-РНҚ лизис реагентінің (5 PRIME GmbH, Гамбург, Германия) көмегімен 42 күндік өсімдіктердің тамырлары мен жапырақтарынан алынды. Экстракцияланған РНҚ-ның 1 мкл 1% агарозды геледе тексерілді. Әрбір РНҚ үлгісі (2 мкг) 1 мкл ДНҚаза-мен (Life Technologies, Thermo Fisher Scientific, Вильнюс, Литва) өңделді, содан кейін RevertAid First Strand cDNA Synthesis Kit (Life Thermoolog, Fisher Scientific, Вильнюс, Литва) көмегімен 20 мкл көлемде қДНҚ синтезі жүргізілді. Барлық процедуралар өндірушілердің нұсқауларына сәйкес орындалды.

2.2.8 Нақты уақыттағы ПТР бағдарламасы арқылы Fe гомеостазына қатысатын гендердің экспрессиясы

Сумен сұйылтылған қДНҚ үлгілері (1:10) qPCR талдаулары үшін нақты уақыттағы ПТР жүйесімен (LightCycler 480 Instrument II, Рош, Базель, Швейцария) qPCR протоколына сәйкес талданды [146]. Әрбір ұяшықтағы үлгілердің жалпы көлем (10 мл) 5 мл SYBR Green PCR Master Mix (Applied Biosystems, Waltham, АҚШ), 3 мл сұйылтылған қДНҚ және 1 мл-ден 3 mM F және R праймерлері (Кесте 3), өндірушінің ұсынысы бойынша. Термиялық циклдің шарттары 50°C температурада 2 минут инкубацияланды, 10 минут бойы 95°C температурада инициализацияланды, содан кейін 95°C температурада 15 секунд денатурацияны және 60°C температурада 1 минут бойы өңделді. Бұл цикл 40 рет қайталанды. Сондай-ақ ампликон өлшемдері мен праймер тиімділігі бар 10 праймерлердің тізбегі 3-кестеде берілген. Праймердің тиімділігі

стандартты қисық арқылы келесі формуламен есептелді: $E = 10^{(-1/көлбеу)}$. Әрбір qPCR тәжірибесі үш рет қайталанды.

Кесте 3 – Зерттеуде qPCR үшін пайдаланылған праймерлер

Ген атауы	NCBI косылуы	F және R	Секвенс (5'-3')	Ампликон мөлшері	Праймер тиімділігі	
1	<i>TaSAMC</i>	HP612105 (Ta.69768)	F	GCGCACGATCTCTCGTAGT	61	2,00
			R	GTCATGGTCTTTGGCGAG		
2	<i>TaHAC1</i>	JP215700.1 (Ta.37977)	F	AGGCGCACTACTCCGACA	61	1,83
			R	GAAGATGCCGAGGTGGTC		
3	<i>TaHAAT2-B</i>	BT009504 (Ta.4977)	F	GACCATTTAGCCAAGGTTGC	64	1,85
			R	TACCTCGTCAGCAATCACCA		
4	<i>TaДМҚ1-А</i>	AB269908 (Ta.5335)	F	CACCGTCAATCAGGTGGAG	68	1,88
			R	CCTCTGCAGAACTCCCTCA		
5	<i>TaМҚТ</i>	JP874085 (Ta.5180)	F	TGGAGAATGCAATGATAGGTTTT	72	1,86
			R	AGATGTTTTGCCCTCGCTGTT		
6	<i>TabHLH</i>	CD872522 (Ta.34545)	F	GGCTAGGTAGCTACGTTCCATC	51	2,00
			R	TGATCCATCACAGGCAGTTG		
7	<i>TaYSLA</i>	HP631418 (Ta.48303)	F	TGCATGGAACCAAGATAAACAAG	68	2,00
			R	ACATATCAAAGCGGATGCAA		
8	<i>TaVIT2-D</i>	BE426855 (Ta.22757)	F	GGCCTCGGAGGGTATCTG	64	1,86
			R	ACAGTATGTCCGCGATCTCC		
9	<i>TaNRAMP</i>	AK334756 (Ta.13247)	F	TGAAAGGAGCTTCTGATCG	51	2,00
			R	GCCTGCTTGATGGTCTTTG		
10	<i>TaFer1A-D</i>	HP635522 (Ta.5220)	F	GAGTGTGGCACTTCGATCAG	61	2,00
			R	CGTAGTCGTCGTCGTGTCCTTCA		
11	<i>ATP- 26S протеасома реттеушісі</i>	TC353778 (Ta.22845)	F	GCTGGCTCGTTCAACTGATG	202	1,87

2.3 Статистикалық талдау

Барлық анализ мәндері компьютерлік R (R Core Development Team 2013) программасының 3.0.2 версиясы көмегімен, жергілікті жаздық бидай Жеңіс, Алмакен, Эритросперум-35 (*Triticum aestivum L*) сорттарынан алынған M₅ мутантты линиялар дәндерінің сапалық және биохимиялық анализдеріне байланысты дәнінің өнімділік параметрлері: негізгі масақтағы дән саны және салмағы, өсімдіктердегі жалпы дән салмағы, 1000 дән салмағы, дәндерің морфометриялық мөлшері. Белок, Fe және Zn мөлшері анықталынды. Бір мезгілде мәндерді бірнеше салыстырулар мақсатында The simultaneous tests of general linear hypotheses (Dunnett Contrasts) тесті пайдаланылды. Соңғы нәтиже орташа мән ± стандартты ауытқу бойынша көрсетілді. Статистикалық маңызды саналған дәлділік *p*-мәні ең төмен болғанда 0,05 көрсетті. Бір жақты ANOVA және Excel бағдарламасы арқылы жүзеге асырылды. Өнімділік параметрлері, дәннің морфометриялық мөлшері және дәннің қоректік сипаттамалары (Fe, Zn және ФК мөлшері) арасындағы корреляция коэффициенттері (r^2) және *p* мәндері GenStat бағдарламалық құралының көмегімен есептелді.

3 ЗЕРТТЕУ НӘТИЖЕЛЕРІ ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛДАУ

3.1 Гамма сәулесінің 100 Гр- және 200 Гр- дозаларымен өңделген жаздық бидайдың M₅ мутантты линияларының өнімділік компоненттерінің скринингі

Жаздық бидайдың генетикалық алуан түрлілігін кеңейту үшін гамма сәулелену дозасының екі деңгейін (100 Гр және 200 Гр) қолдана отырып, Қазақстанның жергілікті жағдайларына бейімделген Жеңіс, Алмакен және Эритросперум-35 үш сортынан жаңа генетикалық тұрақты M₅ мутантты линиялары алынды.

Бұл мутациялық ресурстардың өнімділік компоненті, соның ішінде негізгі масақтағы дәндердің саны мен салмағы, өсімдіктегі жалпы дәндердің салмағы және 1000 дәннің салмағы анықталды. 100 Гр- және 200 Гр- сәулелену дозаларымен өңделген мутантты линиялардың өнімділік компоненттерін, ата-аналық сорттармен салыстырғанда едәуір айырмашылық байқалды. Зерттеуде Жеңіс мутантты линияларының нәтижелері 4-кестеде, Алмакен мутантты линияларының нәтижелері 5-кестеде және Эритросперум-35 мутантты линияларының нәтижелері 6-кестеде көрсетілген.

Жеңіс мутантты линияларының өсімдіктегі жалпы дәндерінің салмағы мен 1000 дәннің салмағында айтарлықтай айырмашылықтар байқалды (кесте 4). 100 Гр- дозамен өңделген линияларда 1,64-тен 8,87 г-ға дейін ауытқыған өсімдіктегі жалпы дәндердің салмағының орташа мәні $4,6 \pm 2,3$ г ($c=225$) көрсетті (кесте 3) және 5(4), 6(4), 6(5), 6(13), 18(5) және 25(2) нөмерленген 6 генотиптер (40%) Жеңіс сортына қарағанда 2,27-ден 3,28 есеге айтарлықтай жоғарылағаны анықталды. Сәйкесінше, 200 Гр- дозамен өңделген мутантты линияларда өсімдіктегі жалпы дәндердің салмағы 1,69-дан 14,74 г-ға дейін ауытқыған, орташа мәні $4,8 \pm 3,9$ г ($c=225$) көрсетті. 45(1), 48(3), 49(2), 49(4), 51(1) және 51(8) таңбалаған 6 мутантты линиялар (40%), Жеңіс сортына қарағанда 2,24-6,55 есеге жоғарлады (кесте 4).

Айтарлықтай маңызды өзгеріс Жеңіс мутантты линияларының 1000 дәннің салмағында анықталды (кесте 4). Бұл өнімділік компонентінің өзгерісі 100 Гр-дозамен өңделген мутантты линияларда 33,21-ден 51,69 г-ға дейін болып, орташа мәні $41,54 \pm 4,81$ г ($c=225$), тек 2 линияның (13,3%), 5(4), 24(2) 1000 дәннің салмағының көрсеткіші, бастапқы сорт Жеңіске қарағанда 1,31-1,36 есеге жоғарлады. 200 Гр- дозаланған мутантты линияларда 1000 дәннің салмағының өзгергіштігі 34,92 г - 74,65 г аралығында болып, орташа мәні $44,25 \pm 9,24$ г ($c = 225$) құрды (кесте 4). Мутантты линия (20%), 43(4), 49(4), 49(6)-ның 1000 дәннің салмағы, Жеңіс сортына қарағанда 1,25-1,96 есеге жоғарлағаны анықталды (кесте 4).

Өнімділік компоненттерінің ішінде, екі түрлі сәулелену нәтижесінде алынған Жеңіс мутантты линиялардың, негізгі масақтағы дәндердің саны мен салмағының мәндерін Жеңіс сортымен салыстырғанда айтарлықтай айырмашылық болған жоқ.

Кесте 4 – 100 Гр- және 200 Гр- сәулесімен өңделген жаздық бидай Жеңіс сортының M₅ мутантты линияларының бастапқы сортпен салыстырғандағы өнімділік компоненттерінің көрсеткіштері

Генотиптер/ Мутанттар		Негізгі масақтағы дәндердің саны	Негізгі масақтағы дәндердің салмағы, г	Өсімдіктегі жалпы дәндердің салмағы, г	1000 дәннің салмағы, г
Жеңіс сорты		40,64±9,27	1,57±0,44	2,25±0,81	38,08±3,67
100 Гр- сәулесімен дозаланған M ₅ мутантты линиялар	5(4)	43,60±5,54	1,75±0,25	6,91±3,05 ^{***}	49,86±1,11 ^{***}
	6(4)	44,43±7,29	1,70±0,38	8,87±4,14 ^{***}	37,17±1,75
	6(5)	48,73±7,35	1,99±0,30	5,10±1,37 ^{**}	33,21±2,49
	6(13)	46,27±7,09	1,90±0,32	5,75±1,07 ^{**}	36,01±2,81
	13(3)	38,06±11,1	1,71±0,40	2,59±0,83	41,02±1,36
	18(5)	34,02±8,19	1,36±0,57	7,39±3,90 ^{***}	39,69±1,85
	24(1)	39,52±12,2	1,13±0,33	1,64±0,53	38,93±1,14
	24(2)	43,86±12,9	1,32±0,30	2,64±0,86	51,69±1,58 ^{***}
	25(2)	45,00±6,71	2,02±0,37	7,23±1,30 ^{***}	40,37±1,01
	26(6)	44,94±7,74	2,08±0,36	4,93±1,99	42,51±3,14
	26(7)	47,38±10,6	2,06±0,50	4,65±1,05	39,57±1,51
	26(9)	42,60±6,90	1,85±0,35	3,59±1,09	43,57±3,04
	26(10)	47,14±5,64	2,04±0,29	3,67±1,61	42,64±0,26
	30(1)	27,53±10,1	1,17±0,45	1,87±0,62	44,65±2,25
	36(1)	34,17±9,63	1,36±0,51	2,16±0,72	42,14±2,83
200 Гр- сәулесімен дозаланған M ₅ мутантты линиялар	43(1)	42,17±9,60	1,64±0,51	2,61±0,72	44,30±0,26
	43(3)	39,11±5,34	1,87±0,63	1,69±0,58	41,21±1,15
	43(4)	45,36±4,48	1,63±0,32	2,01±0,34	74,65±1,62 ^{***}
	45(1)	37,33±6,22	1,93±0,25	5,01±0,28 ^{**}	39,43±1,59
	45(2)	35,26±7,34	1,64±0,62	2,46±0,37	37,23±1,02
	45(3)	39,48±7,65	1,41±0,37	2,27±0,52	38,54±1,39
	48(3)	52,57±5,88	2,10±0,26	5,73±1,45 ^{**}	42,41±0,46
	49(2)	52,33±9,93	2,25±0,47	8,91±2,19 ^{***}	44,23±3,29
	49(4)	54,13±9,98	2,35±0,50	14,7±5,69 ^{***}	47,66±2,51 [*]
	49(6)	47,31±6,12	1,0±0,67	1,96±0,54	49,33±2,68 ^{**}
	50(7)	34,23±7,95	1,53±0,36	2,66±0,59	44,92±1,99
	51(1)	48,11±6,23	1,93±0,28	8,99±1,69 ^{***}	39,60±2,26
	51(2)	40,42±8,39	1,77±0,37	2,69±0,83	43,64±2,46
	51(8)	48,11±6,23	1,93±0,28	8,99±1,69 ^{***}	41,71±2,01
	53(2)	31,82±6,93	1,27±0,36	1,90±0,63	34,92±4,73
<i>Ескерту</i> – әрбір қайталаудың орташа мәні ретінде он бес масақтар/өсімдіктер таңдалып алынды. Бастапқы ата-аналық сорттан айтарлықтай жоғары линиялар [*] , ^{**} , және ^{***} белгілерімен ерекшеленді, мәні тиісінше 0,05, 0,01 және 0,001 ықтималдық деңгейлерінде белгіленді.					

Жеңіс 100 Гр- және 200 Гр-мен дозаланған линиялардың, негізгі масақтағы дәндердің санының ауытқу диапазоны 27,53 - 48,73 және 31,82 - 54,13 болғанда, тиісінше орташа мәні $41,15 \pm 6,78$ ($c=225$) және $43,18 \pm 7,11$ ($c=225$) көрсетті (кесте 4). 100 Гр- және 200 Гр- сәулелерімен өңделіп алынған, мутантты линиялардың негізгі масақтағы дәндердің салмағының орташа мәні $1,70 \pm 0,34$ г ($c=225$) болғанда, оның өзгерістері 1,00-2,35 г аралығын құрды (кесте 4). Жеңіс M_5 мутантты линияларының өнімділік компоненттерін жалпы қарастырғанда, өсімдіктегі жалпы дәндердің салмағы және 1000 дән салмағы бойынша, 100 Гр- және 200 Гр- дозалармен алынған генотиптерден, тек 5(4) және 49(4) линиялары ғана анықталды (кесте 4).

Алмакен сортымен салыстырғанда 100 Гр- және 200 Гр- сәулелену дозалары арқылы алынған M_5 мутантты линияларының нәтижелерін егжей-тегжейлі талдауда, гамма сәулесінің өнімділік параметрлеріне мутациялар тудырғанын байқауға болады және ең үлкен өзгергіштік өсімдіктегі жалпы дәндердің салмағы мен 1000 дәннің салмағында байқалды (кесте 5). 100 гр-мен өңделген линияларда өсімдіктегі жалпы дәндердің салмағының ауытқуы 1,82-ден 9,80 г-ға дейін болған, ал орташа мәні $4,0 \pm 1,9$ г ($c = 225$) көрсетті. 8 генотиптің (53,3%) 76(2), 76(3), 79(1), 81(1), 82(2), 82(5), 84(2) және 89(5) өсімдіктегі жалпы дәндерінің салмағы, Алмакен сортына қарағанда айтарлықтай жоғарлады (кесте 5). 200 Гр-мен дозаланған M_5 2 генотиптің (13,3%), 101(1) және 101(5) линияларының жалпы дәндерінің салмағы Алмакен сортымен салыстырғанда анағұрлым жоғары болды (кесте 5). 100 Гр-мен өңделген 8 Алмакен M_5 мутантты линиялардың (26,7%), атап айтқанда 76(2), 76(3), 81(1), 82(2), 82(4), 84(2), 101(3), 101(5) негізгі масақтағы дәндерінің санының өзгергіштігі 26,0-дан 56,1-ге дейін артты ($c = 225$) (кесте 5). Бірақ негізгі масақтағы дәндердің салмағы бойынша M_5 мутантты линиялар мен Алмакен сорты арасында елеулі айырмашылық байқалмады.

Алмакен мутантты линиялардың 1000 дәннің салмағы 34,12-ден 57,53 г-ға дейін өзгергенде, сәйкесінше орташа мәні $48,0 \pm 5,8$ г ($c = 225$) болды (кесте 5). 1000 дәннің салмағының өзгергіштігі, басқа өнімділік параметрлерімен (негізгі масақтағы дәндердің саны мен өсімдіктегі жалпы дәндердің салмағы) салыстырғанда жоғары екендігі байқалды. 100 Гр-мен алынған мутантты линиялардың 1000 дәннің салмағының орташа мәні $48,81 \pm 2,05$ г ($c = 225$) анықталып, диапазоны 39,77-ден 57,53 г-ға дейін өзгеріп отырды (кесте 5). 9 генотиптің (60%), атап айтқанда 79(5), 81(1), 82(5), 84(2), 84(4), 89(5), 89(8), 91(1) және 91(2) 1000 дәннің салмағы Алмакен сортынан айтарлықтай жоғары сипатталды (кесте 5).

Ал 200 Гр-мен өңделген мутантты линияларда, 1000 дәннің салмағы 34,87-ден 54,20 г-ға дейін өзгеріп, орташа мәні $47,27 \pm 1,91$ г ($c=255$) көрсетті (кесте 5). 4(2), 95(8), 98(1), 98(2), 98(4), 98(6), 101(1), 101(3), 101(5) және 101(6) нөмірленген 10 генотип (66,7%) бастапқы сортқа қарағанда жоғары мәндерді көрсетті. Алмакен 81(1), 84(2) және 101(5) M_5 3 мутантты линияның (10,0%), негізгі масақтағы дәндердің саны, өсімдіктегі жалпы дәндердің салмағы және 1000 дәннің салмағының көрсеткіші, ата-аналық сортқа қарағанда жоғарылаған.

Кесте 5 – 100 Гр- және 200 Гр- сәулелері арқылы алынған М₅ мутантты линияларды, Алмакен сортымен салыстырғандағы өнімділік компоненттерінің көрсеткіштері

Генотиптер/ Мутанттар		Негізгі масақтағы дәндердің саны	Негізгі масақтағы дәндердің салмағы, г	Өсімдіктегі жалпы дәндердің салмағы, г	1000 дәннің салмағы, г
Алмакен сорты		30,33±8,21	1,55±0,52	1,94±0,07	34,12±1,17
100 Гр- сәулесімен дозаланған М ₅ мутантты линиялар	75(2)	29,00±1,00	1,48±0,42	2,16±0,39	41,90±2,01
	76(2)	49,9±7,94*	2,39±0,45	5,26±1,51***	44,00±1,85
	76(3)	54,00±9,07**	2,74±0,33	4,86±0,84***	39,77±1,29
	79(1)	48,9±4,53	2,47±0,32	5,49±0,95***	45,83±1,96
	79(5)	35,88±5,30	1,23±0,46	3,24±1,21	50,37±2,93***
	81(1)	49,50±6,32*	2,47±0,32	8,81±1,66***	51,30±1,75***
	82(2)	48,5±7,14*	2,30±0,58	7,30±1,92***	45,63±0,74
	82(4)	53,00±2,16**	2,81±0,22	3,63±1,78	46,27±2,64
	82(5)	49,1±8,69	2,58±0,57	9,8±1,82***	51,53±2,88***
	84(2)	55,00±5,01**	2,88±0,34	4,13±0,54**	52,27±1,42***
	84(4)	40,00±3,06	2,00±0,56	2,85±0,83	53,03±2,06***
	89(5)	47,75±5,39	2,10±0,47	5,02±0,82***	57,53±2,79***
	89(8)	43,40±4,42	2,46±0,47	3,87±0,82	53,73±1,63***
	91(1)	34,14±9,24	1,65±0,56	2,16±0,87	51,37±2,20***
91(2)	38,47±2,18	1,99±0,50	2,90±0,75	47,60±2,67**	
200 Гр- сәулесімен дозаланған М ₅ мутантты линиялар	94(2)	26,00±2,29	1,08±0,85	2,86±1,24	48,10±2,55**
	94(4)	36,25±3,09	1,17±0,54	3,47±1,21	38,40±1,67
	95(2)	37,33±3,22	1,19±0,44	2,80±1,53	39,20±0,92
	95(3)	27,00±2,16	1,55±0,08	2,32±1,05	37,73±2,91
	95(5)	28,00±3,52	1,17±0,30	1,82±0,60	44,70±1,93
	95(7)	30,50±5,80	1,21±0,27	2,67±1,56	34,87±1,80
	95(8)	34,39±9,01	1,68±0,52	2,30±0,88	54,20±2,14***
	98(1)	29,75±1,53	1,07±0,16	3,56±1,67	51,94±0,60***
	98(2)	44,20±6,46	1,46±0,59	3,44±0,96	53,18±2,64***
	98(4)	41,53±9,41	2,08±0,60	3,18±0,83	53,53±0,32***
	98(6)	34,39±9,01	1,68±0,52	2,30±0,88	48,73±2,96***
	101(1)	44,25±7,03	2,29±0,38	4,95±0,44***	53,50±2,03***
	101(3)	52,20±7,3**	2,85±0,39	3,98±0,52	48,97±2,70***
	101(5)	56,10±7,6***	2,94±0,46	4,33±2,76**	52,80±1,92***
101(6)	49,00±7,31	2,37±0,42	3,95±1,45	49,27±1,60**	

Ескерту – әрбір қайталаудың орташа мәні ретінде он бес масақтар/өсімдіктер таңдалып алынды. Бастапқы ата-аналық сорттан айтарлықтай жоғары линиялар *, **, және *** белгілерімен ерекшеленді, мәні тиісінше 0,05, 0,01 және 0,001 ықтималдық деңгейлерінде белгіленді.

Алмакен 100 Гр- дозамен өңдеу нәтижесінде 81(1), 82(5), 84(2), 84(4), 89(5) нөмірленген 4 мутантты линияның өсімдіктегі жалпы дәндерінің салмағы мен 1000 дәннің салмағы, Алмакен сортымен салыстырғанда айтарлықтай жоғары мәндерді көрсетті (кесте 5).

Эритросперум-35 сортынан, 100 Гр- және 200 Гр- сәулелену дозалары арқылы алынған мутантты линиялардың өнімділік параметрлері, негізгі масақтағы дәндердің саны және салмағы, өсімдіктегі жалпы дәндердің салмағы және 1000 дәннің салмағы бойынша бағаланды (кесте 6). 100 Гр-мен өңделген линияларда, жалпы өсімдіктегі дәндердің салмағы 2,34-тен 6,53 г-ға дейін өзгерді, орташа мәні $4,0 \pm 1,9$ г ($c = 225$) болды (кесте 6). 6 генотиптің (40,0%), атап айтқанда, 118(3), 135(1), 136(1), 138(6), 140(2) және 140(4) өсімдіктегі жалпы дәндерінің салмағы, бастапқы сорттан 2,39-4,32 есеге жоғарылағандығы анықталды (кесте 6). Мутантты 8 линияның (53,3%), олар: 144(1), 149(2), 152(1), 152(5), 153(5), 153(6), 153(7), 153(8) өсімдіктегі жалпы дәндердерінің салмағы, бастапқы сорт Эритросперум-35 сортымен салыстырғанда 2,48-ден 3,95-есеге дейін өскені анықталды.

Эритросперум-35 сорты және басқа мутантты линиялармен салыстырғанда, 100 Гр- дозамен алынған 4 мутантты линияның (26,7%), 118(3), 135(1), 140(2), 242(2), 200 гр-дозамен алынған 7 мутантты линияның (46,7%), 149(2), 150(7), 152(1), 152(5), 153(5), 153(6), 153(8) негізгі масақтағы дәндерінің саны, ата-аналық сорттан сәйкесінше, 1,53-1,56 есеге және 1,87-1,93 есеге жоғарлады (кесте 6).

Эритросперум-35 сорты мен оның M_5 мутантты линиялар арасында, негізгі масақтағы дәндердің салмағы бойынша елеулі айырмашылықтар анықталмады (кесте 6). Эритросперум-35 мутантты линияларының өнімділік компоненттерінің ішінде, 1000 дәннің салмағы, бастапқы сортқа қарағанда айтарлықтай жоғарлады (кесте 6). Барлығы 17 мутантты линияның (57,0%) 1000 дәннің салмағы Эритросперум-35 сортынан 1,35-1,72 есеге артқандығы зерттеу арқылы анықталды.

1000 дән салмағының орташа мәні 100 Гр- дозамен алынған Эритросперум-35 мутантты линияларда $46,98 \pm 8,27$ ($c = 225$), өзгеру диапазоны 27,64-тен 58,54 г-ға дейін болды (кесте 6). 1000 дәннің салмағы 200 гр- дозаланған мутантты линиялардағы орташа мәні $48,19 \pm 5,97$ ($c = 225$), ал мәндердің өзгеру аумағы 33,58-57,18 аралығында болды (кесте 6).

100 Гр- және 200 Гр- сәулелену дозасы арқылы алынған мутантты линияларды, Эритросперум-35 сортымен салыстырғанда негізгі масақтағы дәндердің саны, өсімдіктегі жалпы дәндердің салмағы және 1000 дәннің салмағы бойынша 8 (26,7%) генотиптің мәндері анағұрлым жоғары болды. Олар :118(3), 135(1), 140(2), 149(2), 152(1), 152(5), 153(5) және 153(6) (кесте 6).

M_5 138(6), 144(1) және 153(7) линиялардың (10,0%) өсімдіктегі жалпы дәндерінің салмағы және 1000 дәннің салмағы бойынша ата-аналық сортқа қарағанда айтарлықтай жоғарлаған (кесте 6).

Кесте 6 – Эритросперум-35 сорты мен 100 Гр- және 200 Гр- сәулелері арқылы алынған жаздық бидайдың М₅ мутантты линияларының өнімділік компоненттерінің көрсеткіштері

Генотиптер/ мутанттар	Негізгі масақтағы дәндердің саны	Негізгі масақтағы дәндердің салмағы, г	Өсімдіктегі жалпы дәндердің салмағы, г	1000 дәннің салмағы, г	
Эритросперум- 35 сорты	30,33±8,21	1,97±0,52	1,51±0,21	34,12±1,17	
100 Гр- сәулесімен дозаланған М ₅ мутантты линиялар	105(1)	38,33±7,51	2,26±1,25	2,34±0,71	41,86±1,02
	108(1)	37,33±5,13	1,69±0,27	2,42±0,51	42,17±2,05
	113(1)	43,67±7,37	2,01±0,34	2,72±0,56	39,63±0,78
	113(5)	43,00±4,36	2,22±0,33	3,28±1,39	45,34±0,82
	118(1)	40,33±8,01	1,42±0,53	2,70±0,27	39,32±1,74
	118(2)	44,67±1,16	2,20±0,07	2,85±0,34	49,97±0,84 ^{**}
	118(3)	46,33±6,25 [*]	2,70±0,47	3,61±0,72 [*]	49,88±0,58 ^{**}
	135(1)	56,33±4,47 ^{***}	2,64±0,45	6,53±0,52 ^{***}	58,54±1,49 ^{***}
	136(1)	42,33±6,11	2,53±0,12	6,13±0,18 ^{***}	53,54±2,27 ^{***}
	138(6)	45,66±5,06	2,05±0,49	6,37±0,63 ^{***}	50,11±2,83 ^{***}
	140(2)	56,67±3,61 ^{***}	2,77±0,67	4,01±0,73 ^{**}	57,23±1,78 ^{***}
	140(3)	40,00±2,03	1,91±0,16	3,13±1,04	56,94±2,16 ^{***}
	140(4)	42,33±4,93	1,88±0,17	3,68±0,32 [*]	48,51±2,38 ^{***}
	232(1)	30,33±5,51	1,46±0,38	2,48±0,46	27,64±1,56
242(2)	47,67±7,02 ^{**}	2,27±0,49	2,61±0,23	43,98±2,32	
200 Гр- сәулесімен дозаланған М ₅ мутантты линиялар	144(1)	44,33±3,79	2,22±0,21	4,32±2,28 ^{***}	49,67±1,89 ^{**}
	144(2)	41,10±3,52	1,80±0,03	1,84±0,41	33,58±2,49
	149(2)	55,34±2,31 ^{***}	2,63±0,04	5,37±0,64 ^{***}	57,18±1,23 ^{***}
	150(7)	52,34±3,65 ^{***}	2,29±0,38	3,01±0,23	49,89±1,24 ^{**}
	152(1)	47,33±6,66 ^{**}	2,37±0,35	3,75±0,42 [*]	46,21±2,75 [*]
	152(4)	42,00±3,01	1,88±0,30	2,48±0,60	46,86±2,33 [*]
	152(5)	50,43±4,04 ^{**}	2,43±0,12	4,28±0,96 ^{***}	51,77±1,39 ^{***}
	152(6)	42,67±4,62	2,22±0,16	3,07±0,21	49,18±2,42
	152(7)	41,33±1,53	1,92±0,04	2,24±0,65	45,59±1,88
	152(8)	38,00±4,58	1,73±0,23	3,14±0,47	43,23±1,68
	153(4)	39,67±2,52	1,83±0,07	3,22±0,23	45,87±1,42
	153(5)	58,67±4,02 ^{***}	2,87±0,58	4,43±0,87 ^{***}	53,77±1,86 ^{***}
	153(6)	51,75±3,42 ^{**}	2,48±0,78	5,97±1,37 ^{***}	54,56±1,38 ^{***}
	153(7)	44,30±3,69	2,07±0,32	5,03±0,74 ^{***}	54,17±2,36 ^{***}
153(8)	51,00±3,84 ^{**}	2,21±0,49	4,16±1,16 ^{***}	49,79±1,86	

Ескерту – Қайталаудың орташа мәні ретінде он бес масақтар/өсімдіктер алынды. Бастапқы сорттан айтарлықтай жоғары линияларды *, **, және *** белгілерімен ерекшеленеді, мәні тиісінше 0,05, 0,01 және 0,001 ықтималдық деңгейлерінде белгіленеді.

Эритросперум-35 200 Гр- дозамен сәулелену нәтижесінде 150(7) мутантты линиясының негізгі масақтағы дәндерінің саны мен 1000 дәннің салмағының мәндері және 153(8) мутантты линиясының негізгі масақтағы дәндердің саны мен өсімдіктегі жалпы дәндердің салмағының мәндері бастапқы сортпен салыстырғанда жоғары екендігі анықталды. 100 Гр- және 200 Гр- сәулелену дозалары арқылы алынған линиялардың негізгі масақтағы дәндер салмағын қоспағанда, негізгі масақтағы дәндердің саны, өсімдіктегі жалпы дәндердің салмағы және 1000 дәннің салмағы бір мезгілде ата-аналық сорттармен салыстырғанда, айтарлықтай жоғары болды (кесте 6).

Жеңіс, Алмакен, Эритросперум-35 сортын 100 Гр- және 200 Гр- сәулелерімен өңделіп алынған, М₅ мутантты линияларының өнімділік компоненттерінің арасындағы корреляция мәндері қосымша “Ә”, қосымша “Б”, қосымша “В” кестелерінде көрсетілген.

Өнімділік компоненттерінің мәні бастапқы сорттарымен салыстырғанда айтарлықтай артқан М₅ мутантты линиялардың саны 7-кестеде көрсетілген. Бұл өнімділіктің өзгергіштігін дамытуда, сорттардың генетикалық ерекшелігі маңызды рөл атқаратынын білдіреді [147].

Кесте 7 – Мутантты линиялардың өнімділік компоненттерінің мәні бастапқы сорттарымен салыстырғандағы айтарлықтай жоғары болған М₅ мутантты линиялардың саны

Мутантты линиялар	Негізгі масақтағы дәндердің саны		Негізгі масақтағы дәндердің салмағы, г		Өсімдіктегі жалпы дәндердің салмағы, г		1000 дәннің салмағы, г	
	100	200	100	200	100	200	100	200
Гамма сәулелері, Гр	100	200	100	200	100	200	100	200
Жеңіс	-	-	-	-	6 (40%)	6 (40%)	2 (13%)	3 (20%)
Алмакен	6 (40%)	2 (13%)	-	-	6 (40%)	10 (67%)	9 (60%)	10 (67%)
Эритроспер ум-35	4 (27%)	7 (47%)	-	-	6 (40%)	8 (53%)	8 (53%)	9 (60%)

Өзгергіштік коэффициентін табудың маңызы өте жоғары. Өсімдіктің жаңа сортын шығаруда алдымен үлгінің әр-түрлі белгілерінің өзгергіштік коэффициентін зерттейді. Өзгергіштік коэффициенті әр уақытта пайызбен көрсетіледі. Жеңіс 100 Гр- дозамен өңделген линияларда өсімдіктегі жалпы дәндердің салмағының өзгергіштік коэффициенті 50% болса, 200 Гр- дозамен өңделген мутантты линияларда 81,3% көрсетті (кесте 8). Айтарлықтай маңызды өзгеріс Жеңіс мутантты линияларының 1000 дәннің салмағында анықталды. Бұл

өнімділік компонентінің өзгергіштік коэффициенті 100 Гр- дозамен өңделген мутантты линияларда 11,57%-ды. 200 Гр- дозаланған мутантты линияларда өзгергіштік коэффициент 20,88 %-ды көрсетті. Алмакен 200 Гр-мен дозаланған линияларда өсімдіктегі жалпы дәндердің салмағының өзгергіштік коэффициенті, 100 Гр-мен өңделген линияларға қарағанда 1,78 есеге аз болды, бұл нәтиже, сәулеленудің төмен деңгейі жалпы өсімдіктегі дәндердің салмағына, көп өзгергіштік тудырғанын көрсетеді. Эритросперум-35 сортының 200 Гр-дозаланған мутантты линиялардан 6 %-ға жоғарылаған 1000 дәннің салмағының өзгергіштік коэффициенті 17,6%-ды көрсетті (кесте 8). Эритросперум-35 мутантты линияларда ең жоғары өзгергіштік 100 Гр-мен дозаланған мутантты линиялардың өсімдіктегі жалпы дәндердің салмағында байқалды және 40,44%-ды құрды (кесте 8). Эритросперум-35 өсімдіктегі жалпы дәндердің салмағының өзгергіштік коэффициентіне байланысты сәулеленудің төмен деңгейі көп өзгергіштік тудырғанын 8-кестедегі нәтижелерден айқын байқауға болады. Бірақ Алмакен мутантты линияларда негізгі масақтағы дәндердің саны мен салмағы 200 Гр-дозалануда артты, сәйкесінше мәндері 24,6 % және 37,2% көрсетті.

Кесте 8 – Жеңіс, Алмакен, Эритросперум-35 сортын 100 Гр- және 200 Гр- сәулелерімен өңделіп алынған, М₅ мутантты линияларының өнімділік компоненттерінің өзгергіштік коэффициенті

Жеңіс М ₅ мутантты линиялары	Өзгергіштік коэффициенті, %			
	Негізгі масақтағы дәндердің саны	Негізгі масақтағы дәндерің салмағы, г	Өсімдіктегі жалпы дәндердің салмағы, г	1000 дәннің салмағы, г
Жеңіс 100 Гр-мен өңделген линиялар	16,48	20	50	11,57
Жеңіс 200 Гр-мен өңделген линиялар	16,47	20,6	81,3***	20,88**
Алмакен 100 Гр-мен өңделген линиялар	17,5	21,88	48,43	4,20
Алмакен 200 Гр-мен өңделген линиялар	24,55**	37,21**	27,19	4,04
Эритросперум-35 100 Гр-мен өңделген линиялар	15,39	19,7	40,44**	17,6
Эритросперум-35 200 Гр-мен өңделген линиялар	13,35	15	31,47	11,77
<i>Ескерту – Жоғары мәндер **, *** белгілермен ерекшеленіп, тиісінше 0,01, 0,001 ықтималдық деңгейлерінде белгіленді.</i>				

Барлық ата-аналық сорттар мен 100 Гр- және 200 Гр- дозалармен алынған

мутанты линиялардың өнімділік компоненттерінің (негізгі масақтағы дәндердің саны, негізгі масақтағы дәндердің салмағы, өсімдіктегі жалпы дәндердің салмағы және 1000 дәннің салмағы) арасындағы өзара байланыстың бар-жоқтығын ANOVA дисперсиялық талдау арқылы дәлелденді (кесте 10). Дисперсиялық талдау (ANOVA) – деректер жиынын салыстыру үшін қолданылатын параметрлік статистикалық әдіс. Дегенмен, дисперсияны талдау (ANOVA) екіден астам түрлердің орташа мәндерін салыстырып, айырмашылықтарын тексеру үшін қолданылады [148].

Эритросперум-35 және оның мутантты линиялар арасындағы өзара байланысын ANOVA дисперсиялық талдауда, өнімділіктің барлық компоненттерінде елеулі айырмашылықтар бар екендігі 9-кесте көрсетілген.

Қорап сызбасы сандық деректердің локализациясын графикалық түрде көрсету әдісі. Қорап сызбасындағы интервалдар деректердің дисперсия (таралу) дәрежесін көрсетеді, олар әдетте бес санды қорытындылау арқылы сипатталады. Қорап сызбасы деректер алынған мәндер жиынының бес сандық қорытынды ортаңғы диапазон мәні, үшінші квантил және максимум мәні болып бөлінеді. Қорап сызбасы бірінші квантильден үшінші квантилге дейінгі мәндерді қамтиды. Жәшік сызбаларын көлденең немесе тігінен салуға болады.

Барлық ата-аналық сорттар мен 100 Гр- және 200 Гр- дозалармен алынған мутанты линиялардың өнімділік компоненттерінің өзара байланыстың бағалау және статистикалық талдау қорап сызбасы арқылы дәлелденді (Сурет 9, 10, 11).

Жеңіс мутантты линияларды талдауда, негізгі масақтағы дәндердің саны мен салмағы бойынша, жоғары және төмен сәулелену дозаларында елеулі айырмашылық байқалмады (сурет 9, кесте 9). Өсімдіктегі жалпы дәндердің салмағының көрсеткіші бойынша Жеңіс сорты мен 100 Гр- және 200 Гр- дозаланған мутантты линиялар арасында, тек 100 Гр-мен сәулеленген линияларда (9,11%) және 200 Гр-мен сәулеленген линияларда 1000 дәннің салмағында (11,5%) елеулі айырмашылықтар анықталды (сурет 9 және кесте 9).

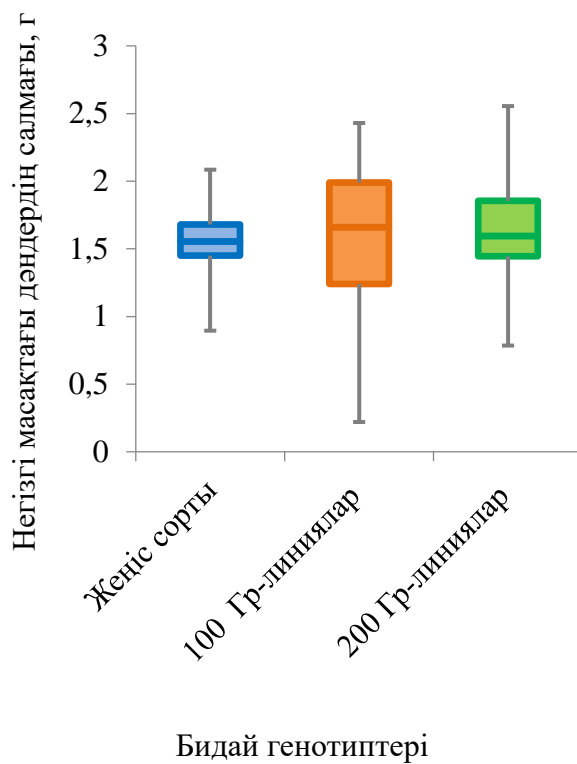
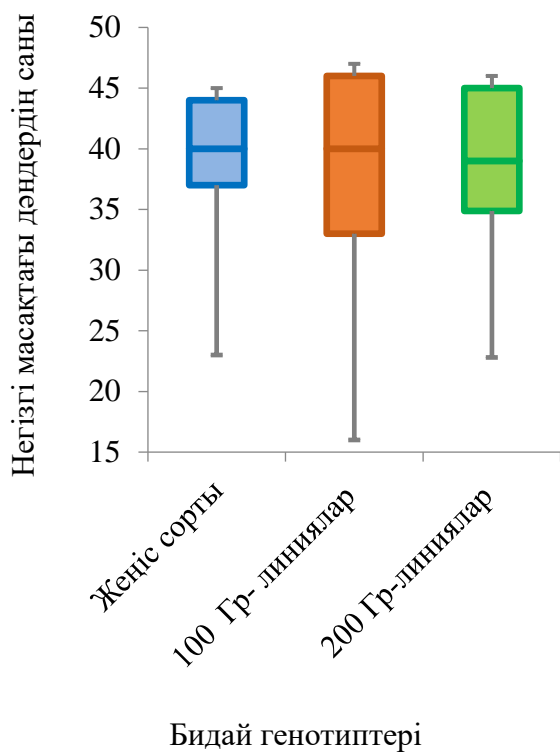
Алмакен сорты мен сәулеленудің жоғары және төмен дозалары арқылы өңделген мутантты линиялардың арасындағы негізгі масақтағы дәндердің санында айтарлықтай айырмашылық бар екендігі анықталды (сурет 10, кесте 9). Өнімділік көрсеткішінде 100 Гр- және 200 Гр- дозалары арқылы алынған Алмакен мутантты линияларында 100 Гр- дозаның әсері негізгі масақтағы дәндердің салмағында (38,5%) және 1000 дәннің салмағында (54,6%) қатты байқалды. 100 Гр- және 200 Гр-дозаланған линиялар арасында 100 Гр-мен өңдеуде елеулі өзгерістер болды (сурет 10, кесте 9). Бұл геномда мутацияларды генерациялау үшін гамма сәулесінің төмен дозасы тиімді екенін көрсетеді.

Эритросперум-35 мутантты линияларын талдауда негізгі масақтағы дәндердің салмағы (103,4%), жалпы өсімдіктегі дәндердің салмағы (66,9%) және 1000 дәннің салмағы (112,5%) мутантты линияларда, ата-аналық сортқа қарағанда ұлғайғанын көрсетті (сурет 11, кесте 9). Осы өнімділік компоненттері бойынша 200 Гр- радиациялық сәулесінің әсерінен алынған Жеңіс және Алмакен мутантты линияларда негізгі масақтағы дәндердің саны және 1000 дәннің салмағы жоғарлады. Бұл қорытынды осы белгіге байланысты 200 Гр- дозасымен

өңдеу өнімділікті жоғарылатуда тиімді екендігін дәлелдеді (сурет 11, кесте 9).

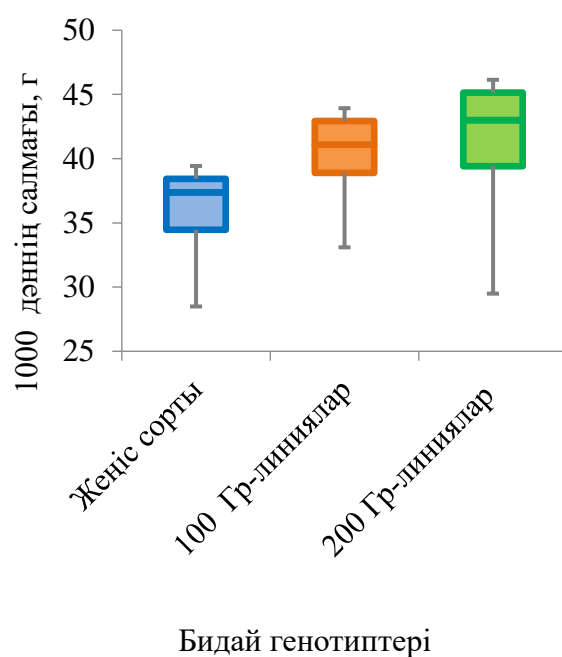
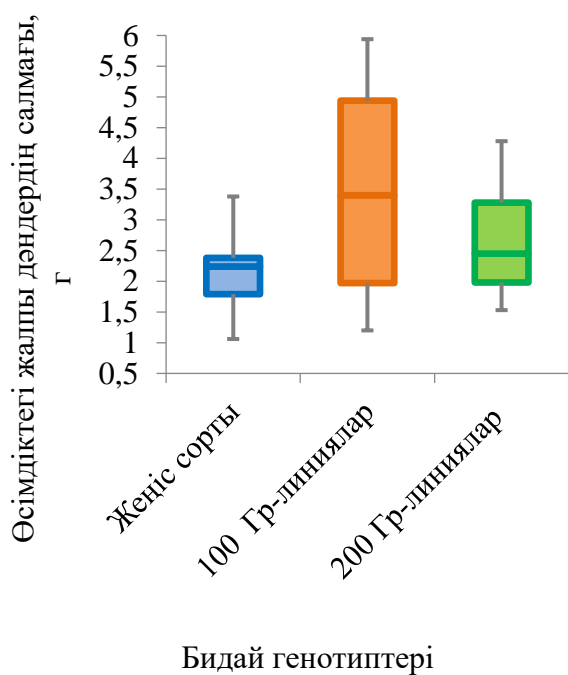
Кесте 9 – Сәулеленген Жеңіс, Алмакен, Эритросперум-35 сорттарынан алынған жаздық бидайдың M₅ мутантты линиялардың өнімділік компоненттерінің арасындағы байланысын ANOVA дисперсиялық талдаудың нәтижелері (%-дық көрсеткіш)

Генотиптер	Негізгі масақтағы дәндердің саны	Негізгі масақтағы дәндердің салмағы, г	Өсімдіктегі жалпы дәндердің салмағы, г	1000 дәннің салмағы, г
Жеңіс сорты x 100 Гр-мен дозаланған линиялар	0,67	0,01	9,11*	11,46*
Жеңіс сорты x 200 Гр-мен дозаланған линиялар	2,12	33,33	2,38	11,54*
100 Гр- x 200 Гр-мен дозаланған Жеңіс линиялар	0,23	0,38	10,17**	2,70*
Алмакен сорты x 100 Гр-мен дозаланған линиялар	38,51***	0,03	18,46**	54,64***
Алмакен сорты x 200 Гр-мен дозаланған линиялар	6,93*	26,25***	4,04	20,11**
100 Гр- x 200 Гр-дозаланған Алмакен линиялар	12,39**	29,48***	20,42***	1,70
Эритросперум-35 сорты x 100 Гр-мен дозаланған Эритросперум-35 линиялар	59,54***	1,44	49,44***	91,72***
Эритросперум-35 сорты x 200 Гр-мен дозаланған Эритросперум-35 линиялар	103,44***	4,60	66,90***	112,5***
100 Гр- x 200 Гр-мен дозаланған Эритросперум-35 мутантты линиялар	3,28	0,36	0,11	2,86
<i>Ескерту</i> – Жоғары мәндер *, **, *** белгілермен ерекшеленіп, тиісінше 0,05, 0,01, 0,001 ықтималдық деңгейлерінде белгіленді.				



а)

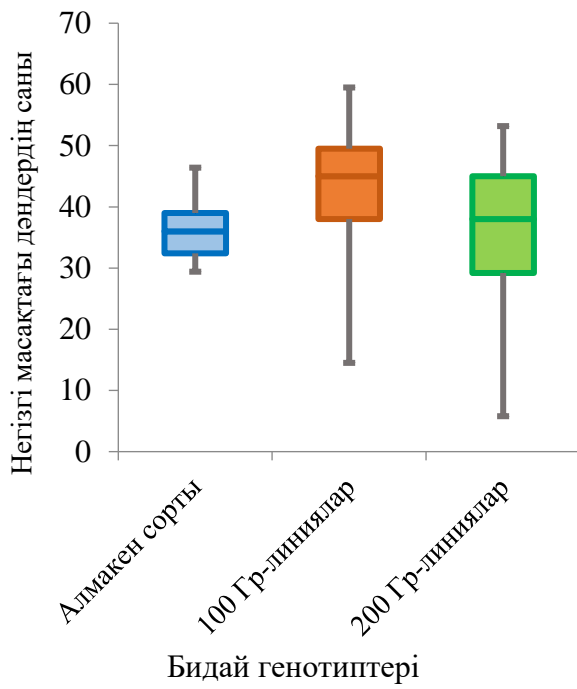
б)



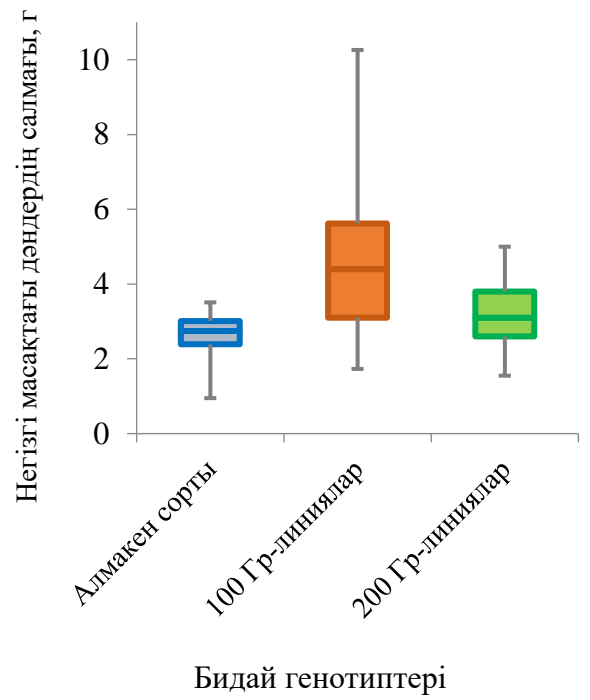
с)

д)

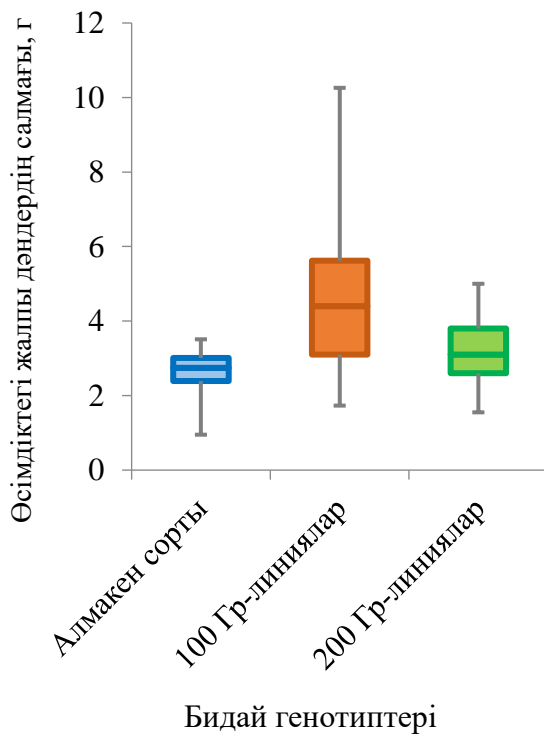
Сурет 9 – Жеңіс сорты мен 100 Гр- және 200 Гр- дозаланған мутантты линиялардың өнімділік параметрлер арасындағы байланысын статистикалық тестілеу



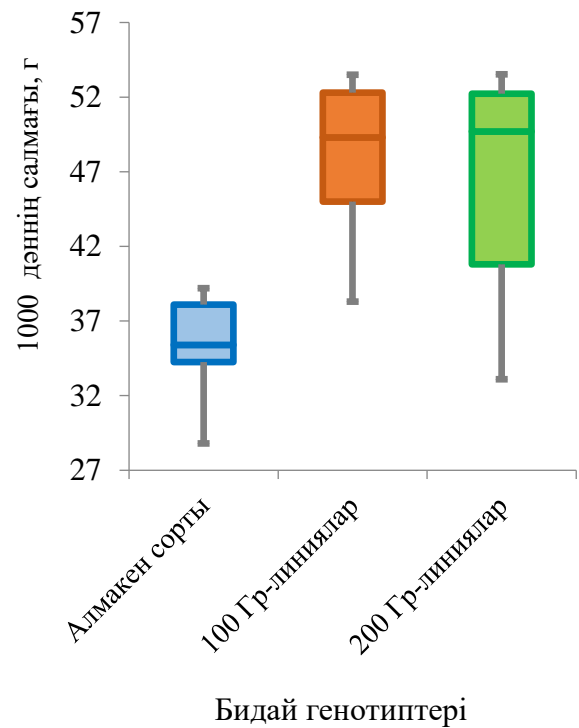
а)



б)

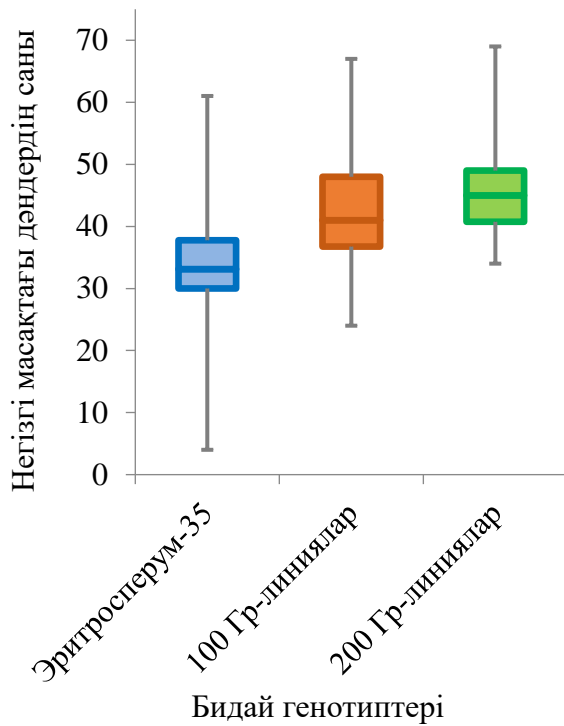


с)

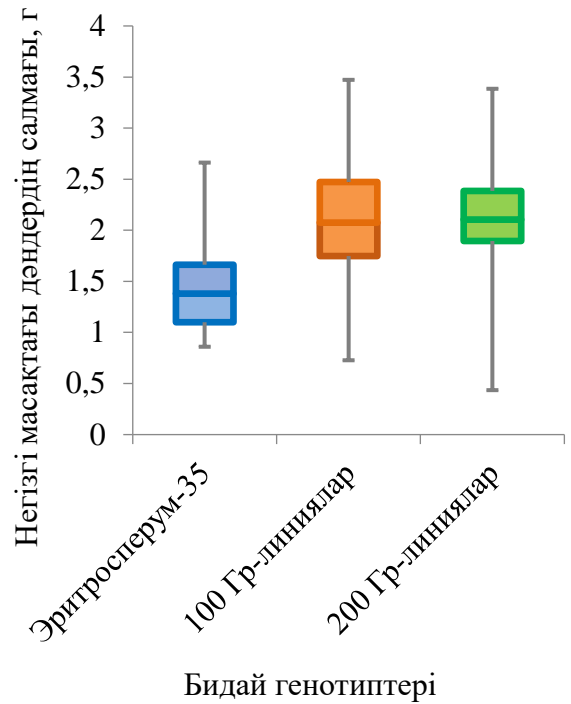


д)

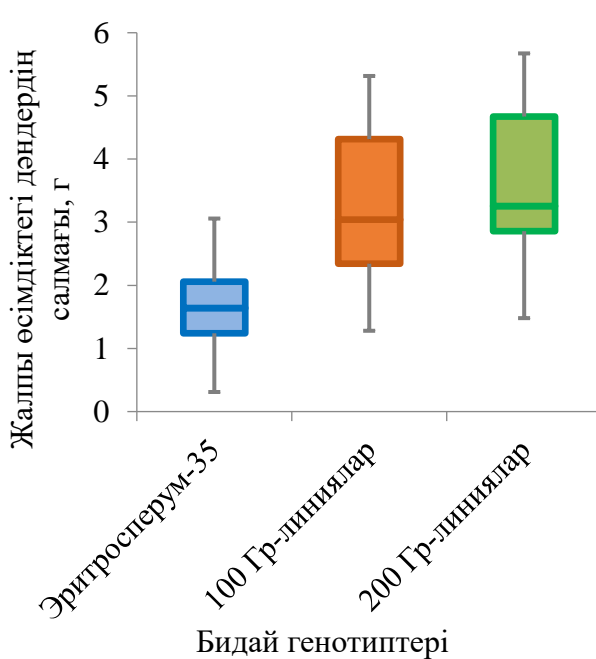
Сурет 10 – Алмакен сорты мен 100 Гр- және 200 Гр- дозаланған мутантты линиялардың өнімділік параметрлер арасындағы байланысын статистикалық тестілеу



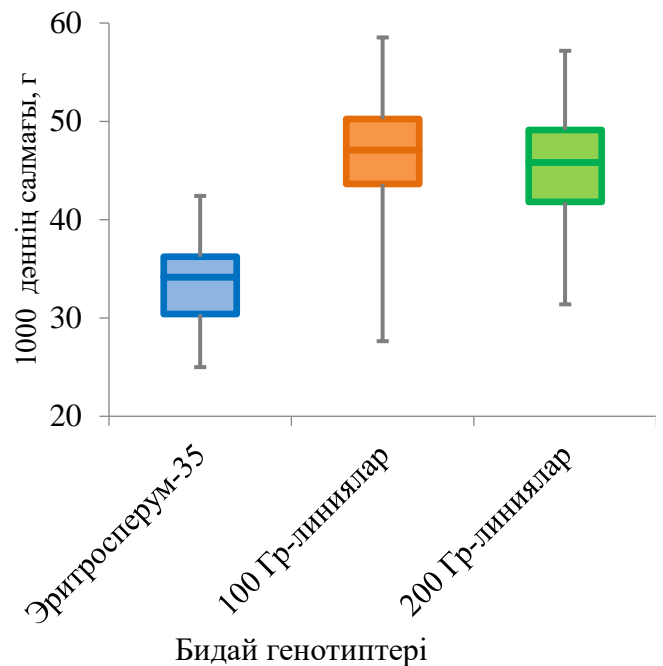
а)



б)



с)



д)

Сурет 11 – Эритроперум-35 сорты мен 100 Гр- және 200 Гр- дозаланған мутантты линиялардың өнімділік параметрлер арасындағы байланысты статистикалық тестілеу

3.2 Жаздық бидайдың жаңа М₅ мутантты линиялары дәндерінің морфометриялық параметрлерін талдау нәтижелері

Бидай өнімділігі, дәнінің массасымен байланысты болуымен қатар, өз кезегінде дәнінің мөлшері және формасымен де байланысты. Дәнінің мөлшері мен формасы селекциялық бағдарламаларда, бидайдың сапалық қасиеттеріне әсер ететін маңызды фенотиптік белгілер болып табылатын компоненттер ретінде қарастырылады [149]. Бидай дәнінің ұзындығы, ені және ауданымен сипатталатын дәндердің морфометриялық параметрлері, сапалы бидай ұнын өндіру үшін маңызы зор.

Жеңіс, Алмакен, Эритроспермум-35 сорттарының генетикалық негізінде алынған, жаздық бидайдың мутантты линиялары дәндерінің морфометриялық параметрлері, атап айтқанда, бидай дәндердің ұзындығы (ДҰ), дәндердің ені (ДЕ), дәндердің ауданы (ДА) және дәндердің ұзындығы/енінің (ДҰ/ДЕ) арақатынас коэффициенті бастапқы сорттарымен салыстырмалы сипатталды.

Жеңіс сорты және оның мутантты линияларының орташа мәндері 10-кестеде, Алмакен сорты және оның мутантты линияларының орташа мәндері 11-кестеде, Эритроспермум-35 сорты және оның мутанты линияларының орташа мәндері 12-кестеде көрсетілді. 100 Гр-мен өңделген Жеңіс мутантты линиялары ($c=90$) ДА 18,70-тен 22,87 мм²-ге дейін өзгеріп, орташа мәні $20,01 \pm 1,50$ мм² көрсетті (кесте 10). 200 Гр-мен өңделген Жеңіс мутантты линиялардың ДА орташа мәні $21,92 \pm 0,96$ мм² құрды, 19,88-ден 22,94 мм² дейін өзгерді. Сонымен қатар мутантты линиялардың ДА бастапқы сорттан 7,6-31,8%-ке жоғарылағаны көрсетілді.

Жеңіс сортының ДҰ-ның орташа мәні $6,1 \pm 0,3$ мм болды. 100 Гр-мен өңдеу арқылы алынған М₅ мутантты линиялары ДҰ 6,55-тен 7,15 мм-ге дейін өзгерді, орташа мәні $6,81 \pm 0,21$ мм (кесте 10). 200 Гр-мен өңделген М₅ мутантты линиялары ДҰ 7,32 - ден 8,22 мм-ге дейін өзгеріп, тиісінше, орташа мәні $7,84 \pm 0,26$ мм. Ең ұзын ДҰ 200 гр дозамен радиацияланған мутантты линияларда табылды (кесте 10).

Жеңіс сортымен салыстырғанда 7,6-35,0%-ға артты. Сондай-ақ, 100 гр- және 200 Гр-мен сәулеленген мутантты линиялардың ДЕ-нің орташа мәндері тиісінше, $3,60 \pm 0,19$ мм ($c = 45$) және $3,74 \pm 0,10$ мм ($c = 45$) болды. Мутантты линиялардың ДЕ өз кезеңінде, Жеңіс сортынан 1,12-1,24 есеге ұлғайды. Мутантты линиялардың басым көпшілігінің ДА және ДҰ Жеңіс сортымен салыстырғанда артты (кесте 10).

Жеңіс мутантты линиялардың ДҰ/ДЕ қатынас коэффициентінің өзгергіштігі 1,77- ден 2,15-ке дейінгі диапазонды құрды, орташа мәні $2,00 \pm 0,12$ екендігі анықталды (кесте 10). 17 линияның (56,7%) ДҰ/ДЕ-нің қатынас коэффициенті 0,91 - 1,10-ға дейін өзгерді және 100 Гр- сәулелену дозасы, 200 Гр- сәулелену дозасына қарағанда үлкен өзгергіштік тудырғанын көрсетті. Жеңіс мутантты линиялардың ДҰ/ДЕ қатынас коэффициентінің өзгергіштігі 100 Гр- сәулелену дозасында үлкен мәнді көрсетті. Жеңіс мутантты линиялардың ДЕ өзгергіштік коэффициенті 100 Гр- сәулелену дозасы, 200 Гр- сәулелену дозасына қарағанда 2 есеге жоғарлады (кесте 10).

Кесте 10 – Жаздық бидай Жеңіс сортының генетикалық негізінде, гамма сәулесінің 100 Гр- және 200 Гр- дозаларын пайдалану арқылы алынған M₅ мутантты линиялары дәндерінің морфометриялық параметрлері

Генотиптер / Мутанттар	Бидай дәндерінің ауданы (ДА), мм ²	Бидай дәндерінің ұзындығы (ДҰ), мм	Бидай дәндерінің ені (ДЕ), мм	Дәндердің ұзындығының /еніне, (ДҰ/ДЕ) қатынасы	
Жеңіс сорты	17,41±0,16	6,09±0,27	3,13±0,12	1,95±2,25	
100 Гр- дозамен өңделген M ₅ мутантты линиялар	5(4)	19,40±0,13 ^{***}	6,55±0,14 [*]	3,50±0,10 [*]	1,87±1,40
	6(4)	18,77±0,08 ^{**}	6,86±0,12 ^{**}	3,52±0,26 ^{**}	1,95±0,46
	6(5)	18,88±0,09 ^{**}	6,86±0,15 ^{**}	3,61±0,10 ^{**}	1,90±1,50
	6(13)	18,70±0,12 ^{**}	6,65±0,09 ^{**}	3,22±0,10	2,07±0,90 ^{***}
	13(3)	19,91±0,14 ^{***}	6,65±0,09 ^{**}	3,50±0,13 [*]	1,90±0,69
	18(5)	19,93±0,15 ^{***}	6,62±0,17 ^{**}	3,73±0,09 ^{***}	1,77±1,89
	24(1)	19,05±0,17 ^{***}	6,55±0,32 [*]	3,36±0,13	1,94±2,46
	24(2)	19,14±0,18 ^{***}	6,78±0,13 ^{**}	3,85±0,12 ^{***}	1,76±1,08
	25(2)	19,93±0,14 ^{***}	6,82±0,14 ^{**}	3,40±0,06	2,01±2,33 ^{***}
	26(6)	22,87±0,15 ^{***}	7,15±0,26 ^{***}	3,70±0,13 ^{***}	1,93±2,00
	26(7)	21,09±0,12 ^{***}	7,01±0,01 ^{***}	3,81±0,12 ^{***}	1,84±0,08
	26(9)	22,85±0,16 ^{***}	7,12±0,11 ^{***}	3,88±0,01 ^{***}	1,84±11,00
	26(10)	18,73±0,19 ^{**}	6,67±0,09 ^{**}	3,64±0,17 ^{**}	1,84±0,53
	30(1)	18,85±0,15 ^{**}	6,73±0,11 ^{**}	3,57±0,24 ^{**}	1,89±0,46
36(1)	22,09±0,12 ^{***}	7,15±0,07 ^{***}	3,64±0,21 ^{**}	1,96±0,33	
200 Гр- дозамен өңделген M ₅ мутантты линиялар	43(1)	20,87±0,18 ^{***}	7,32±0,23 ^{***}	3,56±0,12 ^{**}	2,06±1,92 ^{***}
	43(3)	21,94±0,15 ^{***}	7,86±0,07 ^{***}	3,74±0,20 ^{***}	2,10±0,35 ^{***}
	43(4)	22,67±0,18 ^{***}	7,87±0,06 ^{***}	3,70±0,10 ^{***}	2,13±0,60 ^{***}
	45(1)	22,81±0,17 ^{***}	7,91±0,06 ^{***}	3,76±0,10 ^{***}	2,10±0,60 ^{***}
	45(2)	20,83±0,13 ^{***}	7,47±0,19 ^{***}	3,68±0,11 ^{***}	2,03±1,73 ^{***}
	45(3)	20,88±0,15 ^{***}	7,49±0,10 ^{***}	3,66±0,12 ^{**}	2,05±0,83 ^{***}
	48(3)	21,73±0,12 ^{***}	7,95±0,16 ^{***}	3,69±0,23 ^{***}	2,15±0,70 ^{***}
	49(2)	19,88±0,11 ^{***}	7,59±0,32 ^{***}	3,64±0,12 ^{**}	2,09±2,67 ^{***}
	49(4)	21,84±0,18 ^{***}	7,83±0,14 ^{***}	3,70±0,10 ^{***}	2,12±1,40 ^{***}
	49(6)	22,94±0,15 ^{***}	7,87±0,15 ^{***}	3,74±0,09 ^{***}	2,10±1,67 ^{***}
	50(7)	22,90±0,17 ^{***}	7,91±0,11 ^{***}	3,78±0,11 ^{***}	2,09±1,00 ^{***}
	51(1)	21,84±0,15 ^{***}	8,01±0,11 ^{***}	3,86±0,06 ^{***}	2,08±1,83 ^{***}
	51(2)	21,96±0,14 ^{***}	8,22±0,08 ^{***}	3,80±0,10 ^{***}	2,16±0,80 ^{***}
	51(8)	22,87±0,16 ^{***}	8,09±0,09 ^{***}	3,88±0,09 ^{***}	2,09±1,00 ^{***}
53(2)	20,76±0,16 ^{***}	7,07±0,41 ^{***}	3,85±0,13 ^{***}	2,08±1,00 ^{***}	
<i>Ескерту</i> Дәннің ауданы, дәннің ұзындығы, дәннің ұзындығы мен енінің қатынас коэффициентінің орташа мәні ретінде 3 қайталау алынды. Жоғары мәндер *, **, және *** белгілерімен ерекшеленді, мәні тиісінше 0,05, 0,01 және 0,001 ықтималдық деңгейлерінде белгіленді					

Алмакен М₅ линияларының ДА, ДЕ, ДҰ және ДҰ/ДЕ қатынас коэффициенті мәндері 11-кестеде сипатталған. Мутантты линиялардың ДА 16,9-ден 23,5 мм²-ге дейін өзгеріп, орташа мәні 20,1± 1,6 мм² (с = 90) көрсетті (кесте 11). Мутантты 22 генотиптің (73,3%) яғни, 100 Гр-мен өңделген 81(1), 84(2), 84(4), 89(5), 89(8), 91(1), 91(2) және 200 Гр-мен өңделген 94(2), 94(4), 95(2), 95(3), 95(5), 95(7), 95(8), 98(1), 98(2), 98(4), 98(6), 101(1), 101(3), 101(5), 101(6) линиялардың ДА, Алмакен сортынан 11-ден 42,3%-ке айтарлықтай жоғарлады. Алмакен сортының ДА орташа мәні 17,5 ± 0,2 мм² (с = 3) (кесте 11).

Алмакен 100 Гр-мен дозаланған М₅ мутантты линиялардың ДҰ 6,84-тен 7,84 мм-ге дейін өзгерді, орташа мәні 7,44±0,29 мм (кесте 11). 200 Гр-мен өңделген М₅ мутантты линиялардың ДҰ 7,31 - ден 8,21 мм-ге дейін өзгерді тиісінше, орташа мәні 7,74±0,24 мм. 100 Гр- және 200 гр-мен дозаланған мутантты линиялардың ДҰ-да айырмашылық байқалмады (кесте 11).

Алмакен сортының ДҰ 6,4± 0,23 мм (с = 3) көрсетті, М₅ мутантты линиялардың көпшілігінің (93,3%) ДҰ Алмакен сортынан 12-31% артты. М₅ 8 мутантты линиялардың (26,7%), 79(1), 79(5), 81(1), 82(5), 95(7), 98(1), 101(3), 101(5) ДҰ >8,0 мм-ден жағары мәндерді көрсетті (кесте 11).

Сәулеленген линияларда ДЕ 3,6-дан 4,8 мм-ге дейін өзгеріп, орташа мәні 4,3 ± 0,17 мм (с = 90) болды. Сәулеленудің әрбір дозасында ДЕ-нің орташа мәні 100 Гр-мен өңделген линияларда 4,0 ± 0,2 (с = 45) және 200 Гр линияларда 4,6 ± 0,2 (с = 45) екендігі анықталды, Алмакен сортының орташа мәні 3,4 ± 0,2 мм (с = 3) құрды. 84(2) линияны есепке алмағанда, мутантты линиялардың көпшілігінің (96,7%) ДЕ-ні Алмакен сортына қарағанда 11,5–39,3% үлкен мәнге ие болды. 11 генотиптің (36,7%) ДЕ >4,5 мм-ден ұзын 95(2), 95(3), 95(5), 95(7), 95(8), 98(1), 98(2), 98(4), 98(6), 101(1), 101(6) болды. Сәйкесінше, бұл линиялар 200 Гр-мен радиацияланған (кесте 11).

Алмакен мутантты линияларда ДҰ/ДЕ-не қатынас коэффициентінің мәндері 100 Гр- және 200 Гр- дозаланған мутантты линияларында ауытқуы 1,62 –дан 2,10-ға дейін өзгерді, орташа мәні 3,41± 0,13 (с = 90) екендігі анықталды және 75(2), 82(2), 84(2) мутантты линиялардың есепке алмағанда, 27 мутантты линиялардың (90,0%), 100 Гр-мен сәулеленген 76(2), 76(3), 79(1), 79(5), 81(1), 82(4), 82(5), 84(4), 89(5), 89(8), 91(1), 91(2) және гамма сәулесінің 200 Гр- дозасымен өңделген 94(2), 94(4), 95(2), 95(3), 95(5), 95(7), 95(8), 98(1), 98(2), 98(4), 98(6), 101(1), 101(3), 101(5), 101(6) линиялардың ДҰ/ДЕ қатынас коэффициенті Алмакен сортымен салыстырғанда 0,98-1,04 есе жоғарлады. Алмакен сортының ДҰ/ДЕ-не қатынас коэффициенті 1,59± 0,96 мәнімен сипатталды (кесте 11).

Алмакен М₅ линияларының ДА, ДЕ, ДҰ және ДҰ/ДЕ қатынас коэффициенті бойынша Алмакен сортынан үлкен 21 мутантты линия, атап айтқанда, гамма сәулесінің 100 Гр-мен дозаланған 81(1), 84(4), 89(5), 89(8), 91(1), 91(2) және гамма сәулесінің 200 Гр-мен дозаланған 94(2), 94(4), 95(2), 95(3), 95(5), 95(7), 95(8), 98(1), 98(2), 98(4), 98(6), 101(1), 101(3), 101(5), 101(6) линиялар анықталды (кесте 11).

Кесте 11 – Жаздық бидай Алмакен сортының генетикалық негізінде, гамма сәулесінің 100 Гр- және 200 Гр- дозаларын пайдалану арқылы алынған M₅ мутантты линиялары дәндерінің морфометриялық параметрлері

Генотиптер / Мутанттар		Бидай дәндерінің ауданы (ДА), мм ²	Бидай дәндерінің ұзындығы (ДҰ), мм	Бидай дәндерінің ені (ДЕ), мм	Дәндерінің ұзындығының /еніне,(ДҰ/ДЕ) қатынасы
Алмакен сорты		17,45±0,22	6,44±0,23	3,41±0,24	1,59±0,96
100 Гр- дозамен өңделген M ₅ мутантты линиялар	75(2)	18,67±0,12	7,29±0,17***	3,91±0,13*	1,86±1,31
	76(2)	18,47±0,13	7,55±0,27***	3,93±0,08**	1,92±3,38**
	76(3)	18,35±0,12	6,84±0,56	4,18±0,16***	1,64±2,88***
	79(1)	18,44±0,09	8,44±0,31***	4,25±0,24***	1,99±1,29***
	79(5)	18,99±0,13	8,31±0,16***	4,11±0,22***	2,02±0,73***
	81(1)	19,42±0,17***	8,32±0,19***	3,97±0,12**	2,10±1,58**
	82(2)	17,97±0,15	7,03±0,05	3,85±0,18*	1,83±0,33
	82(4)	18,92±0,08	7,61±0,23***	3,83±0,13	1,99±1,77*
	82(5)	18,35±0,29	8,29±0,11***	4,29±0,18***	1,93±0,61***
	84(2)	19,79±0,33***	7,19±0,13**	3,62±0,21	1,99±0,62
	84(4)	24,17±0,68***	7,70±0,17***	3,93±0,13**	1,96±1,42**
	89(5)	22,13±0,38***	7,82±0,14***	4,05±0,09***	1,93±1,56***
	89(8)	23,59±0,23***	7,84±0,17***	4,10±0,13***	1,91±1,42***
	91(1)	24,68±0,21***	7,59±0,23***	4,07±0,07***	1,86±3,29***
	91(2)	22,06±0,06***	7,76±0,11***	4,08±0,18***	1,90±0,61***
200 Гр- дозамен өңделген M ₅ мутантты линиялар	94(2)	22,65±0,22***	7,67±0,15***	4,33±0,12***	1,77±1,25***
	94(4)	21,20±0,21***	7,64±0,20***	4,36±0,24***	1,75±0,83***
	95(2)	24,33±0,30***	7,79±0,15***	4,73±0,13***	1,65±1,15***
	95(3)	21,59±0,23***	7,66±0,18***	4,69±0,24***	1,63±0,75***
	95(5)	20,69±0,25***	7,59±0,23***	4,54±0,27***	1,67±0,85***
	95(7)	21,93±0,11***	8,05±0,26***	4,63±0,21***	1,74±1,24***
	95(8)	22,97±0,10***	7,60±0,23***	4,69±0,18***	1,62±1,28***
	98(1)	24,84±0,16***	8,21±0,79***	4,73±0,18***	1,74±1,67***
	98(2)	23,77±0,10***	7,93±0,11***	4,66±0,22***	1,70±0,52***
	98(4)	23,04±0,19***	7,82±0,15***	4,54±0,13***	1,72±1,15***
	98(6)	23,92±0,12***	7,82±0,08***	4,61±0,20***	1,70±0,35***
	101(1)	21,46±0,16***	7,72±0,14***	4,65±0,20***	1,66±0,70***
	101(3)	20,65±0,21***	8,31±0,11***	4,36±0,14***	1,91±0,79***
	101(5)	21,12±0,12***	8,39±0,16***	4,28±0,14***	1,96±1,14***
	101(6)	22,81±0,12***	7,97±0,09***	4,75±0,15***	1,68±0,60***
Ескерту – Дәндердің ауданы, ұзындығы, ені және дәннің ұзындығы мен енінің қатынас коэффициентінің орташа мәні ретінде 3 қайталау алынды. Жоғары мәндер *, **, және *** белгілерімен ерекшеленді, мәні тиісінше 0,05; 0,01 және 0,001 ықтималдық деңгейлерінде белгіленді					

Эритросперум-35 морфометриялық белгілерінің атап айтқанда, ДҰ, ДЕ, ДА, және ДҰ/ДЕ қатынас коэффициенті гамма сәулесінің 100 Гр- және 200 Гр-дозасымен өңделген мутантты линияларды талдау арқылы, гамма сәулесінің төмен дозасы осы фенотиптік белгілердің өзгермелі болуына әсері жоғары болатындығы анықталды (кесте 12).

Эритросперум-35 линияларының өзгергіштігінде, 100 Гр- дозамен өңделген мутантты линиялардың ($s = 45$) ДА зерттеулер бойынша өзгергіштігі, 16,74-тен 23,46 мм²-ге дейін болып, орташа мәні $19,68 \pm 2,31$ мм² көрсетті. 7 генотиптің (53,33%) атап айтқанда, 108(1), 118(1), 118(2), 118(3), 140(2), 140(3), 140(4) линиялардың ДА Эритросперум-35 сортымен салыстырғанда 10,95-тен 34,4%-ке жоғарлады (кесте 12). 200 Гр-мен өңделген мутантты линияларда ДА 19,65-тен 23,13 мм²-ге дейін өзгерді, ал орташа мәні $21,27 \pm 1,28$ мм² ($s = 45$) көрсетті (кесте 12). 12 генотиптің (80,0%) 144(2), 149(2), 150(7), 152(1), 152(5), 152(6), 152(7), 152(8), 153(4), 153(6), 153(7), 153(8) ДА Эритросперум-35 сортымен салыстырғанда 12,60-тен 32,6%-ға жоғарлады.

Мутантты линиялардың ДҰ-ның ауыспалылығы 6,81-ден 9,37 мм-ге дейін өзгеріп, орташа мәні $8,68 \pm 0,21$ мм ($s = 45$) болды.

Гамма сәулесінің 200 Гр-дозасымен өңделіп алынған линиялардың басым көпшілігі, жалпы алғанда 21 мутантты линиялардың (70,0%) атап айтқанда, 108(1), 118(1), 118(3), 140(2), 140(3), 140(4), 232(1), 242(1), 144(1), 144(2), 149(2), 150(7), 152(1), 152(6), 152(7), 152(8), 153(4), 153(6), 153(7), 153(8) ДҰ Эритросперум-35 сортына қарағанда 12,09-дан 28,0%-ға ұзарғандығы анықталды (кесте 12).

100 Гр- және 200 Гр-дозаланған мутантты линияларда, ДЕ-нің өзгергіштігі 3,24-тен 4,77 мм-ге дейін және 3,65-тен 4,79 мм-ге дейін болып, орташа мәні сәйкесінше, $4,06 \pm 0,47$ мм ($s = 45$) және $4,43 \pm 0,40$ мм ($s = 45$) көрсетті. Сонымен қатар, мутантты линиялардың ДЕ Эритросперум-35 сортына қарағанда 12,4-13,5% жоғарлады және олардың көпшілігі негізінен 200 Гр-дозамен өңделген 105(1), 108(1), 118(1), 118(2), 118(3), 140(2), 140(3), 242(1), 140(4), 232(1), 242(2), 144(2), 149(2), 150(7), 152(1), 152(5), 152(6), 152(7), 152(8), 153(4), 153(6), 153(7), 153(8) нөмерленген (80,0%) мутантты линияларда анықталды (кесте 12).

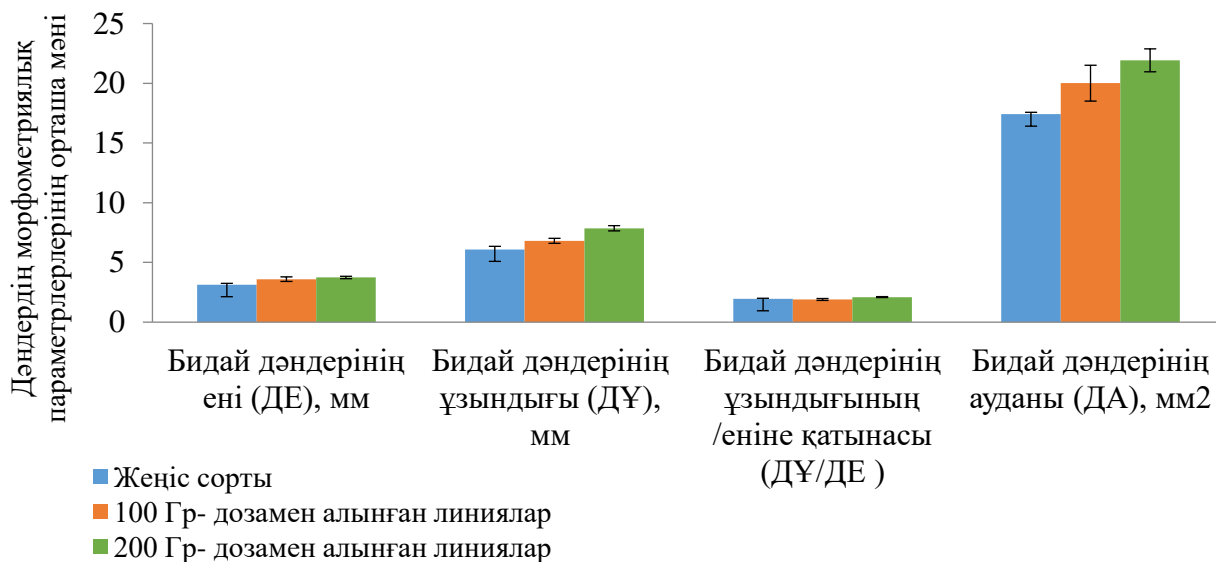
Эритросперум-35 100 Гр-мен алынған мутантты линияларда, ДҰ/ДЕ қатынас коэффициенті 1,85-тен 2,14-ке дейін, ал орташа мәні $1,69 \pm 0,70$ ($s = 225$) (кесте 12). 20%-ды құрайтын 3 генотип, атап айтқанда 113(5), 118(1), 140(3) жаздық бидай Эритросперум-35 сортынан айтарлықтай жоғары болды. Тиісінше, 200 Гр-мен өңделген мутантты линияларда ДҰ/ДЕ қатынас коэффициенті 1,82-ден 2,48-ге дейін өзгеріп, $1,19 \pm 0,29$ ($s = 255$) орташа мәнімен сипатталды. 4 генотип (26,7%), олар: 144(1), 152(4), 152(5) және 153(6) ДҰ/ДЕ қатынас коэффициенті Эритросперум-35 сортқа қарағанда едәуір жоғарлады (кесте 12). ДҰ, ДЕ, ДҰ/ДЕ қатынас коэффициенті мәндері бойынша, Эритросперум-35 сортынан жоғары көрсеткіш көрсеткен 100 Гр-мен дозалау арқылы алынған 140(3) линиясы және 200 Гр-мен дозалау арқылы алынған 153(6) линиясы анықталды.

Кесте 12 – Жаздық бидай Эритросперум-35 сортының генетикалық негізінде, гамма сәулесінің 100 Гр- және 200 Гр- дозалары арқылы алынған М₅ мутантты линиялары дәндерінің морфометриялық параметрлері

Генотиптер /Мутанттар		Бидай дәнінің ауданы (ДА), мм ²	Бидай дәнінің ұзындығы (ДҰ), мм	Бидай дәнінің ені (ДЕ), мм	Дәннің ұзындығы/еніне қатынасы (ДҰ/ДЕ)
Эритросперум-35 сорты		17,45±0,22	7,28±0,31	3,55±0,08	2,05±3,88
100 Гр- дозамен өңделген М ₅ мутантты линиялар	105(1)	18,69±0,89	8,16±0,68	4,23±0,20**	1,93±3,40
	108(1)	20,15±0,62***	8,68±0,47*	4,42±0,34**	1,97±1,38
	113(1)	17,27±0,45	7,91±0,79	3,75±0,52	2,11±1,52
	113(5)	17,44±0,47	7,88±0,38	3,24±0,06	2,44±6,33***
	118(1)	19,36±1,07*	8,38±0,37	3,82±0,45*	2,19±0,82*
	118(2)	20,29±0,33***	8,52±0,25*	4,14±0,26**	2,06±0,96
	118(3)	20,12±0,69***	8,55±0,51*	4,63±0,07***	1,85±7,29
	135(1)	17,47±0,44	7,32±0,58	3,55±0,18	2,06±3,22
	136(1)	17,35±0,29	7,65±1,14	3,75±0,41	2,04±2,78
	138(6)	16,74±0,67	6,81±0,67	3,32±0,18	2,05±3,72
	140(2)	18,99±0,69*	8,68±0,19*	4,27±0,27**	2,03±0,70
	140(3)	21,42±0,44***	8,81±0,15**	4,12±0,20*	2,14±0,75*
	140(4)	23,03±0,76***	8,80±0,18**	4,30±0,29**	2,05±0,62
	232(1)	23,41±0,66***	9,01±0,10***	4,58±0,37***	1,97±0,27
242(2)	23,46±0,57***	9,37±0,44***	4,77±0,11***	1,96±4,00	
200 Гр- дозамен өңделген М ₅ мутантты линиялар	144(1)	19,65±0,22	8,67±0,15*	3,67±0,61	2,36±0,25**
	144(2)	20,81±0,73***	8,64±0,20*	4,40±0,18***	1,96±1,11
	149(2)	21,02±1,48***	8,79±0,15**	4,75±0,15***	1,85±1,00
	150(7)	20,42±0,49***	8,65±0,18*	4,68±0,24***	1,85±0,75
	152(1)	21,17±1,06***	8,59±0,23*	4,49±0,30***	1,91±0,77
	152(4)	19,77±0,36	8,26±0,56	3,75±0,66	2,11±1,02*
	152(5)	22,73±0,11***	8,54±0,78	4,73±0,18***	2,28±1,18***
	152(6)	23,13±0,53***	8,93±0,90***	4,66±0,21***	1,89±5,00
	152(7)	22,88±0,95***	8,82±0,15***	4,52±0,14***	1,89±0,71
	152(8)	22,92±0,12***	8,82±0,07***	4,63±0,17***	1,95±0,50
	153(4)	20,12±0,71***	8,71±0,1**	4,57±0,20***	1,88±0,82
	153(5)	19,82±0,18	8,31±0,89	3,65±0,64	1,82±4,45
	153(6)	22,26±1,15***	9,06±0,48***	4,79±0,05***	2,48±0,75***
	153(7)	22,14±0,64***	8,77±0,29**	4,69±0,08***	1,83±5,80
153(8)	20,20±1,01***	8,59±0,47*	4,52±0,25***	1,83±5,88	

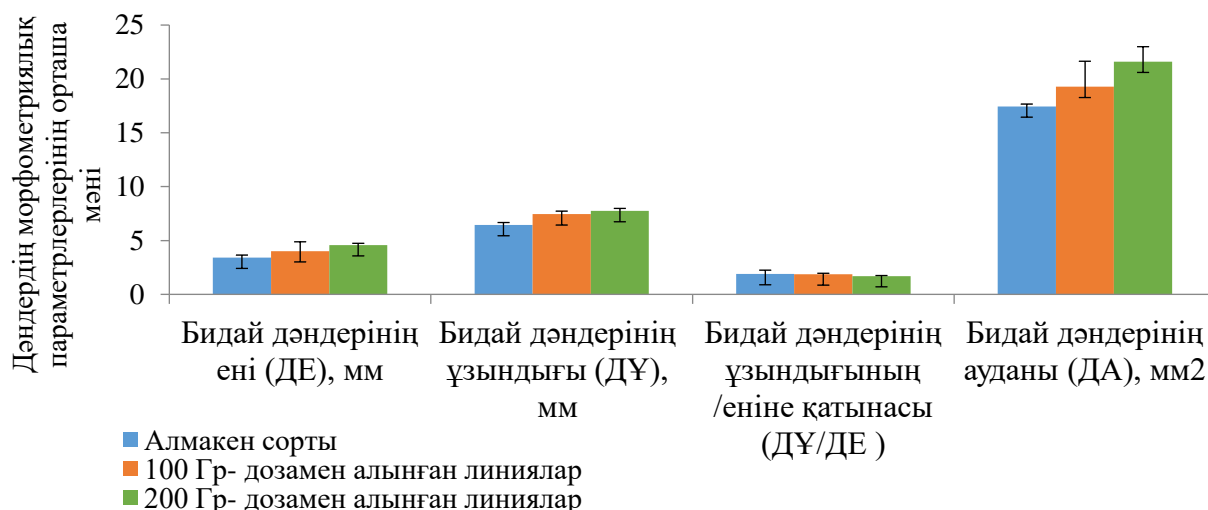
Ескерту – Дәнінің морфометриялық параметрлерінің орташа мәні ретінде 3 қайталау алынды. Жоғары мәндер *, **, *** белгілермен ерекшеленіп, тиісінше 0,05; 0,01; 0,001 ықтималдық деңгейлерінде белгіленді.

100 Гр- және 200 Гр- дозаланған M_5 мутантты линиялар мен жаздық бидай сорттарының дәндерінің морфометриялық параметр өзгерісінің орташа мәні анықталды. Жеңіс мутантты линиялардың ДҰ және ДА ең өзгермелі, ал ДЕ және ДҰ/ДЕ-не қатынас коэффициенті аз өзгермелігі фенотиптік белгілер екендігі анықталды. Мутантты линияларда ДЕ-не (диапазоны 0,69) қарағанда ДА (диапазоны 4,26) және ДҰ-да (диапазоны 1,71) 3-9 есе жоғары өзгерісті көрсетті (сурет 12).

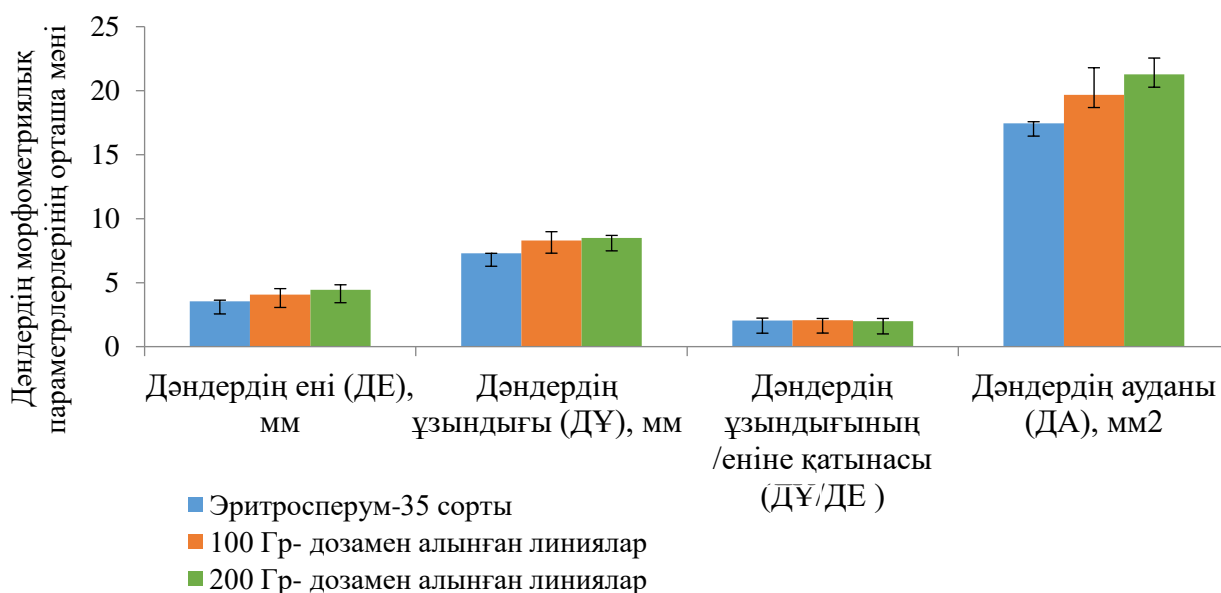


Сурет 12 – 100 Гр- және 200 Гр- дозаланған M_5 мутантты линиялар мен Жеңіс сорты дәндерінің морфометриялық параметрлер өзгерісінің орташа мәні

Алмакен M_5 Мутантты линиялар ДА мен ДҰ-ның орташа мәндеріне талдау жасауда, ДҰ-ы дәннің ауданына қарағанда 10% -ға аз дәрежеде өзгермелі болып келетін фенотиптік белгі екендігі 13-суретте анықталды.



Сурет 13 – 100 Гр- және 200 Гр- дозаланған M_5 мутантты линиялар мен Алмакен сорты дәндерінің морфометриялық параметр өзгерісінің орташа мәні



Сурет 14 – 100 Гр- және 200 Гр- дозаланған М₅ мутантты линиялар мен Эритросперум-35 сорты дәндерінің морфометриялық параметрлер өзгерісінің орташа мәні

Эритросперум-35 М₅ мутантты линияларда ДҮ және ДЕ-нің ең жоғары көрсеткішінің көп бөлігі 200 Гр- дозаланған линияларда табылды (сурет 14).

Жаздық бидай Жеңіс, Алмакен және Эритросперум-35 сорттар М₅ мутантты линиялардың ДА, ДЕ, ДҮ, және ДҮ/ДЕ-не қатынас коэффициенті нәтижелері бойынша, гамма сәулесінің 100 Гр- және 200 Гр- дозалармен сәулеленген мутантты линиялардың саны 13-кестеде келтірілген. Бұл жерде де жоғары доза морфометриялық параметрлер үшін тиімді екендігі көрсетілген.

Кесте 13 – Жаздық бидай Жеңіс, Алмакен және Эритросперум-35 сорттар негізінде, 100 Гр- және 200 Гр- сәулелерімен өңдеу арқылы алынған, ДА, ДҮ, ДЕ және ДҮ/ДЕ қатынас коэффициенті айтарлықтай жоғары болған М₅ мутантты линиялардың саны

Мутантты линиялары	Жеңіс линиялары		Алмакен линиялары		Эритросперум-35 линиялары	
	100 Гр	200 Гр	100 Гр	200 Гр	100 Гр	200 Гр
Гамма дозалары	100 Гр	200 Гр	100 Гр	200 Гр	100 Гр	200 Гр
ДА, мм ²	14 (93%)	15 (100%)	7 (47%)	15 (100%)	9 (60%)	15 (100%)
ДҮ, мм	13 (86%)	14 (93%)	12 (80%)	15 (100%)	8 (53%)	12 (80%)
ДЕ, мм	11 (73%)	15 (100%)	12 (80%)	15 (100%)	10 (67%)	12 (80%)
ДҮ/ДЕ қатынасы	2 (6,7%)	15 (100%)	12 (80%)	15 (100%)	2 (13%)	3 (20%)

100 Гр- және 200 Гр- гамма сәулесімен өңдеу арқылы жаздық бидай Жеңіс, Алмакен және Эритросперум-35 сорттарынан алынған перспективті М₅ мутантты линиялары дәндерінің морфометриялық параметрлер мәндерінің өзгергіштік коэффициенті 14-кестеде көрсетілген.

Жеңіс 100 Гр-мен өңделген мутантты линиялары ДА өзгергіштік коэффициенті 7,5% екендігі анықталды. 200 Гр-мен өңделген Жеңіс мутантты линиялардың ДА өзгергіштік коэффициенті тиісінше 4,38% болды. ДҰ өзгергіштік коэффициенті Жеңіс 100 Гр және 200 Гр-мен өңделген М₅ мутантты линиялары ДҰ өзгергіштік коэффициенті бірдей екендігі анықталды (3,32% және 3,08%) (кесте 14). 200 Гр-мен өңделген М₅ мутантты линиялары ДҰ өзгергіштік коэффициенті 3,32% екендігі анықталды. Ең ұзын ДҰ 200 Гр дозамен радиацияланған мутантты линияларда ДЕ өз кезеңінде Жеңіс сортынан 1,12-1,24 есеге ұлғайды (кесте 14). 100 Гр-мен дозаланған линиялардың өзгергіштік коэффициенті бастапқы сорттан 2 есеге жоғарлады (кесте 14). Мутантты линиялардың басым көпшілігінің ДА және ДҰ Жеңіс сортымен салыстырғанда артты. Жеңіс мутантты линиялардың ДҰ/ДЕ қатынас коэффициентінің өзгергіштігі 100 Гр- сәулелену дозасы, 200 Гр- сәулелену дозасына қарағанда үлкен өзгергіштік тудырғанын көрсетті (кесте 14). Алмакен М₅ линияларының ДА-ның өзгергіштік коэффициенті 100 Гр- және 200 Гр-мен өңделген мутантты линиялар арасындағы 1,8 есе жоғары айырмашылықтар байқалды. Зерттеуде 100 Гр- және 200 Гр-мен дозаланған Алмакен мутантты линиялардың ДҰ/ДЕ-не қатынас коэффициентінің айырмашылығы шамамен бірдей екенін байқалды (5,26% және 5,88%) (кесте 14).

Кесте 14 – 100 Гр- және 200 Гр- гамма сәулелерін пайдалану арқылы, жаздық бидай Жеңіс, Алмакен және Эритросперум-35 сорттарынан алынған перспективті М₅ мутантты линиялары дәндерінің морфометриялық өзгергіштік коэффициентінің %-дық көрсеткіші

Мутантты линиялар	Өзгергіштік коэффициенті, %			
	ДА	ДҰ	ДЕ	ДҰ/ДЕ қатынасы
100 Гр-мен өңделген Жеңіс М ₅ мутантты линиялар	7,50	3,08	5,28	4,21
200 Гр-мен өңделген Жеңіс М ₅ мутантты линиялар	4,38	3,32	2,67	1,91
100 Гр-мен өңделген Алмакен М ₅ мутантты линиялар	11,02	5,13	4,25	5,26
200 Гр-мен өңделген Алмакен М ₅ мутантты линиялар	6,22	3,80	3,48	5,88
100 Гр-мен өңделген Эритросперум-35 М ₅ мутантты линиялар	11,74	8,19	11,58	6,80
200 Гр-мен өңделген Эритросперум-35 М ₅ мутантты линиялар	6,02	2,42	9,03	10,55

Эритросперум-35 мутантты линияларының ДА, ДЕ және ДҰ өзгергіштік коэффициенттерінің тиісті көрсеткіші 11,74%, 8,19% және 11,58% мәндерін құрды. Эритросперум-35 100 Гр-мен алынған мутантты линияларда, ДҰ/ДЕ қатыныс коэффициенті өзгергіштігі 6,80% болды. Тиісінше, 200 Гр-мен өңделген мутантты линияларда ДҰ/ДЕ қатыныс коэффициенті өзгергіштік коэффициенті 10,55%-ті көрсетті. Эритросперум-35 М₅ мутантты линияларда ДА, ДҰ және ДЕ-нің өзгергіштік коэффициенті жоғары көрсеткіші 100 Гр- дозамен алынған линияларда табылды (кесте 15).

100 Гр- және 200 Гр-дозалары арқылы алынған барлық мутантты линиялар мен Жаздық бидайдың Жеңіс, Алмакен және Эритросперум-35 сорттарының арасындағы морфометриялық параметрлерінің (ДА, ДЕ, ДҰ және ДҰ/ДЕ қатынас коэффициенті) өзара байланысын бағалау үшін (ANOVA) дисперсиялық талдау 15-кестеде және айырмашылығын бағалау үшін статистикалық тестілеу 15-,16-,17-ші суреттерде көрсетілген. ANOVA дисперсиялық талдаулар, мутантты линиялардың ДА, ДҰ, ДЕ және ДҰ/ДЕ қатынас коэффициентіне, 200 гр-мен өңдеудің айтарлықтай әсері байқалды (кесте 15).

Бұл сәулеленудің дозасы ДҰ-на (323,18%), ДА-на (211,3%) және ДЕ-не (144,06%) әсері өте жоғары болды, әсіресе ДҰ-на (428,86%) және ДҰ/ДЕ қатынас коэффициентіне (120,62%), 200 Гр- дозамен емдеудің, төмен дозамен емдеуге қарағанда эффектісі едәуір жоғары болғандығы анықталды. Жеңіс мутантты линияларына ұқсас, дәннің өзгермелі пішіні мен мөлшерін сипаттайтын параметрлер сәулеленген линияларда, олардың ата-аналық сортынан айтарлықтай ұлғайғаны анықталды (сурет 15, кесте 15).

Алмакен мутантты линияларының ДА-на (343,9%), содан кейін ДЕ-не (161,78%) сәулеленудің жоғары дозасы (200 Гр) барынша оң әсерін көрсетті (кесте 15). Төмен сәулелену дозасы (100 Гр) 200 Гр-мен сәулелену дозасымен салыстырғанда ДҰ-на (104,95%) айтарлықтай жоғары әсері анықталды. Қосымша тағы, 100 Гр- және 200 Гр-мен өңделген мутантты линиялардың ДА, ДҰ, ДЕ және ДҰ/ДЕ қатынас коэффициентін зерттеуде, соның ішінде ДА-да (343,9%) ең көп өзгергіштік анықталды (сурет 16, кесте 15).

Жеңіс пен Алмакен мутантты линияларына ұқсас, Эритросперум-35 сортының радиациялық дозалар арқылы алынған мутантты линиялар дәндерінің морфометриялық көрсеткіштері, мысалы, ДА, ДҰ, ДЕ-ні жоғаырлады. ДҰ үшін (404,8%), одан кейінгі ДЕ-ін (89,5%) жоғарлату үшін 200 Гр-дозаның айтарлықтай оң әсері анықталды (кесте15). Сондай-ақ, ДҰ-на 100 Гр- сәуле дозаның әсері оң нәтиже көрсетті (110,9%), 200 Гр- дозасымен салыстырғанда аз болды. Алайда, 100 Гр- және 200 Гр- дозалармен сәулеленген үлгілердің, барлық морфометриялық параметрлері бойынша дисперсиялық талдауда айтарлықтай айырмашылық болмады (сурет 17, кесте 15).

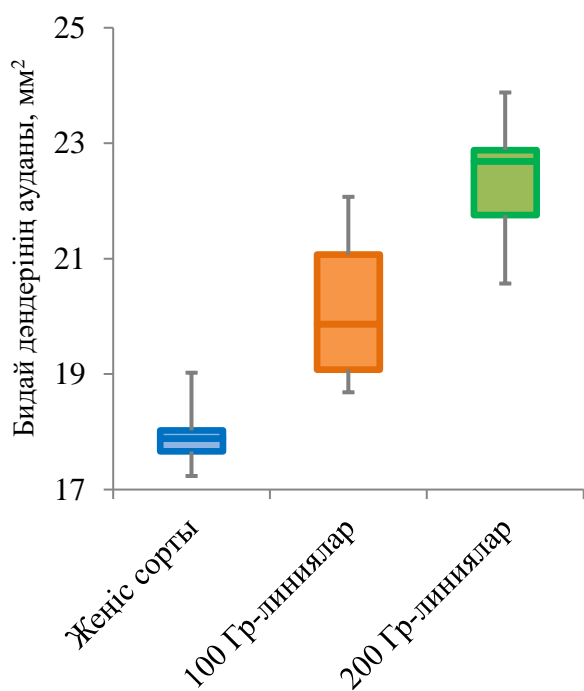
Радиациялық дозалар дәндерінің морфометриялық көрсеткіштерін, яғни ДА, ДҰ, ДЕ едәуір арттырды. Нәтижесінде, Алмакен және Эритросперум-35 мутантты линияларда ДҰ-да ең көп өзгермелі, ДЕ және ДҰ/ДЕ қатынас коэффициенті сәйкесінше аз дәрежедегі өзгермелі фенотиптік белгілер екені анықталды.

Кесте 15 –Жаздық бидай Жеңіс, Алмакен, Эритросперум-35 сорттары және 100-200 Гр-мен алынған М₅ мутантты линияларының морфометриялық параметрлерін (ДА, ДҰ, ДЕ және ДҰ/ДЕ қатынас коэффициенті) ANOVA дисперсиялық талдауының %-дық көрсеткіші

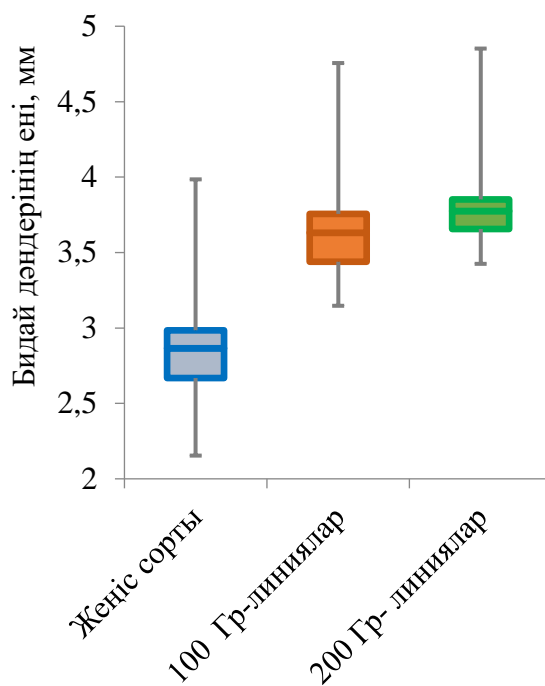
Генотиптер	ДА	ДҰ	ДЕ	ДҰ/ДЕ коэффициенті
Жеңіс сорты x 100 Гр-мен өңделген линиялар	24,54	41,46**	28,53	1,21
Жеңіс сорты x 200 Гр-мен өңделген линиялар	211,3***	323,18***	144,06***	34,78**
100 гр- х 200 Гр-мен өңделген Жеңіс мутантты линиялар	79,07	428,86***	19,29	120,62***
Алмакен сорты x 100 Гр-мен өңделген линиялар	3,09	52,43**	47,09**	0,43
Алмакен сорты x 200 Гр-мен өңделген линиялар	58,73**	104,95***	158,52***	32,59
100 Гр- х 200 Гр-мен өңделген Алмакен линиялар	343,9***	21,42**	161,78***	57,90***
Эритросперум-35 сорты x 100 Гр-мен өңделген линиялар	40,02**	110,9***	25,5**	13,4
Эритросперум-35 сорты x 200 Гр-мен өңделген линиялар	41,06**	404,8***	89,5***	3,7
100 Гр- х 200 Гр-мен өңделген Эритросперум-35 линиялар	19,03	7,35	10,08	3,69
<i>Ескерту</i> –Жоғары мәндер **, *** белгілермен ерекшеленіп, тиісінше 0,01; 0,001 ықтималдық деңгейлерінде белгіленді.				

Дәннің морфометриялық параметрінің өзгерісі, оны өңдеуде қолданған гамма сәулесінің дозасына байланысты болды. Жеңіс пен Эритросперум-35 мутантты линияларда ДҰ-на және ДЕ-не 200-Гр доза айтарлықтай әсер етті. Сондықтан ұзын дәндердің көпшілігі 200 Гр-мен алынған линияларда болды. Сәулеленудің төмен дозасы, Алмакен мутантты линиялардың ДЕ-ның өзгергіштігіне ықпал етті. ДЕ дозаға тәуелді өзгермелі үлгіні көрсетті.

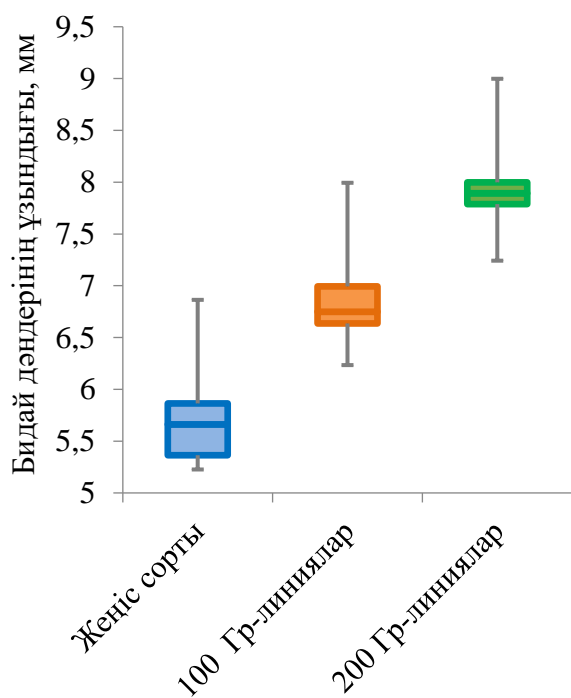
Сонымен, біздің зерттеуде Жеңіс, Алмакен және Эритросперум-35 сорттарынан алынған барлық мутациялық ресурстардың дәндерінің мөлшері (ДҰ және ДҰ/ДЕ арасындағы қатынасы), дән пішіні (ДА және ДЕ) айтарлықтай кең фенотиптік өзгергіштікке ие болғандығын анықтадық.



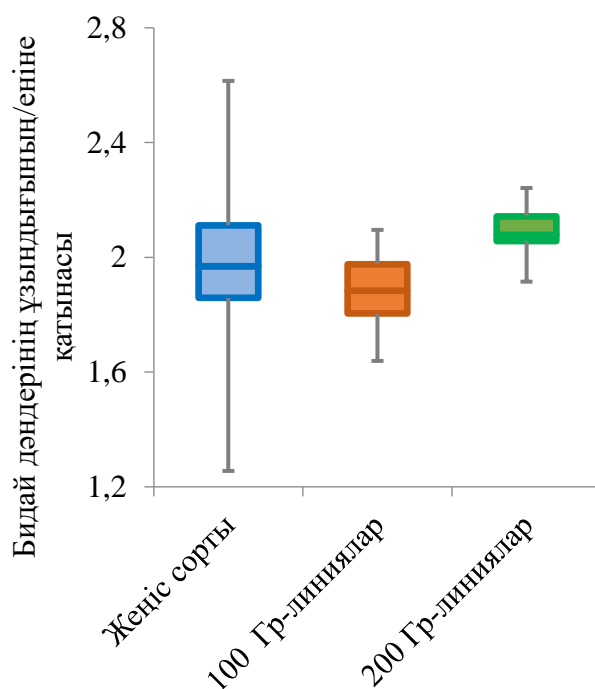
а)



б)

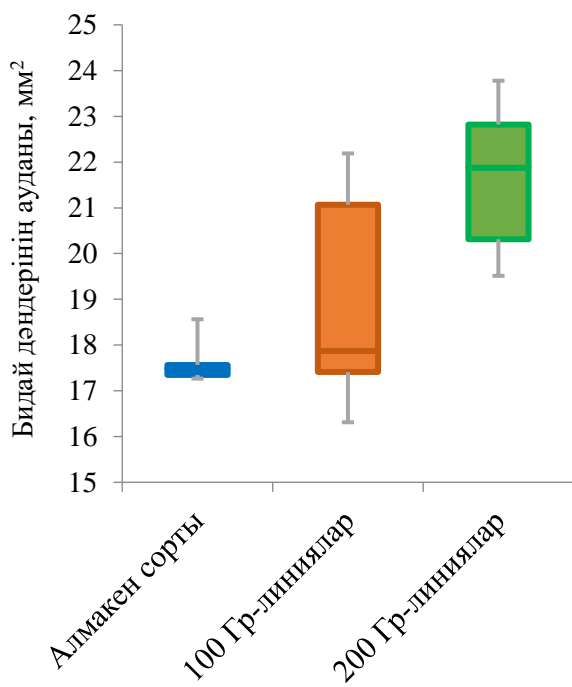


с)

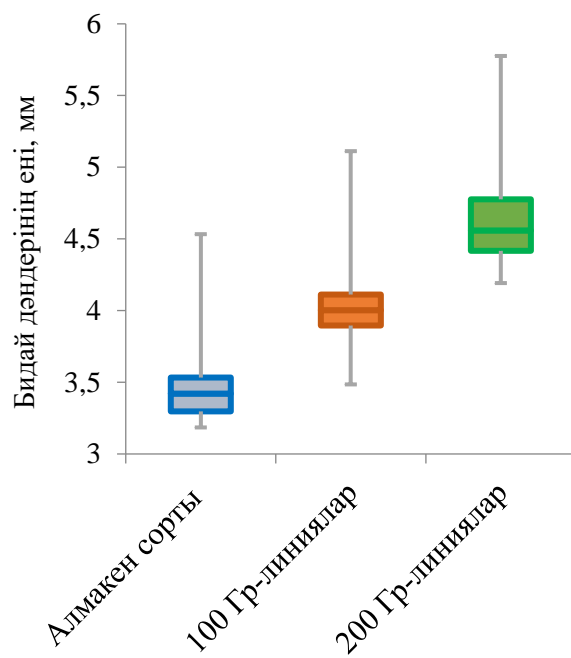


д)

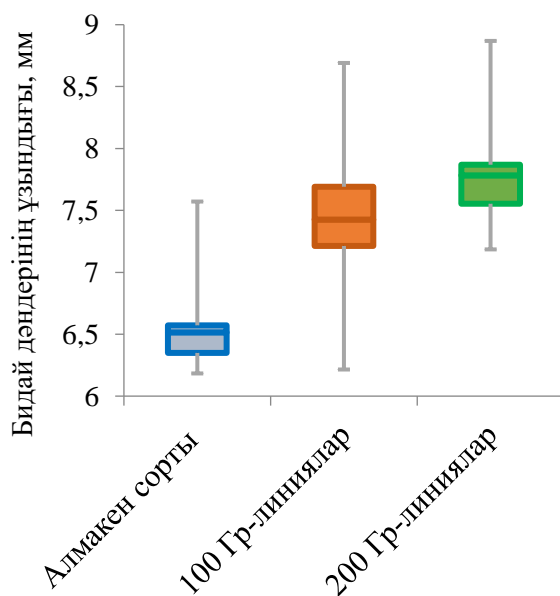
Сурет 15 – Жеңіс сорты мен 100 Гр- және 200 Гр- гамма сәулелендіру арқылы алынған бидай дәндерінің морфометриялық параметрлерін статистикалық тестілеу



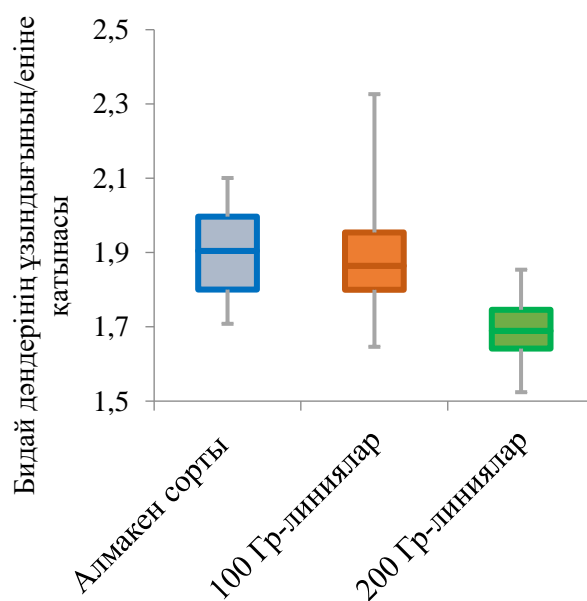
а)



б)

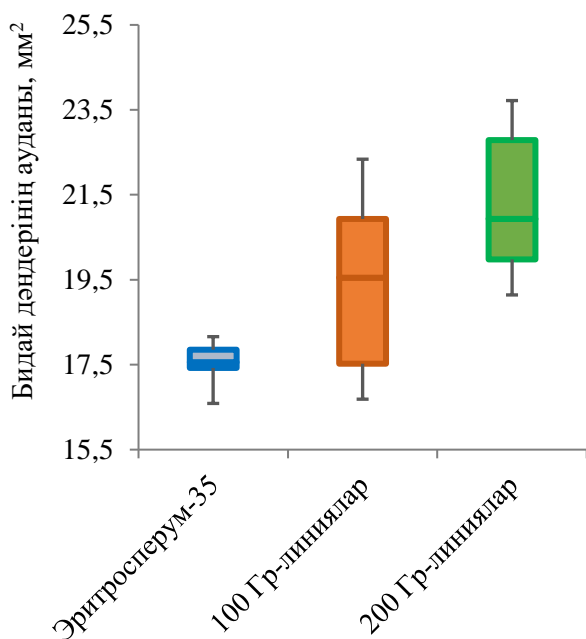


с)

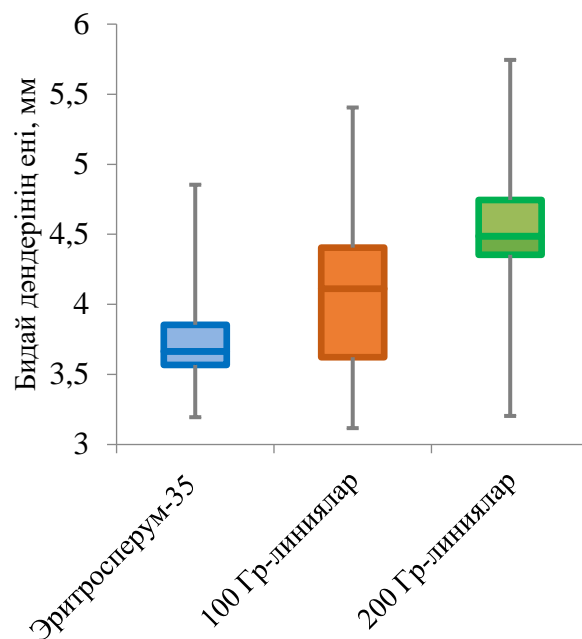


д)

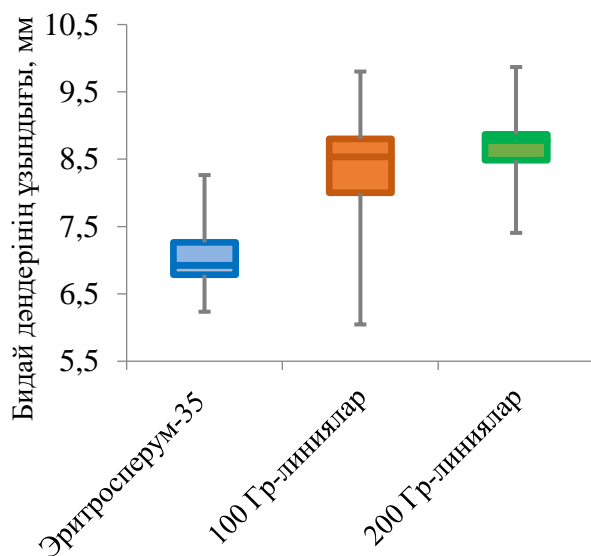
Сурет 16 – Алмакен сорты мен 100 Гр- және 200 Гр- гамма сәулелендіру арқылы алынған бидай дәндерінің морфометриялық параметрлерін статистикалық тестілеу



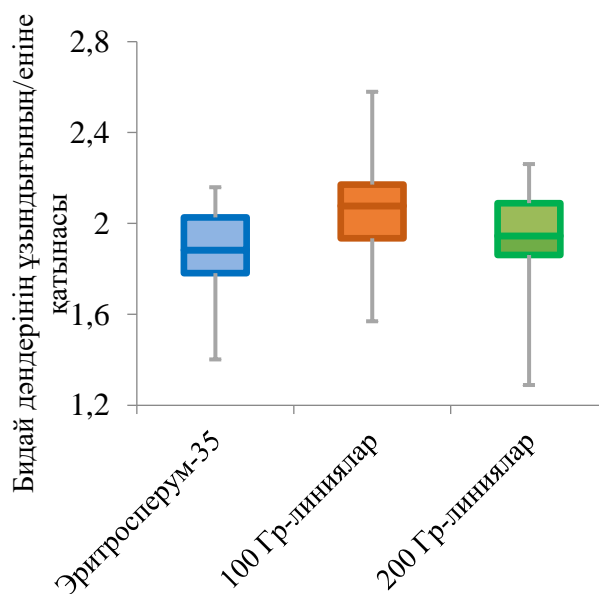
а)



б)



с)



д)

Сурет 17 – Эритроперум - 35 сортын 100 Гр- және 200 Гр- сәулелендіру арқылы алынған бидай дәнінің морфометриялық параметрлерін статистикалық тестілеу

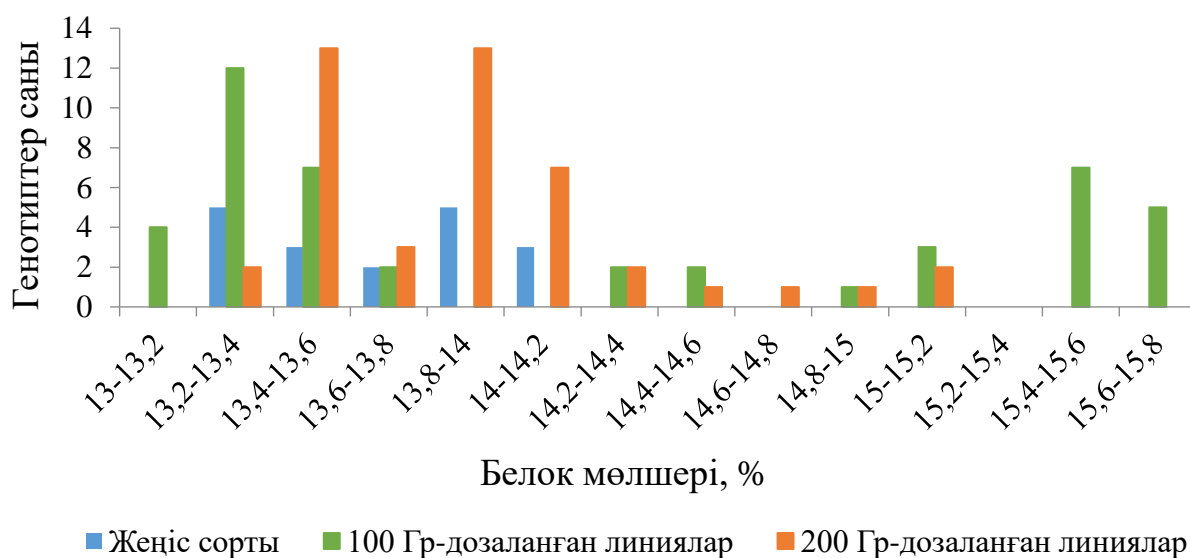
Қазіргі кезде бидай түрлерінің фенотиптік өзгерісі, бұрыннан келе жатқан бидай түрлерімен салыстырғанда айтарлықтай төмендеген. Ал біз гамма сәулесі арқылы алған мутантты бидай дәндерінің ұзын, үлкен формалары жаңа бидайдың өзгергіштігін арттырудағы генетикалық негізгі модель болады.

3.3 Жаздық бидайдың жаңа М₅ мутантты линияларының дәндеріндегі белок мөлшері бойынша бағалау

Кез-келген дақылдың, соның ішінде бидайдың дәндеріндегі белок мөлшері коректік құндылыққа, өнімнің соңғы сапасына әсер ететін маңызды сапалық белгі болып табылады. Бидай өсіру бағдарламаларында дәндегі белок мөлшерін (нан өндіру мақсаттар үшін жоғары белок мөлшері және жануарларды азықтандыру және басқа да мақсаты үшін аз белок мөлшері қолданылады) үнемі тексеріліп отырады [150].

Қазіргі коммерциялық сорттарда белок мөлшері өзгеруінің диапазоны шектеулі және бидайдың дәндеріндегі белок мөлшерін жақсарту, жоғарлату өте қиын. Сонымен қатар, бидай дәндеріндегі белок мөлшері мен өнімділік параметрлері арасында теріс байланыс бар [151].

Осы зерттеуде біз сәулелену нәтижесінде пайда болған бидай дәніндегі белок мөлшерінің диапазонын көрсету үшін талдау деректері құрылды және нәтижелері 20-дан 22-дейін суретте көрсетілген. 100 Гр-мен өңдеу арқылы шығарылған Жеңіс мутантты линияларының белок мөлшері 13,23-тен 15,63%-ға дейін айтарлықтай жоғарлады, орташа мәні $14,31 \pm 0,99\%$ ($c = 45$) көрсетті (сурет 20) және М₅ мутантты 7 линияның (46,7%) атап айтқанда, 6(13), 13(3), 24(1), 24(2), 26(6), 26(9), 36(1) дәндеріндегі белок мөлшері Жеңіс сортына қарағанда 8,2-16,9%-ға жоғарлады (сурет 18).



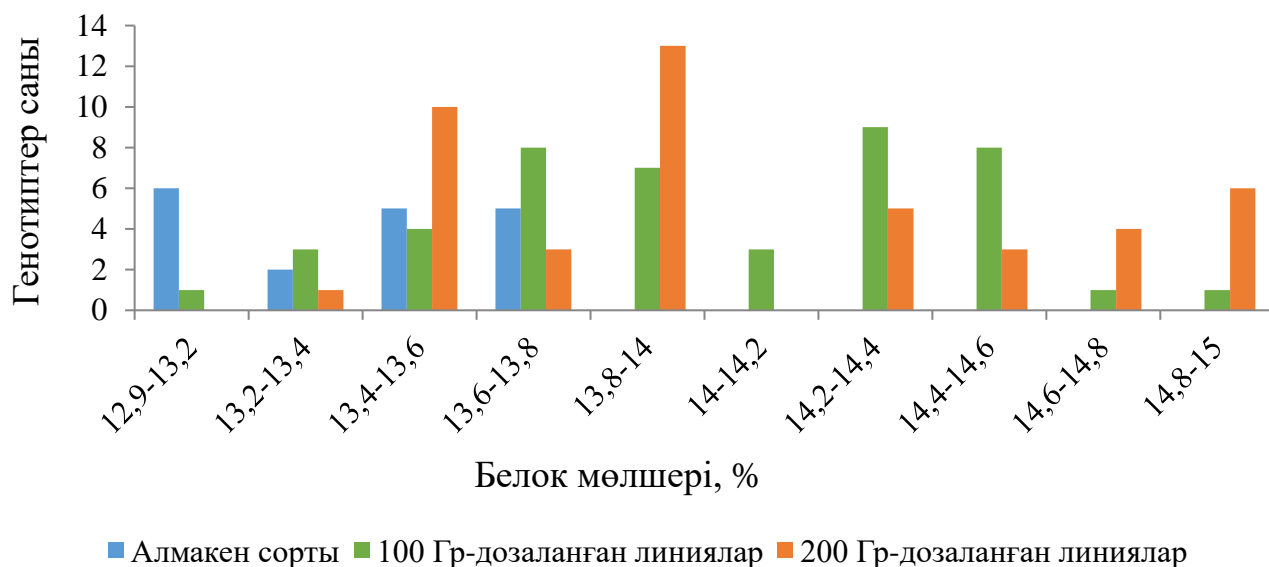
Сурет 18 – Гамма сәулесінің 100 Гр- және 200 Гр- дозалары арқылы алынған М₅ мутантты линиялар мен Жеңіс сортының дәндеріндегі белок мөлшерінің өзгеріс жиілігі

200 Гр-мен алынған мутантты линиялар дәндеріндегі белок мөлшерінің өзгеруі 13,33-тен 14,87% құрды, орташа мәні $13,76 \pm 0,43\%$ ($c = 45$) екендігі анықталды. М₅ мутантты 6 линия (40,03%): 45(1), 49(6), 50(7), 51(2), 51(8), 53(2)

дәндеріндегі белок мөлшері Жеңіс сортымен салыстырғанда 3,4 -11,2%-ға едәуір жақсарды (сурет 18).

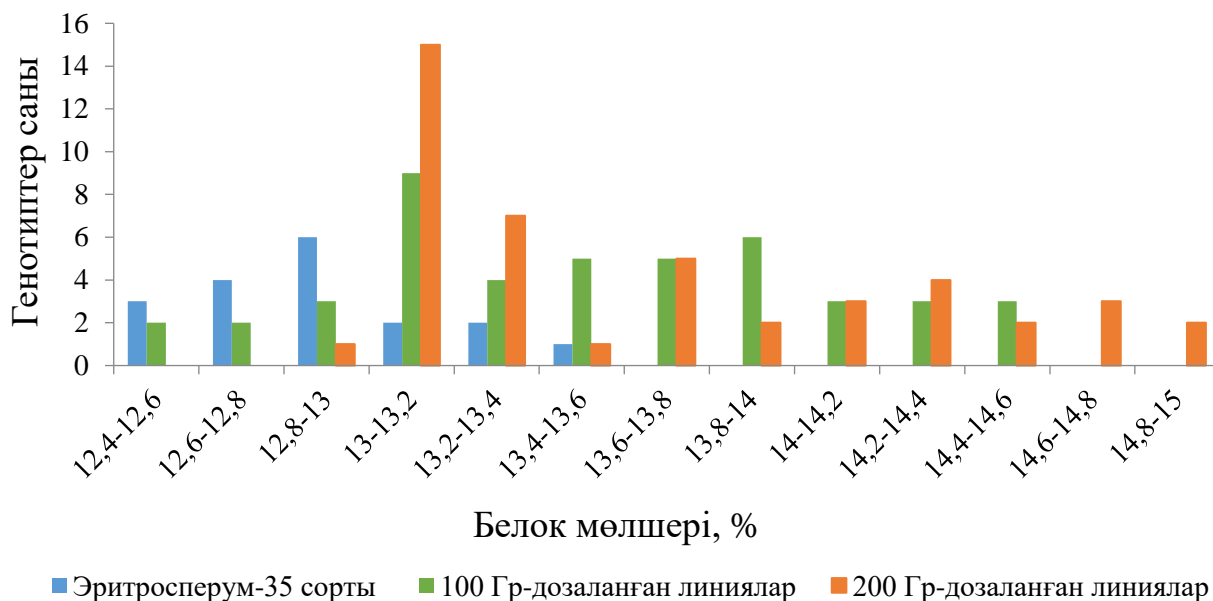
Алмакен мутантты линиялары дәндерінің белок мөлшерін бағалауда, линиялар арасында айтарлықтай генетикалық өзгеріс байқалды (сурет 19). 100 Гр-мен дозаланған мутантты линиялар дәндерінің белок мөлшерінің өзгеріс диапазоны 13,3-тен 14,67%-ға дейін ауытқыды, ал орташа мәні $13,93 \pm 0,40\%$ ($c = 45$) көрсетті. 5 мутантты линия (33,3 %), олар: 82(4), 82(5), 84(4), 89(5) және 91(1) дәндеріндегі белок мөлшері, Алмакен сортына қарағанда 6,0-тен 10,05%-ға жоғарлады (сурет 19).

Мутантты линиялар дәндеріндегі белок мөлшерінің айтарлықтай өзгергіштігі 200 Гр-мен өңделген генотиптер арасында анықталды, олардың мәні 13,63-тен 14,87% -ға дейін өзгеріп, орташа мәні $14,03 \pm 0,43\%$ ($c = 45$) екендігі анықталды. 6 мутантты линия (40%) келесідей нөмірленген: 95(3), 95(7), 98(1), 98(2), 98(6), 101(1) дәндеріндегі белок мөлшері, Алмакен сортынан 7,3-11,25%-ға едәуір жоғарлады (сурет 19).



Сурет 19 – Гамма сәулесінің 100 Гр- және 200 Гр- дозалары арқылы алынған М₅ мутантты линиялар мен Алмакен сортының дәндеріндегі белок мөлшерінің өзгеріс жиілігі

Эритросперум-35 сорты және оның генетикалық негізінде шығарылған М₅ мутантты линиялары дәндеріндегі белок мөлшерінің жиілік өзгерісі 20-суретте келтірілген. Мутантты линиялар дәндеріндегі белок мөлшерінің өзгерісі 100 Гр-мен өңдеуде 12,60-14,43%, ал 200 Гр-мен өңдеуде 12,70-14,73% екендігі көрсетілген, сәйкесінше, орташа мәні $13,56 \pm 0,57\%$ ($c = 45$) және $13,76 \pm 0,63\%$ ($c = 45$) құрады. Жалпы келесідей нөмірленген 11 генотиптердің (37,0 %): 108(1), 118(3), 135(1), 136(1), 140(2), 149(2), 150(7), 152(5), 153(6), 153(7), 153(8) дәндеріндегі белок мөлшері, Эритросперум-35 сортына қарағанда 5,7-11,0 %-ға дейін жоғары деңгейге ие болды (сурет 20).



Сурет 20 – Гамма сәулесінің 100 Гр- мен 200 Гр- дозалары арқылы алынған М₅ мутантты линиялар мен Эритросперум-35 сортының дәндеріндегі белок мөлшерінің өзгеріс жиілігі

Барлық мутантты линиялардың дәндеріндегі белок мөлшерінің өзгергіштік коэффициенттерінің мәліметтерін салыстыруда, Жеңіс 100 Гр-мен өңделген М₅ мутантты линиялары дәндеріндегі белок мөлшерінің өзгергіштік коэффициенті басқа мутантты линияларға қарағанда жоғарылағандығының дәлелі үшін 16-кесте ұсынылды және бұл кестеден басқа мутантты линиялардың дәндеріндегі белок мөлшерінің өзгергіштік коэффициентінің ауытқуы орташа деңгейден жоғары болғандығы байқалды.

Кесте 16 – 100 Гр- және 200 Гр-мен өңдеу арқылы шығарылған М₅ мутантты линиялар мен бастапқы бидай сорттарының дәндеріндегі белок мөлшерінің өзгергіштік коэффициенті

Мутантты линиялар	Дәндердегі белок мөлшерінің өзгергіштік коэффициенті, %
Жеңіс 100 Гр-мен алынған мутантты линиялар	6,92
Жеңіс 200 Гр-мен алынған мутантты линиялар	3,13
Алмакен 100 Гр-мен алынған мутантты линиялар	3,30
Алмакен 200 Гр-мен алынған мутантты линиялар	3,07
Эритросперум-35 100 Гр-мен алынған линиялар	4,20
Эритросперум-35 200 Гр-мен алынған линиялар	4,58

Осылайша, сәулеленген мутантты линиялары дәндеріндегі белок мөлшері әртүрлі болды, оларды дәндеріндегі белок мөлшері өздерінің ата-аналық

сорттары Жеңіс, Алмакен және Эритросперум-35-пен салыстырғанда едәуір жоғары болды. Ең жоғары белок мөлшері (15,8%) Жеңіс 100 Гр-мен өңдеу арқылы алынған мутантты линияларда анықталды, ол Жеңіс сорттынан 16,9 % - ға артты.

Жеңіс, Алмакен және Эритросперум-35 сорттарынан қарағанда мутантты линияларының дәндеріндегі белок мөлшері анағұрлым жоғары болған мутантты линиялардың жалпы саны 17-кестеде көрсетілген.

Белок мөлшері көп болған мутантты линиялардың саны Жеңіс сортының 100 Гр-мен өңдеуде алынған линияларда көп болды. 200 Гр-мен өңдеуде алынған линияларда белок мөлшері жоғары болған линиялардың санында еш айырмашылығы болмады (кесте 17).

Кесте 17 – Гамма сәулесінің 100 Гр- және 200 Гр- дозаларымен өңдеу арқылы Жеңіс, Алмакен және Эритросперум-35 сорттарынан алынған линиялардың дәндеріндегі белок мөлшері бастапқы сорттардан айтарлықтай жоғары болған мутантты линиялардың жалпы саны

M ₅ мутантты линиялар	Белок мөлшері жоғары болған мутантты линиялардың жалпы саны	
	100 Гр	200 Гр
Жеңіс мутантты линиялар	8(53,3%)	6(40%)
Алмакен мутантты линиялар	4(26,7%)	6(40%)
Эритросперум-35 мутантты линиялар	5(33,3%)	6(40%)

Жаздық бидай Жеңіс, Алмакен және Эритросперум-35 сорттар мен 100 Гр- және 200 Гр- сәулеленген мутантты линиялары дәндеріндегі белок мөлшеріне жасалған ANOVA дисперсиялық талдау 18-кестеде көрсетілген.

Белок мөлшерін ANOVA дисперсиялық талдауда, гамма сәулеленудің айтарлықтай әсері бар екендігі байқалды. Жеңіс, Алмакен және Эритросперум-35 сорттарының генетикалық фонына қарағанда, сәулеленген линияларының дәндеріндегі белок мөлшері едәуір жоғарылағаны көрсетілген (кесте 18). Белок мөлшері бойынша ең жоғарғы өзгергіштік коэффициентті Эритросперум-35 сорты мен 100 Гр- және 200 Гр- дозаланған линиялар арасында байқалды, сәйкесінше мәндері 58,21, $P < 0,001$ және 71,93, $P < 0,001$ көрсетті. 100 Гр- және 200 Гр- дозаланған линиялар арасында ең жоғарғы өзгергіштік коэффициент Жеңіс мутантты линиялар арасында байқалды (11,11, $P < 0,01$). Жеңіс және Алмакен мутантты линиялар дәндерінің белок мөлшерінде үлкен өзгергіштік енгізу үшін гамма сәулесінің төменгі (100 Гр) және жоғарғы (200 Гр) дозасының әсері шамамен бірдей болғандығын 18-кестедегі нәтижеден айқын көруге болады.

Алмакен және Эритросперум-35 мутантты линиялары дәндеріндегі белок мөлшері, гамма сәулесі дозаларының әсерінен, бастапқы сортқа қарағанда 2 есе жоғарлады. Жеңіс 100 Гр- және 200 Гр-мен дозаланған линиялар арасында айтарлықтай айырмашылығы 100 Гр-дозада байқалды. Бірақ Алмакен мен

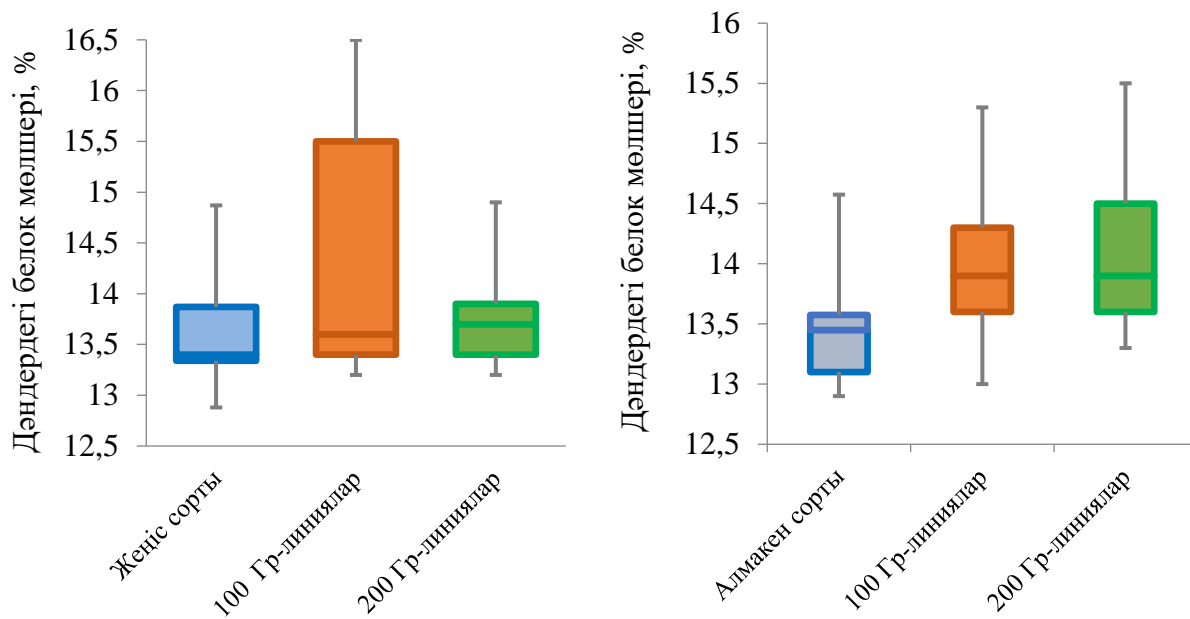
Эритросперум-35 сәулеленген мутантты линияларында керісінше, белок мөлшерін жоғарылату үшін 200 Гр сәулеленудің оң әсері жоғары болғаны көрінді (кесте 18).

Кесте 18 – 100 Гр- және 200 Гр- сәулелері арқылы, жаздық бидай Жеңіс, Алмакен және Эритросперум-35 сорттарын алынған перспективті жаңа М₅ мутантты линиялары дәндеріндегі белок мөлшерінің өзгергішілік коэффициентінің %-дық көрсеткіші

Мутантты генотиптер	Белок мөлшерінің өзгергішілік коэффициент көрсеткіші
Жеңіс сорты x 100 Гр- дозаланған мутантты линиялар	21,72 ^{***}
Жеңіс сорты x 200 Гр- дозаланған мутантты линиялар	23,59 ^{***}
100 Гр- x 200 Гр- дозалаланған Жеңіс мутантты линиялар	10,11 ^{**}
Алмакен сорты x 100 Гр- дозаланған мутантты линиялар	49,40 ^{***}
Алмакен сорты x 200 Гр- дозаланған мутантты линиялар	46,54 ^{***}
100 Гр- x 200 Гр- дозаланған Алмакен мутантты линиялар	0,51
Эритросперум-35 сорты x 100 Гр- дозаланған линиялар	58,21 ^{***}
Эритросперум-35 сорты x 200 Гр- дозаланған линиялар	71,93 ^{***}
100 Гр- x 200 Гр- дозаланған Эритросперум-35 линиялар	3,05
<i>Ескерту</i> Жоғары мәндер ^{**} , ^{***} белгілермен ерекшеленіп, тиісінше 0,01; 0,001 ықтималдық деңгейлерінде белгіленді.	

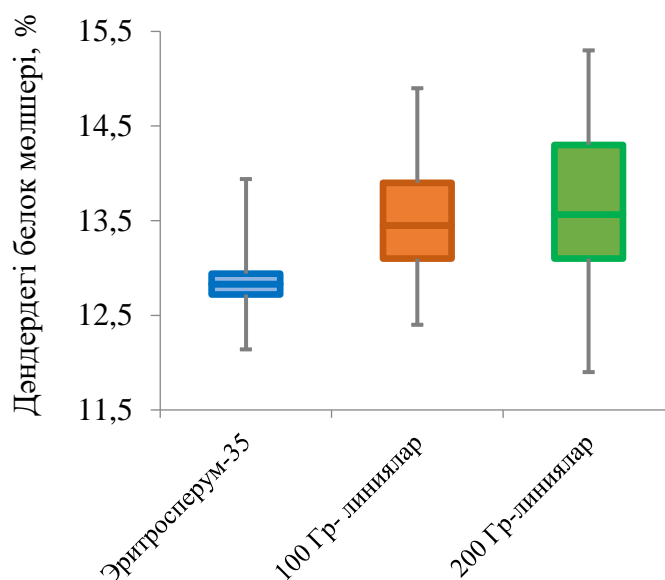
100 Гр- және 200 Гр- гамма сәулелерімен өңдеу арқылы алынған мутантты линиялары және олардың Жеңіс, Алмакен және Эритросперум-35 сорттарының дәндеріндегі белок мөлшерін статистикалық тестілеуде, Алмакен мен Эритросперум-35 мутантты линияларына төмен және жоғары (100 Гр және 200 Гр) дозалардың әсері, шамамен бірдей көрсеткіш берді (сурет 21).

Осылайша, Жеңіс, Алмакен және Эритросперум-35 сорттарының генетикалық фонын сәулелендіру арқылы шығарылған мутантты линиялардың дәндеріндегі, белок мөлшері жоғарлады және оның өзгергіштік диапазоны кеңейтілді. Алмакен және Эритросперум-35 сәулеленген мутантты линиялары дәндеріндегі белок мөлшерінің өзгерісінде, сәулеленудің жоғары дозасы оң әсер еткендігі байқалады, Жеңіс мутантты ресурстарда, дәндегі белок мөлшері жоғары болған М₅ мутантты линиялардың едәуір көп саны, гамма сәулесінің 100 Гр- дозасымен өңделген линияларда анықталды. Бұл нәтижелер астық дәндеріндегі белок мөлшерінің құнды өзгерістеріне гамма сәулесінің төмен дозасы оң әсер бергендігі және бидайдың генетикалық фонның маңызы зор екендігін дәлелдейді [152].



а)

б)



с)

Сурет 21 – 100 Гр- және 200 Гр- гамма сәулелерімен өңдеу арқылы алынған мутантты линиялар мен олардың Жеңіс, Алмакен және Эритросперум-35 сорттарының дәндеріндегі белок мөлшерін статистикалық тестілеу

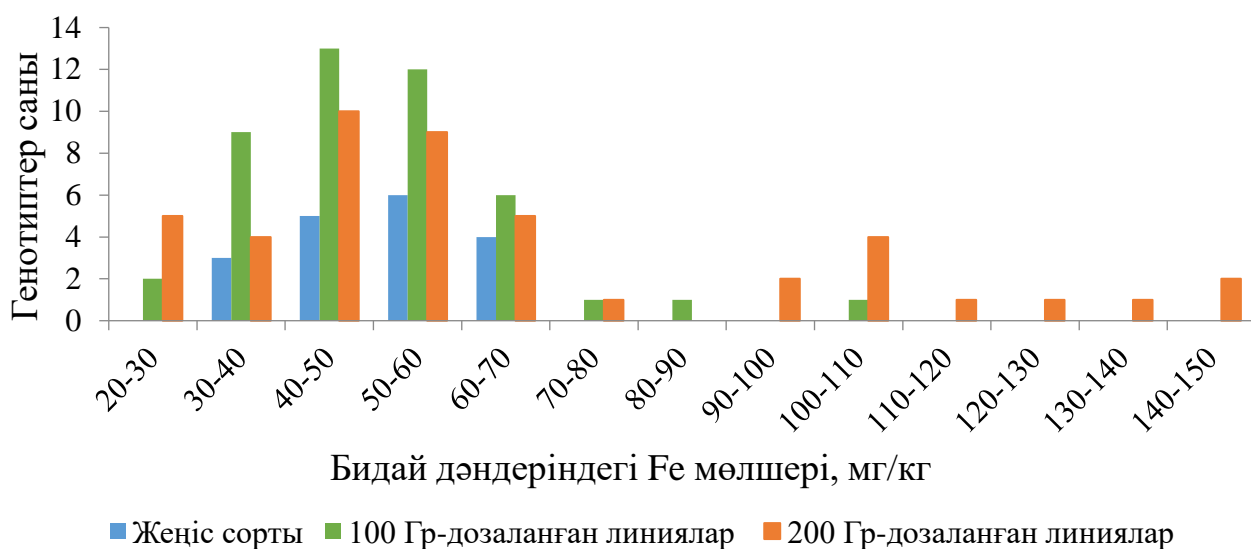
3.4 Микроэлементтері биофортификацияланған жаздық бидайдың мутантты линияларын идентификациялау

Зерттеу жұмысының бірі бидайдың генетикалық әр түрлілігін кеңейту үшін 100 Гр- және 200 Гр- гамма сәулелену дозасын қолдану арқылы алынған, Fe және Zn мөлшері биофортификацияланған бидайдың M_5 мутациялық ресурстарын анықтау болды.

Жеңіс, Алмакен және Эритросперум-35 жаздық бидайларын 100 Гр- және 200 Гр- сәулесімен өңдеу негізінде, шығарылған жаңа мутантты линиялардың дәндеріндегі Fe және Zn мөлшері талданды.

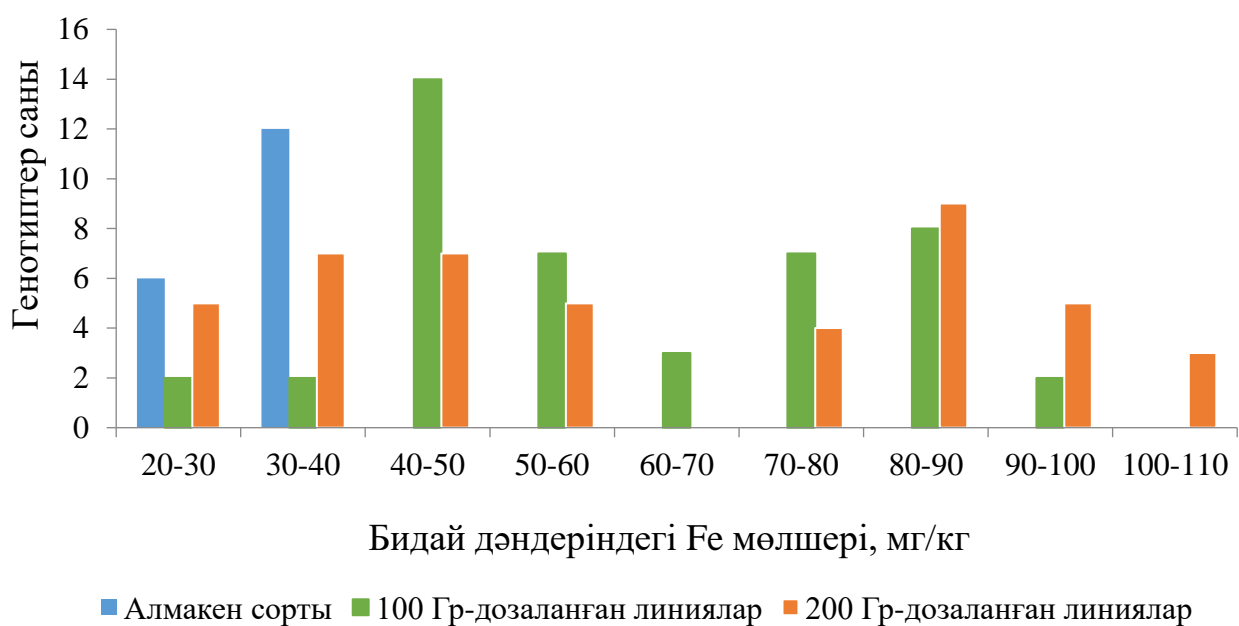
Бидай дәндеріндегі елеулі айырмашылықтар 100 Гр-мен өңделген мутантты линиялар (с= 45) арасында табылды. Fe мөлшері 27,63-ден 110,14 мг/кг-ға дейін өзгерді, орташа мәні $49,20 \pm 8,0$ мг/кг тең болды (сурет 22). Fe мөлшері бастапқы сортқа қарағанда 0,7-2,5 есеге айтарлықтай жоғарлады. Жоғары мәндер 5(4), 6(5), 13(3), 18(5), 26(10), 36(1) линияларда анықталды.

Жеңіс 200 Гр-мен өңделген мутантты линиялардың дәндеріндегі Fe мөлшері 23,29-дан 144,27 мг/кг-ға дейін артты, орташа мәні $65,34 \pm 37,39$ мг/кг көрсетті. 45(1), 48(3), 49(2), 49(6), 51(1), 51(8) таңбаланған 6 мутантты линиялардың (40%): дәндеріндегі Fe мөлшері Жеңіс сортына қарағанда 1,6-4,2 есеге ұлғайғандығы анықталды (сурет 22).



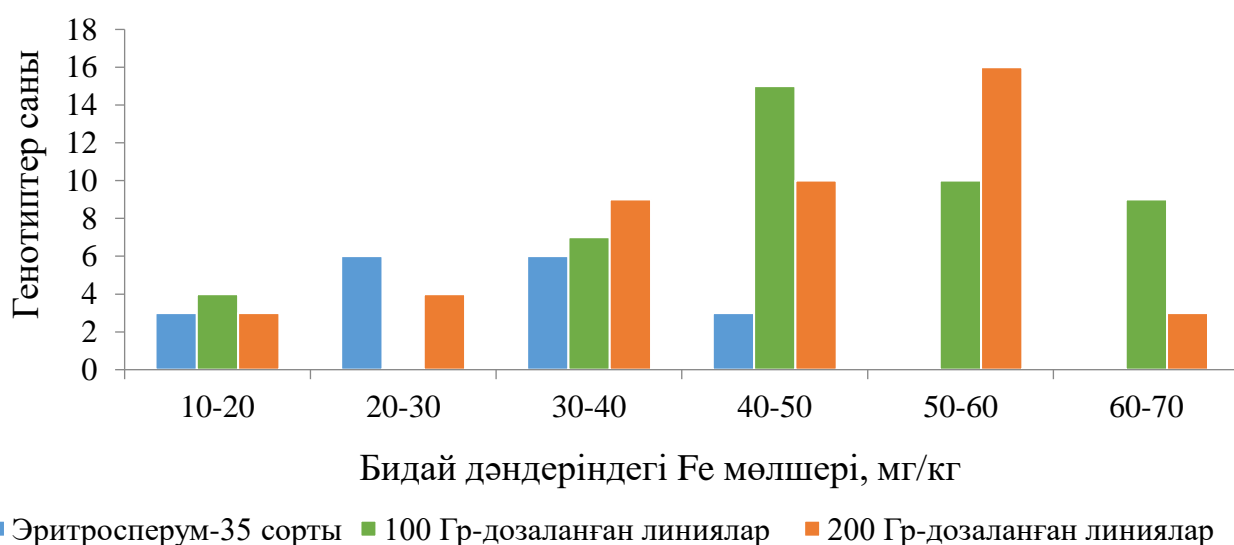
Сурет 22 – 100 Гр- және 200 Гр- сәулелерімен дозаланған M₅ мутантты линиялары мен Жеңіс сортының дәндеріндегі Fe мөлшерінің өзгеріс диапазоны

Дәндердегі Fe мөлшерін бағалауда Алмакен M₅ мутантты линиялар арасында да айтарлықтай генетикалық өзгерістер анықталды (сурет 23). 100 Гр-мен сәулеленген линиялардың дәндеріндегі Fe мөлшері 16,80-ден 90,51 мг/кг-ға дейінгі мәндерді көрсетті, орташа мәні $59,95 \pm 18,4$ мг/кг (с = 45) сипатталды. M₅ 7 мутантты линияның (46,7%), 79(1), 79(5), 81(1), 82(2), 82(5), 89(5), 89(8) дәндеріндегі Fe мөлшері айтарлықтай жоғарылап, Алмакен сортына қарағанда 1,7-ден 2,7 есеге артты. Сондай-ақ, Алмакен 200 Гр-мен дозаланған мутантты линиялардың (с = 45) дәндеріндегі Fe мөлшерінің өзгерісі 28,80 мг/кг-ден 111,3 мг/кг дейінгі аралықта болып, орташа мәні $59,85 \pm 28,35$ мг/кг көрсетті (сурет 23). 9 генотиптің (60%), 94(4), 95(2), 95(7), 95(8), 98(1), 98(2), 98(4), 98(6), 101(1) дәндеріндегі Fe мөлшері Алмакен сортымен салыстырғанда 1,9-3,6 есе жоғарлады. Ең жоғарғы Fe мөлшерінің мәні 200 Гр-мен өңделген мутантты линиялардың дәндерінен табылды (сурет 23).



Сурет 23 – 100 Гр- және 200 Гр- сәулелерімен дозаланған M_5 мутантты линиялары мен Алмакен сортының дәндеріндегі Fe мөлшерінің өзгеріс диапазоны

Дәндердегі Fe мөлшері биофортификацияланған жаздық бидай Эритросперум-35 мутантты формаларын зерттеуде, 100 Гр-мен радиацияланған мутантты линиялардың дәндеріндегі Fe мөлшерінің биоқолжетімділігі айтарлықтай өзгергені байқалды (сурет 24). Fe мөлшері 14,19-дан 65,53 мг/кг-ға дейін артып, орташа мәні $46,78 \pm 13,71$ мг/кг ($s = 45$) көрсетті. 113(1), 113(5), 118(1), 118(2), 118(3), 140(3), 140(4) таңбаланған 8 M_5 мутантты линия дәндеріндегі (53,3%) Fe мөлшері, бастапқы Эритросперум-35 сортының дәндеріндегі Fe мөлшерінен 1,4-1,9 есеге айтарлықтай жоғарлады (сурет 24).



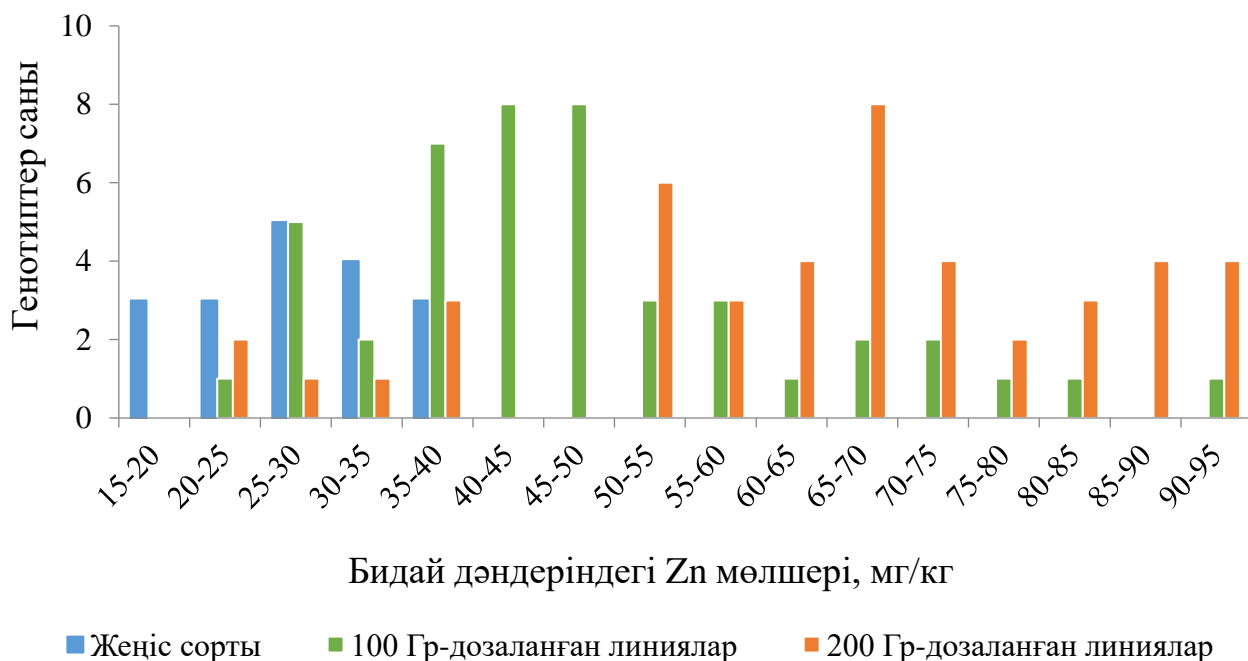
Сурет 24 – 100 Гр- және 200 Гр- сәулелерімен дозаланған M_5 мутантты линиялар мен Эритросперум-35 сортының дәндеріндегі Fe мөлшерінің өзгеріс диапазоны

Ең жоғары Fe мөлшері 200 Гр-мен сәулеленген мутантты линиялардың дәндерінде анықталды (сурет 24). Fe мөлшерінің ауытқуы 13,49-дан 60,64 мг/кг-ға дейін өзгерді, ал орташа мәні $43,12 \pm 14,18$ мг/кг ($s = 45$) құрады. 8 M₅ мутантты генотиптердің (53,3%), яғни, 144(1), 149(2), 152(4), 152(8), 153(4), 153(5), 153(6), 153(7) дәндеріндегі Fe мөлшері Эритросперум-35 сортымен салыстырғанда 1,3-1,7 есеге жоғарылағандығы анықталды (сурет 24).

Осылайша, бидай дәндеріндегі Fe мөлшерін талдауда, гамма-сәулелену арқылы алынған мутантты линиялардың дәндеріндегі Fe мөлшері, бастапқы сорттар Жеңіс, Алмакен және Эритросперум-35-ке қарағанда 1,3-3,6 есеге жоғарлады. Дәндердегі ең жоғары Fe мөлшері Алмакен 200 Гр-мен дозаланған мутанты линияларда анықталды (сурет 24).

Бидай дәндеріндегі Zn мөлшері диппазонының 25-тен 27-ші суреттерде берілген. 100 Гр-мен дозаланған мутантты линиялар дәндеріндегі Zn мөлшерінің мәндері 24,9-дан 91,40 мг/кг аралығында ауытқыды, орташа мәні $44,5 \pm 6,3$ мг/кг болды. 3 мутантты линиялардың (20%), 6(5), 13(3), 26(6) дәндеріндегі Zn мөлшері, бастапқы сорт Жеңіспен салыстырғанда 1,3-2,9 есеге айтарлықтай жоғарлады (сурет 25).

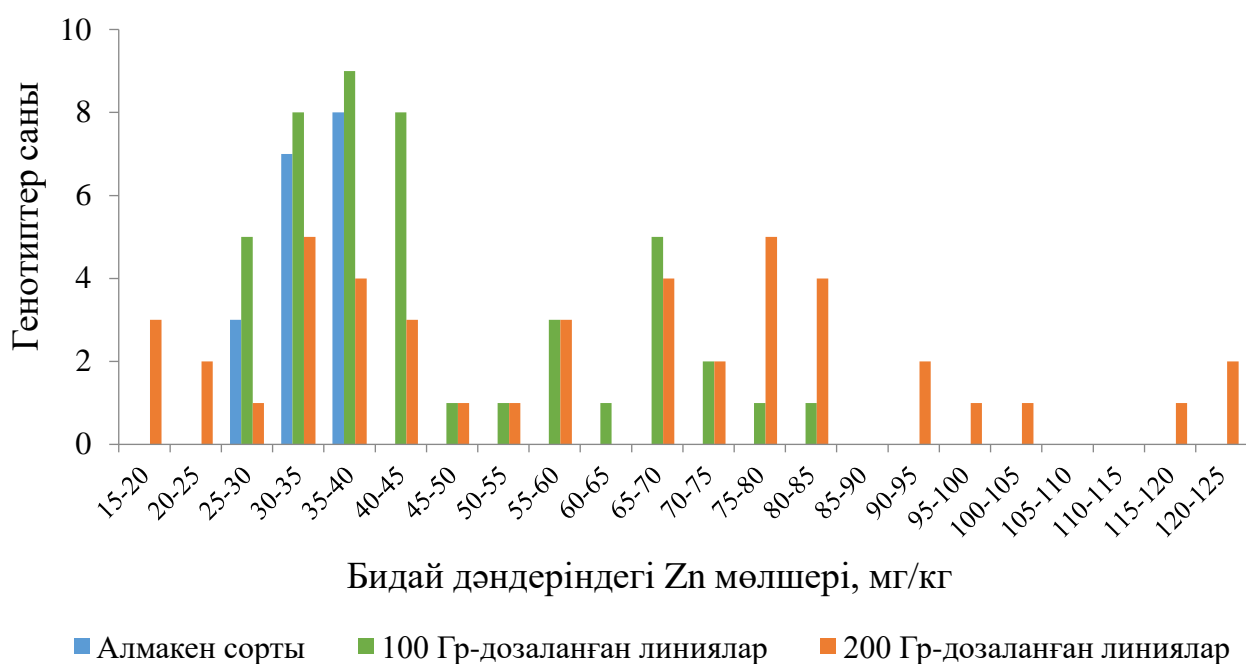
Жеңіс 200 Гр-мен өңделген мутантты линиялар дәндеріндегі Zn мөлшері 17,9-дан 91,40 мг/кг-ға дейін аралықта болды, орташа мәні $62,3 \pm 7,2$ мг/кг көрсетті. Бастапқы сорт Жеңіс-пен салыстырғанда, дәндеріндегі Zn мөлшері 1,2-2,9 есе жоғарылаған 10 M₅ мутантты линиялар (66,7%), 43(1), 43(4), 45(1), 45(2), 49(2), 49(4), 49(6), 50(7), 51(1), 51(8) анықтады (сурет 25).



Сурет 25 – 100 Гр- және 200 Гр- сәулелерімен дозаланған M₅ мутантты линиялар мен Жеңіс сортының дәндеріндегі Zn мөлшерінің өзгеріс диапазоны

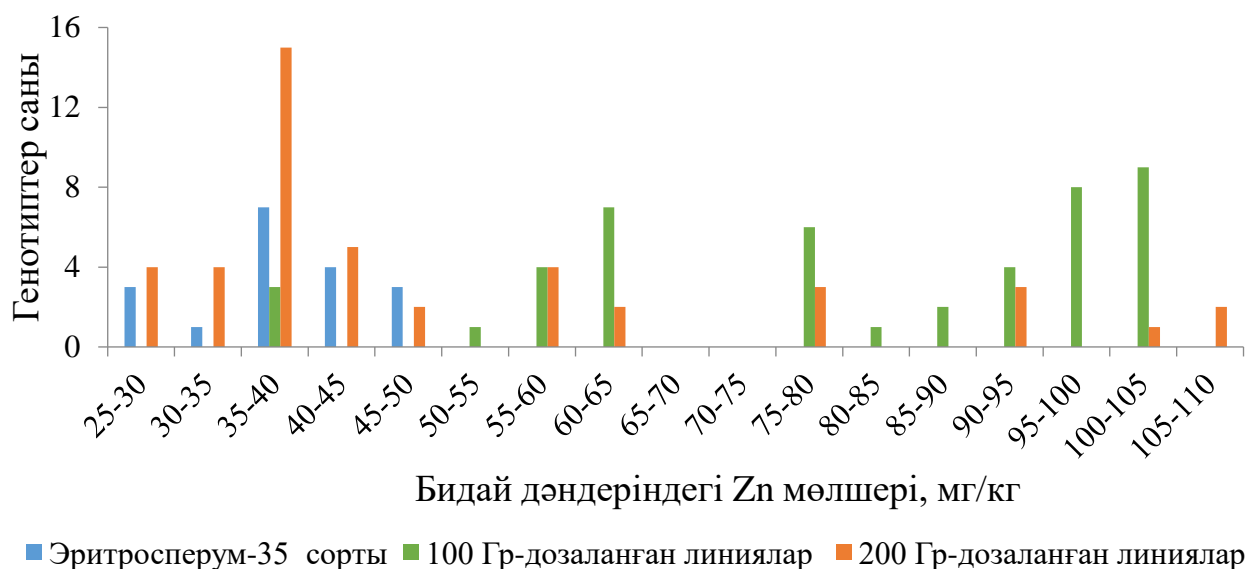
Бидай дәндеріндегі Zn мөлшерін бағалауда, Алмакен M₅ мутантты линияларда айтарлықтай генетикалық өзгерістер байқалды (сурет 26). Төмен

дозамен өңдеуде, мутантты линиялардың дәндеріндегі Zn мөлшерінің мәндері 28,8-ден 85,1 мг/кг-ға дейін ауытқыды. Ал орташа мәні $45,5 \pm 8,03$ мг/кг ($c = 45$) көрсетті. 5 M₅ (33,3%) Алмакен мутантты генотиптердің атап айтқанда 75(2), 79(1), 82(2), 82(5), 89(8) линиялардың дәндеріндегі Zn мөлшері, Алмакен сортынан 1,7-2,3 есеге жоғары болды, сондай-ақ, Zn мөлшері 28,5-ден 125,6 мг/кг-ға дейін өзгерген, 200 Гр-мен дозаланған M₅ мутантты линияларының дәндеріндегі Zn мөлшерінің орташа мәні $61,63 \pm 9,42$ мг/кг ($c = 45$). Зерттеу барысында 94(4), 95(2), 95(3), 95(8), 98(1), 98(4), 98(6), 101(1), 101(3) нөмерленген 9 линияның (60%) Zn мөлшері Алмакен сортынан жоғарылағаны анықталды (сурет 26).



Сурет 26 –100 Гр және 200 Гр-мен дозаланған M₅ мутантты линиялары мен Алмакен сортының дәндеріндегі Zn мөлшерінің өзгеріс диапазоны

Эритросперум-35 сорты мен оның 100 Гр- және 200 Гр-мен өңделген M₅ мутантты линияларының дәндеріндегі Zn мөлшері жиілігінің үлестірілуі 27-суретте көрсетілген. 100 Гр-мен сәулеленген M₅ мутантты линиялардың дәндеріндегі, Zn мөлшері мәндерінің диапазоны 36,28-ден 102,88 мг/кг- дейін өзгеріп, орташа мәні $80,44 \pm 20,78$ мг/кг ($c = 45$) екендігі анықталды, тиісінше, 200 Гр-мен сәулеленген линиялардың дәндеріндегі, Zn мөлшері 25,97-ден 106,23 мг/кг-ға дейін ауытқып, орташа мәні $51,01 \pm 23,38$ мг/кг көрсетті. Дәндеріндегі Zn мөлшері, бастапқы сортпен салыстырғанда 1,9-дан 3,6 есеге дейін едәуір артқан, 20 мутантты линияның (66,6%), негізінен 15 линиясы 100 Гр- дозамен өңделген. Атап айтқанда, 105(1), 108(1), 113(1), 113(5), 118(1), 118(2), 118(3), 135(1), 136(1), 138(6), 140(2), 140(3), 140(4), 232(1), 242(2), 144(2), 149(2), 152(4), 153(4), 153(5) линиялар.



Сурет 27 –100 Гр және 200 Гр-мен дозаланған М₅ мутантты линиялар мен Эритросперум-35 сортының дәндеріндегі Zn мөлшерінің өзгеріс диапазоны

Осылайша, Жеңіс, Алмакен және Эритросперум-35 сорттарынан алынған мутантты линияларды салыстыру нәтижесі көрсеткендей, мутантты линиялардың дәндеріндегі Fe және Zn мөлшері бастапқы сорттарға қарағанда айтарлықтай жоғары болды. Гамма сәулесінің 200 Гр-дозасымен өңделіп алынған Алмакен мутантты линиялардың дәндеріндегі Fe мөлшерінің ең жоғары мәні, ата-аналық сортпен салыстырғанда 3-4 есеге артқан. Сонымен қатар, мутантты линиялар дәндеріндегі Zn мөлшерінің артуы, Fe мөлшерімен шамамен бірдей болды. Ал 100 Гр- дозамен алынған Эритросперум-35 мутантты линиялары дәндердегі Zn мөлшері, бастапқы сортпен салыстырғанда, шамамен 4 есеге жоғарлады. Мутантты линияларды зерттеуде, 200 Гр-мен сәулеленген линиялардың саны да артқан және дәндеріндегі Fe мөлшері, көбінесе Zn мөлшерінен жоғары мәнді көрсетті (кесте 19).

Кесте 19 – 100 Гр- және 200 Гр- гамма сәулелерімен радиацияланған линиялардың дәндеріндегі Fe және Zn мөлшері бастапқы сорттарымен салыстырғанда жоғары болған, жаздық бидай Жеңіс, Алмакен, Эритросперум-35 сорттарының М₅ мутантты линиялар саны

Генотиптер	Fe мөлшері жоғары болған мутантты линиялар саны		Zn мөлшері жоғары болған мутантты линиялар саны	
	100 Гр	200 Гр	100 Гр	200 Гр
Жеңіс мутантты линиялар	6 (40%)	6 (40%)	3 (20%)	9 (60%)
Алмакен мутантты линиялар	8 (53%)	9 (60%)	5 (33%)	9 (60%)
Эритросперум-35 мутантты линиялар	8 (53%)	8 (53%)	14 (93%)	5 (33%)

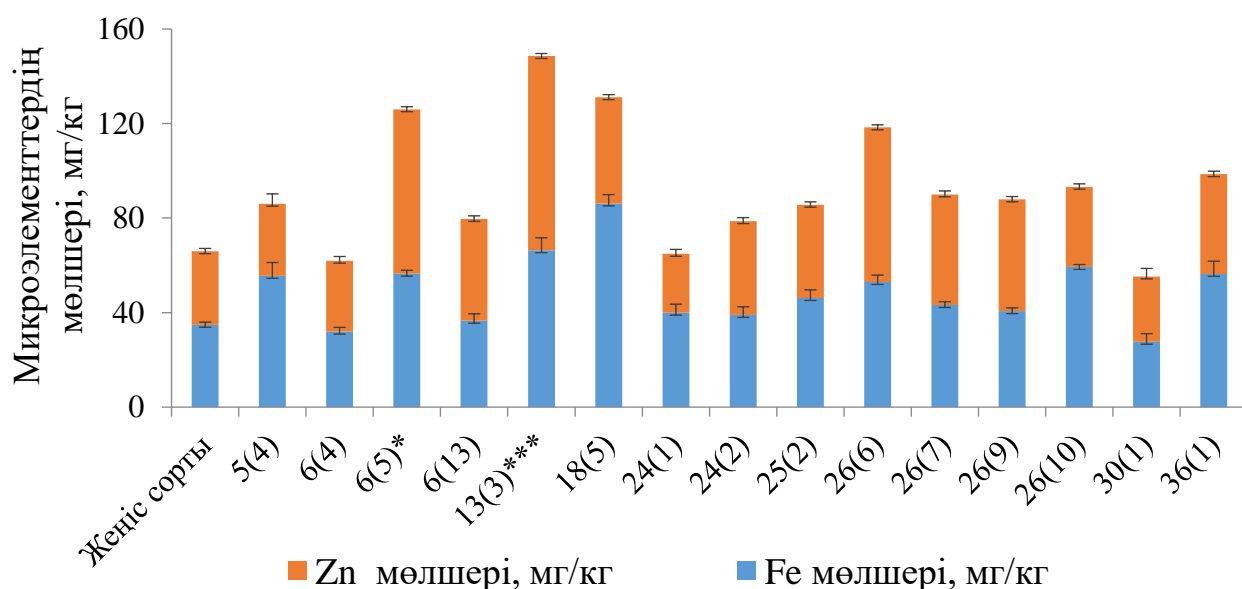
Бұл зерттеулер бидай дәндеріндегі микроэлементтердің мөлшерін жақсарту үшін жаңа жаздық бидайдың мутантты линиялары донор бола алатынын, осы ресурстардың дәндерінде микронутриенттердің жинақталуы үшін үлкен сыйымдылық бар екенін көрсетті.

Мәдени бидайдың тағамдық құндылығын арттыру үшін, жабайы Эммер бидайының артықшылықтарын дәйекті түрде пайдаланатындығы туралы ғылыми мақалаларда деректер көрсетілген [153].

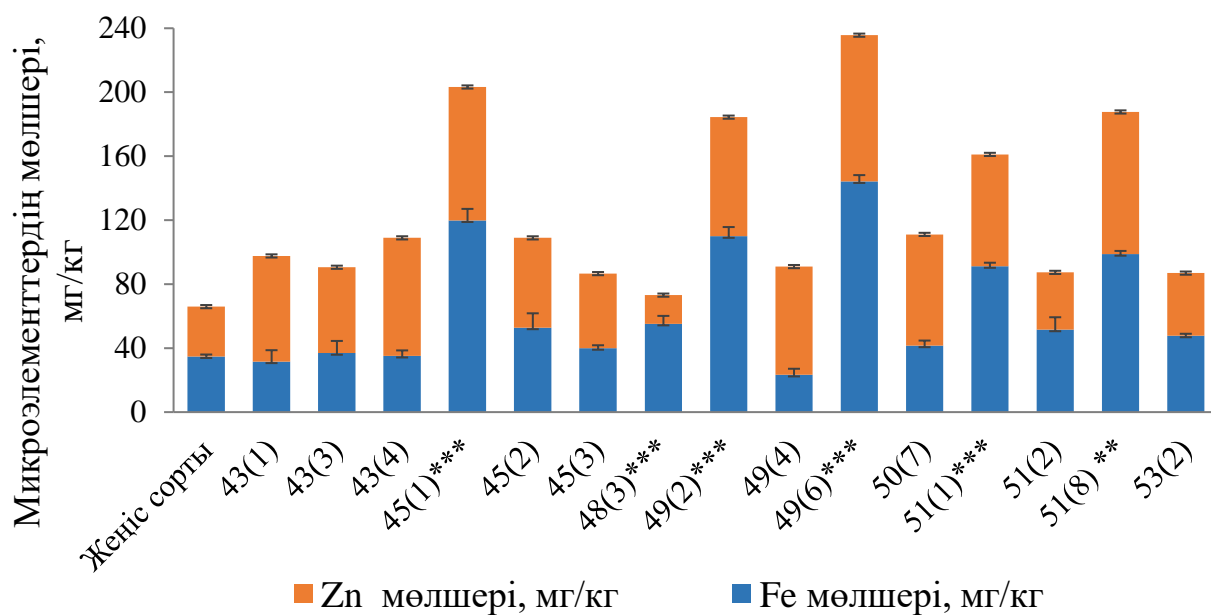
Дала жағдайында өсірілген гексаплоидты жабайы бидай дәндеріндегі Fe мөлшерінің мәндері туралы жарияланған мәліметтерде 28,8- 56,5 мг/кг, 19,0-88,4 мг/кг, 22,9- 67,6 мг/кг және 37,8-ден 44,1 мг/кг, 27,0 - 43,0 мг/кг, 28,9 - 58,9 мг/кг дейін болатындығы көрсетілген [154, 155, 156]. Ал, Zn мөлшерінің мәндері 25,2-53,3 мг/кг, 16,4-39,5 мг/кг, 16,2-32,4 мг/кг, 41,9-48,4, 15,0-51,0 және 25,8-66,8 мг/кг құраған [157, 158, 159].

Сәулеленген мутантты линиялардың дәндеріндегі Fe және Zn мөлшерінің ең жоғары көрсеткіші, алдын-ала жарияланған деректердегі шектеуден асып түсті (сурет 22-27). Дегенмен, қоршаған орта факторлары бидай дәндеріндегі микроэлементтер мөлшеріне әсер етуі мүмкін, бірақ бұл жұмыста барлық мутантты линиялар мен бастапқы сорттар бірдей далалық жағдайда өсірілді, микроэлементтердің дәндерде жинақталуы үшін арнайы жағдайлар жасалынған жоқ.

Жеңіс, Алмакен, Эритросперум-35 мутантты линияларының дәндеріндегі Fe және Zn мөлшерінің салыстырмалы көрсеткіші 28-ден 33-ші суреттерде көрсетілген, соның ішінде жоғары сәулелену дозасымен өңделген Жеңіс мутантты линияларының басым бөлігінде (200 Гр, 6 линия, 40,0%) Fe және Zn мөлшерінің едәуір жоғарылағандығы көрсетілген (сурет 28 және 29).

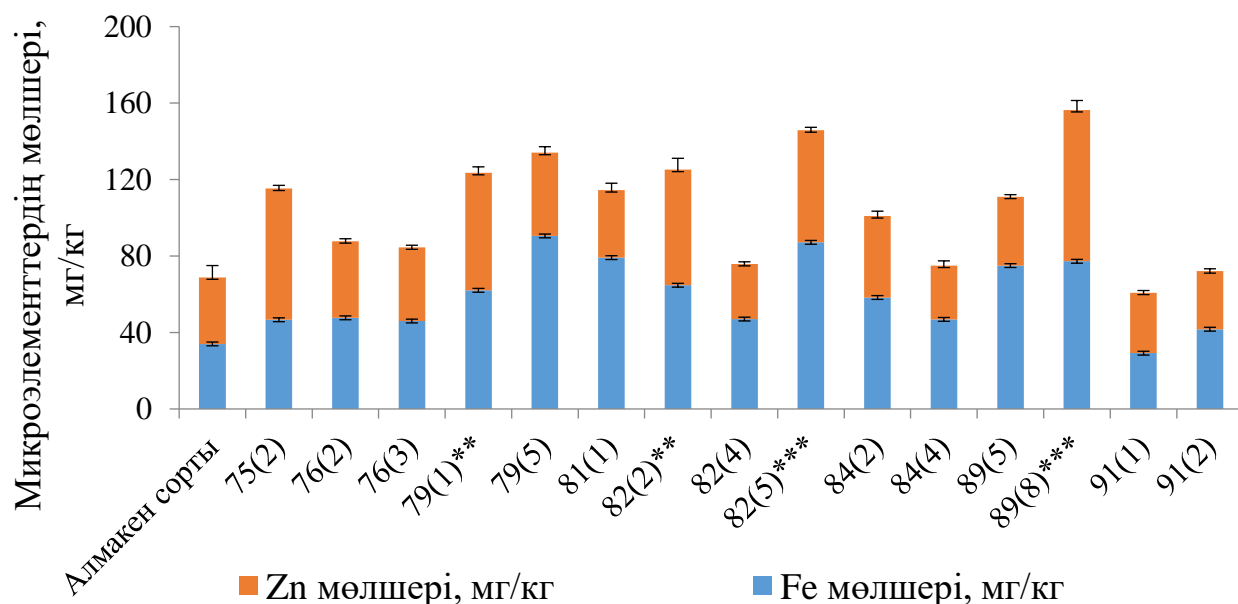


Сурет 28 – Жеңіс сорты және 100 Гр-дозамен сәулеленген линиялар дәндеріндегі Fe және Zn мөлшерінің салыстырмалы көрсеткіші

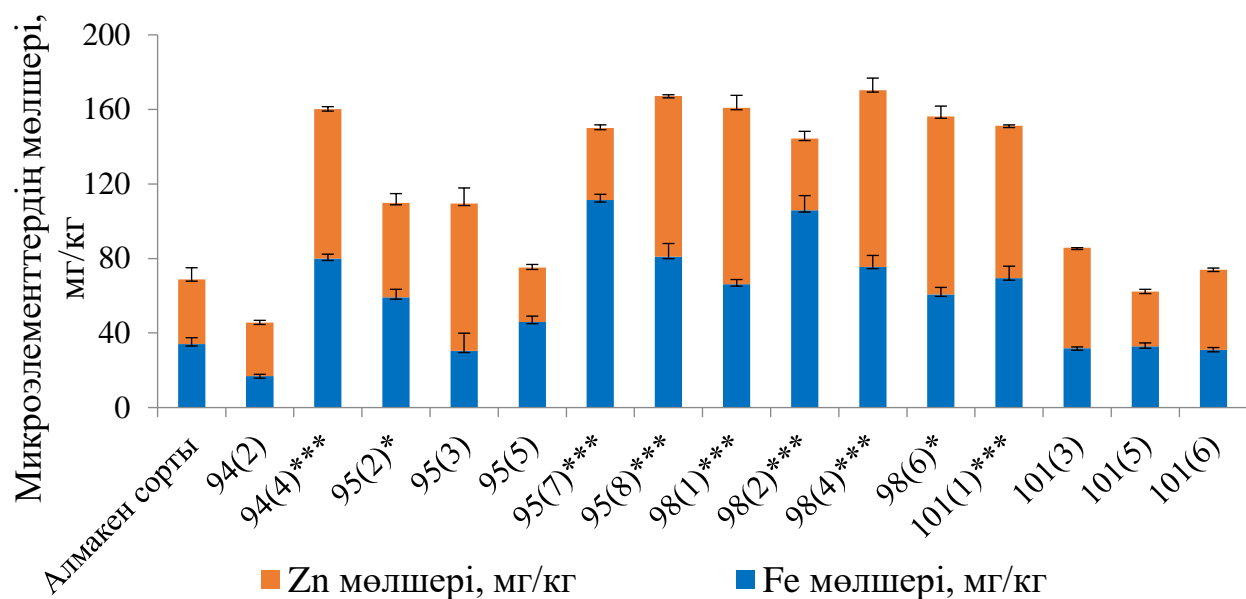


Сурет 29 – Жеңіс сорты және 200 Гр-дозамен сәулеленген линиялар дәндеріндегі Fe және Zn мөлшерінің салыстырмалы көрсеткіші

Алмакен 200 Гр-дозамен алынған мутантты линиялардың көбісінде бір мезгілде Fe және Zn мөлшері айтарлықтай жақсарғаны байқалды (сурет 30-31). Осы зерттеу бойынша анықталған мутантты линиялардың жалпы саны 13 (43%) болып, олардың ішіндегі 9 линия 200 Гр-дозамен өңделгендер.

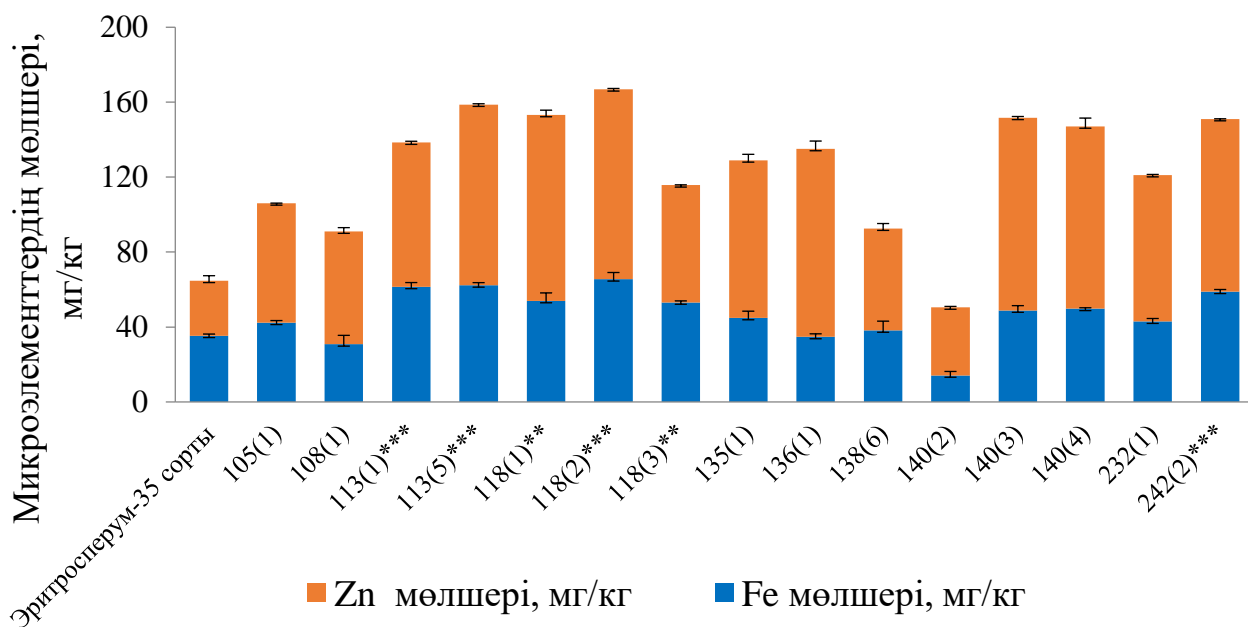


Сурет 30 – Алмакен сорты және 100 Гр-дозамен сәулеленген линиялар дәндеріндегі Fe және Zn мөлшерінің салыстырмалы көрсеткіші

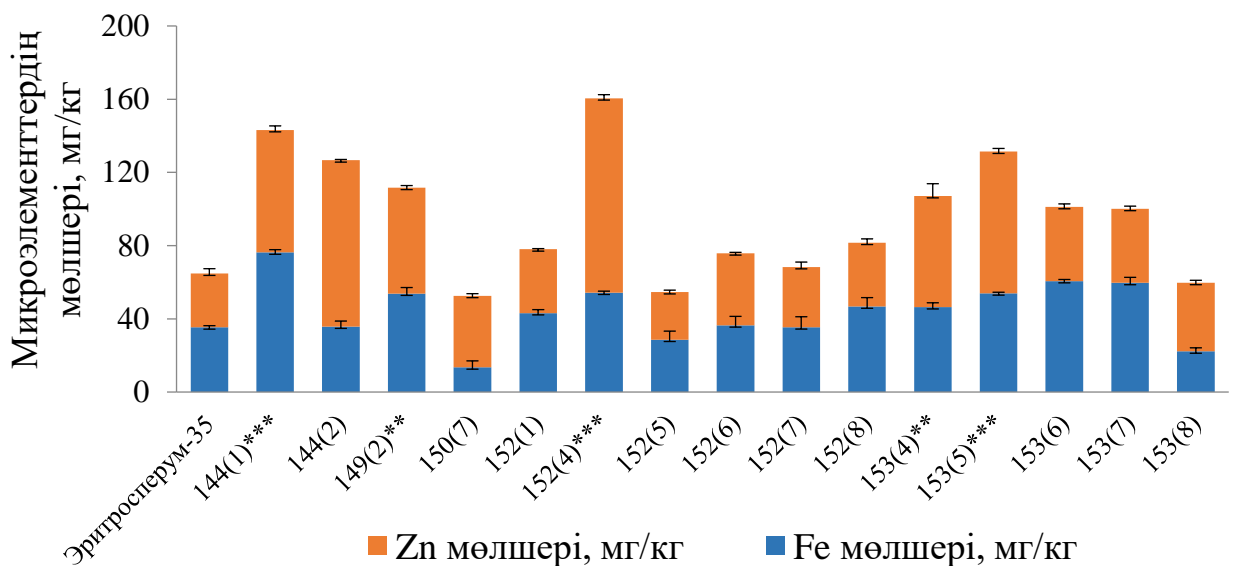


Сурет 31 – Алмакен сорты және 200 Гр-дозамен сәулеленген линиялар дәндеріндегі Fe және Zn мөлшерінің салыстырмалы көрсеткіші

Жеңіс және Алмакен мутантты линияларына қарағанда, Эритросперум-35 сортының гамма сәулесінің 100 Гр- дозасымен алынған мутантты линияларының көпшілігінің (11 линия, 36,6%) дәндерінде Fe және Zn мөлшерінің көрсеткіштері жоғары болды (сурет 32-33).



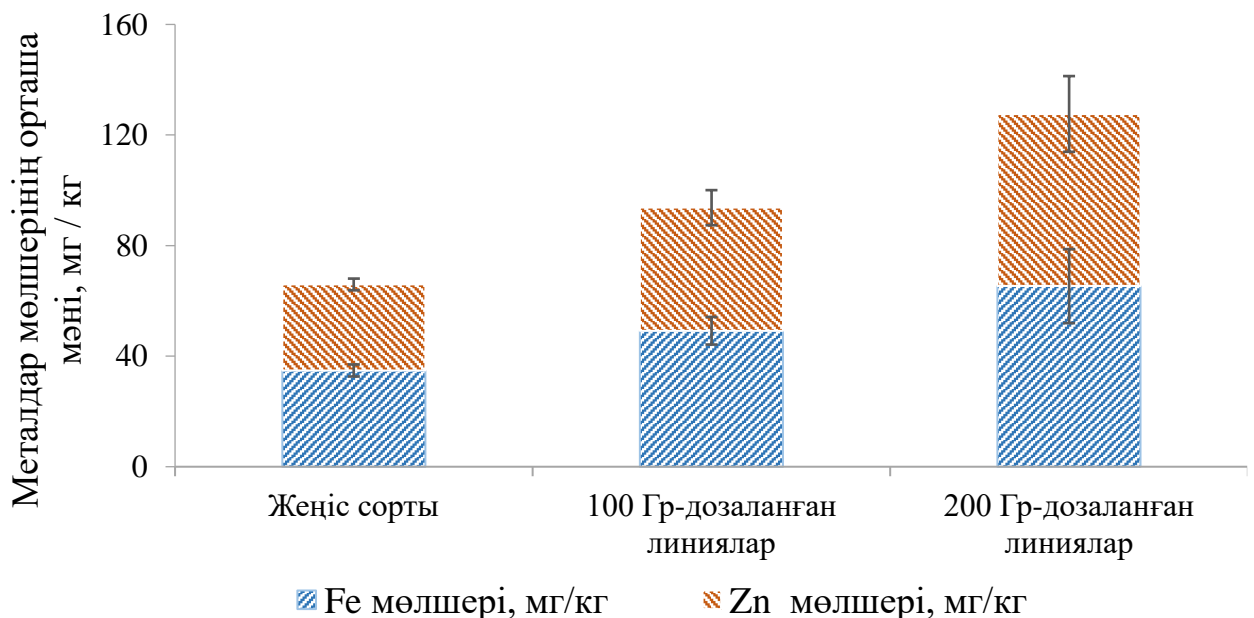
Сурет 32 – Эритросперум-35 сорты және 100 Гр-дозамен сәулеленген линиялар дәндеріндегі Fe және Zn мөлшерінің салыстырмалы көрсеткіші



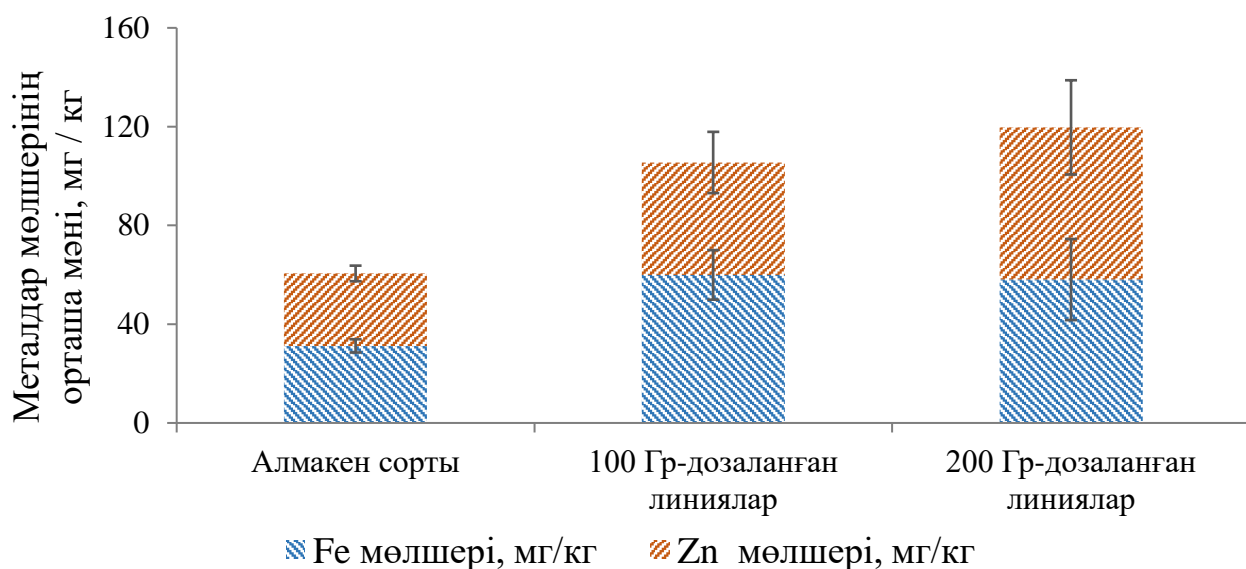
Сурет 33 – Эритросперум-35 сорты және 200 Гр-дозамен сәулеленген линиялар дәндеріндегі Fe және Zn мөлшерінің салыстырмалы көрсеткіші

Сонымен, гамма-сәулелену әдісімен индуцирленген бидай дәндеріндегі микроэлементтердің мөлшерінің өзгерісі, сәулелену дозасына қарағанда, көбірек генетикалық негізге байланысты болады. Жеңіс пен Алмакен мутантты линияларының Fe мөлшерінің өзгергіштік деңгейі Zn мөлшерінен жоғары болды.

Жеңіс және Алмакен мутантты линияларында, радиациялық дозалардың әсерінен дән параметріне қарағанда, дәндеріндегі Fe және Zn мөлшерінде үлкен генетикалық өзгеріс байқалды (сурет 34-35).



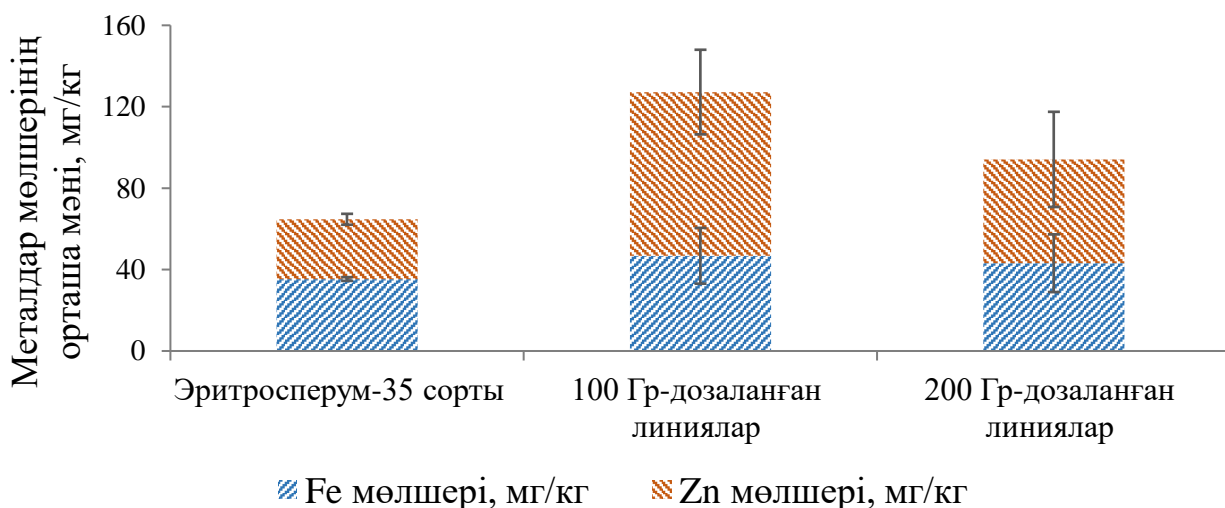
Сурет 34 – Жеңіс сорты мен 100 Гр- және 200 Гр- гамма сәулелері арқылы алынған M₅ мутантты линиялар дәндеріндегі Fe және Zn мөлшерінің орташа мәні



Сурет 35 – Алмакен сорты мен 100 Гр- және 200 Гр- гамма сәулелері арқылы алынған М₅ мутантты линиялар дәндеріндегі Fe және Zn мөлшерінің орташа мәні

Сонымен қатар, 200 Гр-мен өңделген мутантты линиялар дәндеріндегі Fe мөлшерінің (Fe мөлшері - 37,39 мг/кг) генетикалық өзгеріс деңгейі Zn мөлшеріне (Zn мөлшері - 20,70 мг/кг) қарағанда 16,69%-ға жоғары болды (сурет 34-35).

Жеңіс мен Алмакен сорттары және оның мутантты гермоплазмасы сияқты емес, Эритросперум-35 мутантты линияларының дәндеріндегі Fe мөлшерімен салыстырғанда, Zn мөлшерінде жоғары өзгергіштік анықталды. 200 Гр-мен өңделген мутантты линиялар дәндеріндегі осы екі металдың генетикалық өзгеру деңгейі негізінен бірдей болды (Fe мөлшері – 28,35 мг/кг және Zn мөлшері – 26,42 мг/кг) (сурет 36).



Сурет 36 – Эритросперум-35 сорты мен 100 Гр- және 200 Гр- гамма сәулелері арқылы алынған М₅ мутантты линиялар дәндеріндегі Fe және Zn мөлшерінің орташа мәні

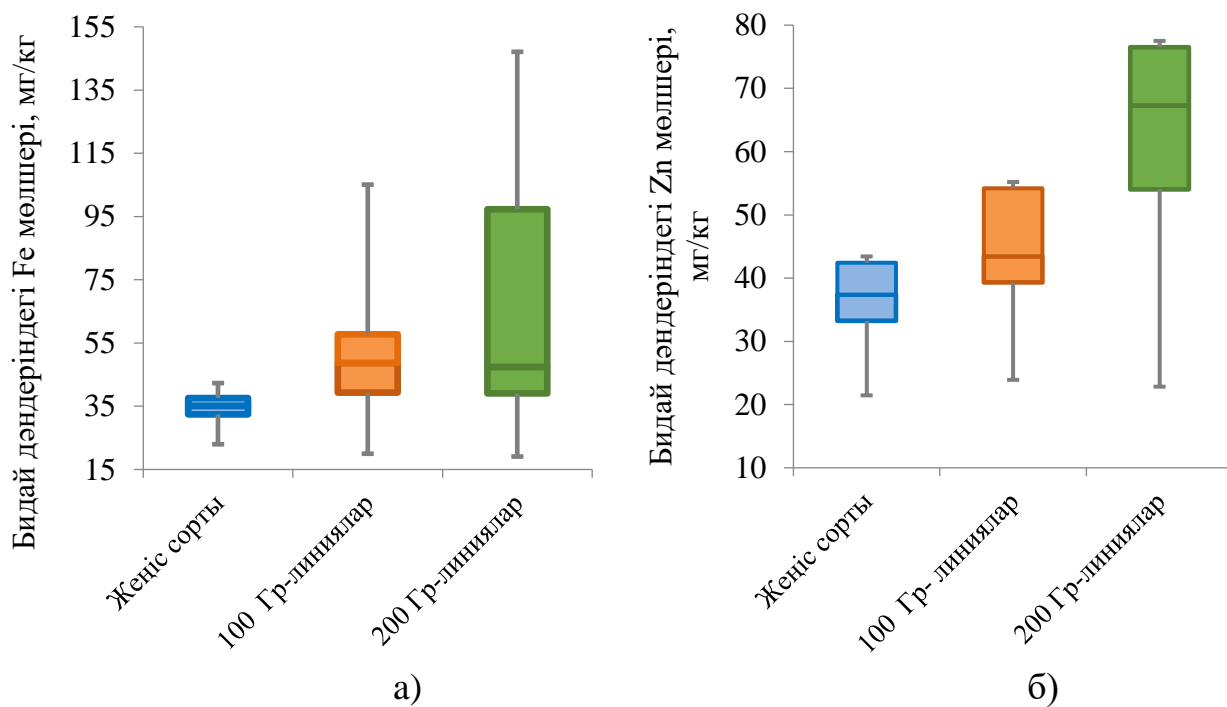
Бастапқы сорт пен мутантты линиялар дәндеріндегі Fe және Zn мөлшерін статистикалық тестілеу 37-ден 39-ші суреттерде және дисперсиялық ANOVA талдау нәтижелері 20-кестеде көрсетілген.

Зерттеу нәтижелері дәндердегі Fe және Zn мөлшері, бастапқы сортқа қарағанда, сәулеленген линияларда едәуір өскенін көрсетті. Жеңіс сортына 200 Гр-дозаның айтарлықтай әсері, Zn мөлшерінің (41,06%) өзгерісінен байқалады (сурет 37), ал Fe мөлшерінің өзгерісінен, төмен және жоғары сәулеленудің әсерінің (тиісінше 22,76% және 19,45%) негізінен бірдей екендігі анықталды 100 Гр- және 200 Гр- дозада өңделген линияларда металдардың жоғары мәндері Zn мөлшері арасында кездесті (кесте 20).

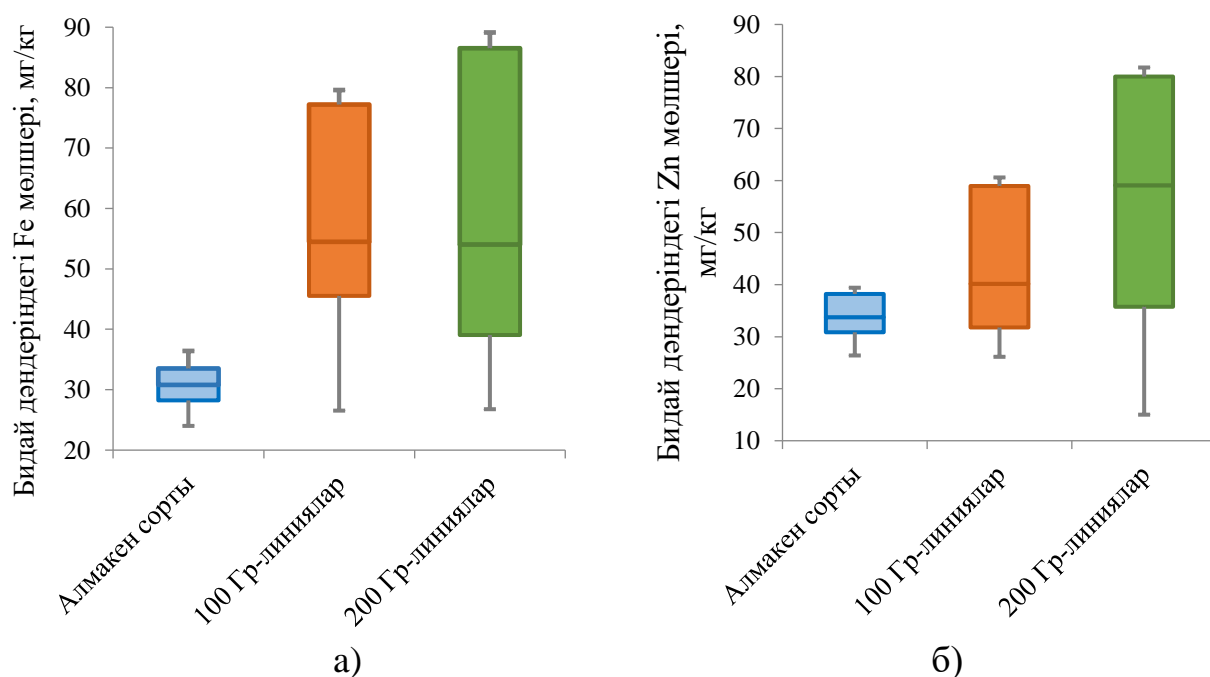
Тестілеу нәтижелері бойынша бастапқы сортқа қарағанда Алмакен мутанты линиялары дәндеріндегі Fe және Zn мөлшері 3-4 есеге айтарлықтай өсті (сурет 38). 100 Гр- дозаның әсерінің маңыздылығы Fe мөлшерінде анықталды (66,04%). Сәулеленудің жоғары және төмен дозасы Zn мөлшеріне аз дәрежеде әсер етті (14,26% және 22,61%), (кесте 20).

Кесте 20 – Жеңіс сорты мен 100 Гр- және 200 Гр-дозамен алынған мутантты линиялардың дәндеріндегі жалпы Fe және Zn мөлшеріне ANOVA талдауының % көрсеткіші

Мутантты генотиптер	Fe мөлшері, мг/кг	Zn мөлшері, мг/кг
Жеңіс сорты x 100 Гр- дозамен алынған мутантты линиялар	22,76***	5,39
Жеңіс сорты x 200 Гр- дозамен алынған мутантты линиялар	19,45***	41,06***
100 Гр- x 200 Гр- дозалармен алынған Жеңіс линиялар	8,11**	21,26***
Алмакен сорты x 100 Гр-дозамен алынған мутантты линиялар	66,04***	14,26**
Алмакен сорты x 200 Гр-дозамен алынған мутантты линиялар	39,68***	22,61***
100 Гр- x 200 Гр- дозалармен Алмакен линиялар	0,14	9,41**
Эритросперум-35 сорты x 100 Гр- дозаланған линиялар	60,88***	205,02***
Эритросперум-35 сорты x 200 Гр- дозаланған линиялар	37,46***	47,57***
100 Гр- x 200 Гр- дозаланған Эритросперум-35 линиялар	1,49	26,32**
<i>Ескерту:</i> Жоғары мәндері **, *** белгілермен ерекшеленіп, тиісінше 0,01; 0,001 ықтималдық деңгейлерінде белгіленді.		



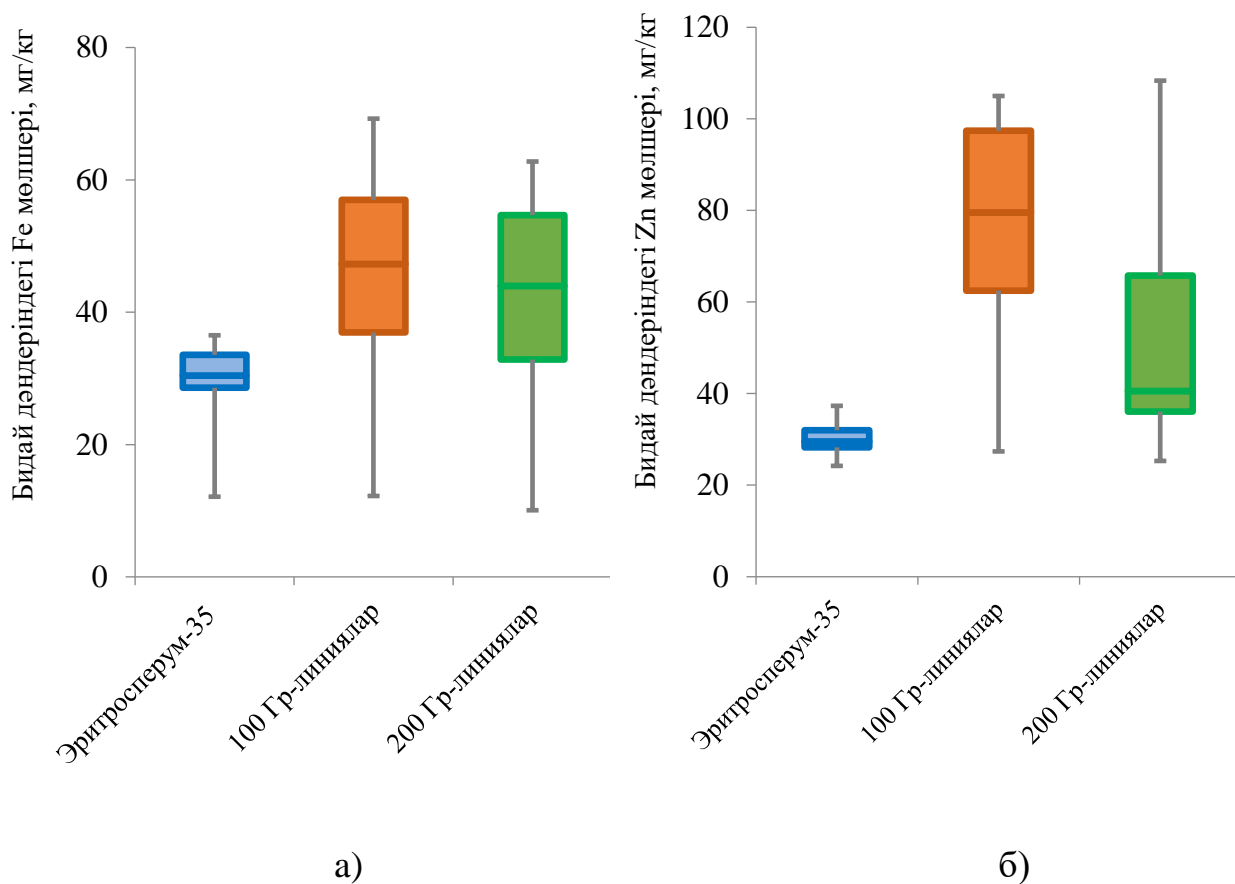
Сурет 37 – Жеңіс сорты мен 100 Гр және 200 Гр-мен сәулеленген мутантты линиялардың дәндеріндегі а) Fe және б) Zn мөлшерінің байланысын статистикалық талдау



Сурет 38 – Алмакен сорты мен 100 Гр және 200 Гр-мен сәулеленген мутантты линиялардың дәндеріндегі а) Fe және б) Zn мөлшерінің байланысын статистикалық талдау

Жеңіс және Алмакен сияқты, гамма-сәулелену арқылы алынған Эритросперум-35 мутантты линиялары дәндеріндегі Fe және Zn мөлшері

бастапқы сортпен салыстырғанда жоғарлады. Төмен сәулелену дозасы (100 Гр) Fe (60,88%) және Zn мөлшеріне (205,02%) айтарлықтай әсер етіп генетикалық өзгерістерді тудырды. 100 Гр- және 200 Гр-мен өндеуде дәндердің Zn мөлшерінде (26,32%) айтарлықтай айырмашылықтар пайда болды (кесте 20 және сурет 39).



Сурет 39 –Эритросперум-35 сорты мен 100 Гр және 200 Гр-мен сәулеленген мутантты линиялардың дәндеріндегі а) Fe және б) Zn мөлшерінің байланысын статистикалық талдау

Осылайша, Fe және Zn мөлшерін дисперсиялық талдауда, сәулеленудің 100 Гр- және 200 Гр- дозалары өсімдік түрлерінің генетикалық фонына айтарлықтай әсері бар екендігі анықталды, яғни радиациялық дозалардың үлкен әсері өсімдіктің генетикасына байланысты әртүрлі болды. Төмен сәулелену дозасы (100 Гр) Алмакен мен Эритросперум-35 сорттарының дәндеріндегі Fe мөлшерінің, ал сәулеленудің жоғары дозасы (200 Гр) әсіресе Жеңіс және Эритросперум-35 сорттарының дәндеріндегі Zn мөлшерінің жоғарлауына маңызды фактор болды.

Микроэлементтердің дәндерде көп мөлшерде жинақталуы, бидайдың биохимиялық және физиологиялық функцияларына кері әсерін тигізбейді, минералдың гомеостаз процестеріне қатысатын гендердің әсерінен болуы мүмкін екендігі туралы әдебиеттерде жазылған.

3.5 Жаздық бидай сортымен оның M₅ мутантты линиялары дәндеріндегі темір және мырыштың локализациясын зерттеу

Дақылдардың дәндері келесідей төрт негізгі ұлпадан тұрады: эмбрион, алейрон, крахмалды эндосперм және сыртқы қабаттар. Бидай дәнінің кесінділеріне элементтік микроанализ жасағанда, фосфаттың, кальцийдің, марганецтің, темірдің (Fe) және мырыштың (Zn) бірдей мөлшері шоғырланған. Көп мөлшері алейрон мен эмбрионда (әсіресе skutеллумда) кездескен және тек крахмалды эндоспермде төмен деңгейде анықталған [160, 161].

Бұл зерттеу жұмысында Fe және Zn микроэлементтері биофортификацияланған мутантты линиялардың дәндеріндегі Fe және Zn локализациясы, металдарды гистохимиялық бояу әдісі арқылы анализ жасалды.

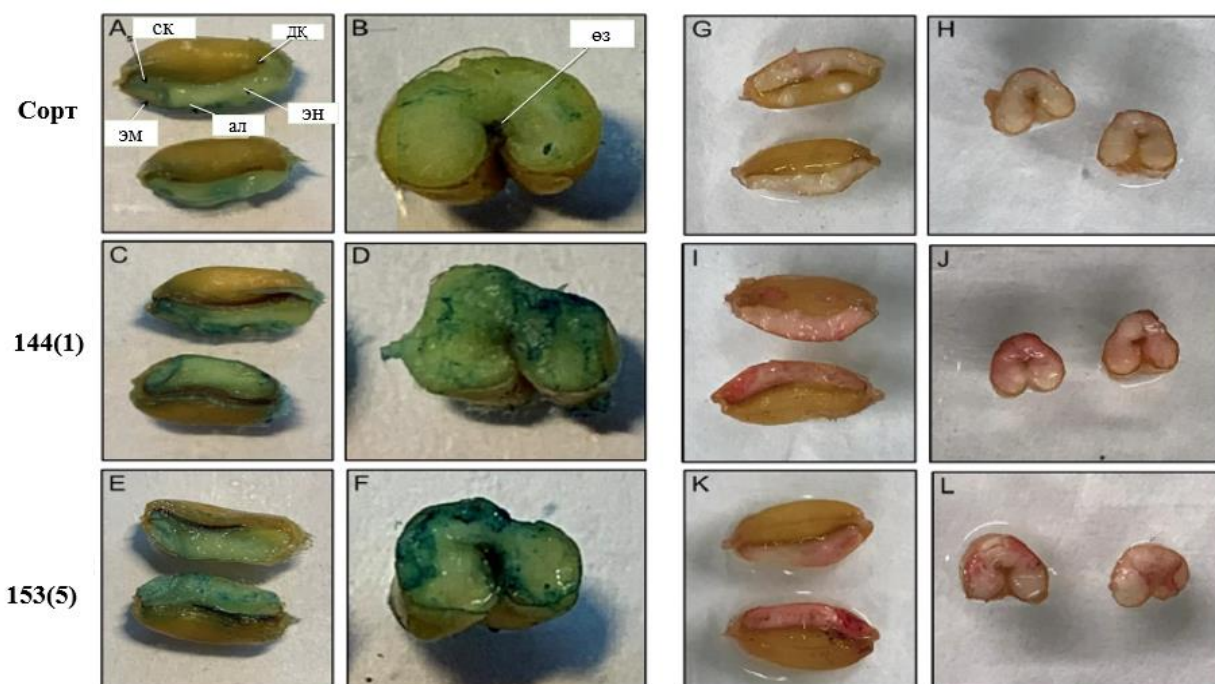
Дәндердегі Fe-дің жинақталуы перлс пруссиялық көк бояуы, ал Zn-тың жинақталуы дитизонат (DTZ) бояуы арқылы жүргізілді. Зерттеу үлгісі ретінде Эритросперум-35 сорты және оның екі мутантты 144(1) және 153(5) линиялары алынды.

Суреттердің ішіндегі қысқартулар-ал;(алеирон), эм;(эмбрион), эн;(эндосперум), өз;(өзек), ск;(скутеллум), дқ;(дән қабығы) (сурет 40). Эритросперум-35 сортымен оның 144(1) және 153(5) мутантты линияларының көлденең және тік бойына бөлінген дәндері перлс пруссиялық көк бояу әдісі арқылы боялды (сурет 40 А-дан F-қа дейін).

Fe локализациясын анықтау үшін перлс пруссиялық көк бояуымен үлгілерді А дан F-қа дейін боялды. А және В суретте Эритросперум-35 сорты, С және D 144(1) мутантты линиясы, Е және F суретте 153(5) мутантты линиясы көрсетілген, мұнда А, С және Е суреттерде дәндер көлденең және В, D, Е суреттерде дәндер тік бойына бөлінген (сурет 40). Гистохимиялық бояу әдісінде перлс пруссиялық көк бояуы дәннің эмбрионның алейрон қабатының айналасында және skutеллумда айтарлықтай қою, ал эндоспермде аздап көрінді. Әсіресе, эндосперм аймақтарына қарағанда дән өзегінің айналасында көк бояу анық таралған (сурет 40 С-дан F-қа дейін) (сурет 40).

Көлденең және тік бойлықта бөлінген дәндердегі Zn локализациясын анықтау үшін дитизонат (DTZ) бояуымен үлгілерді G дан L-ге дейін боялды. Бояу кезінде дитизонат қызғылт немесе қызыл түсті Zn-DTZ кешенін түзді (сурет 40, G дан L-ға дейін). G және H Эритросперум-35 сорты, I және J суреттерде Эритросперум-35 сортының 144(1) мутантты линиясы, ал K және L суреттерде, Эритросперум-35 сортының 153(5) мутантты линиясы көрсетілген. G, I және K суреттерде дәндер көлденең және H, J және L суреттерде дәндер тік бойына бөлінген.

Екі мутантты линияның дәндерінде Zn-DTZ кешенінің түзілуі ата-аналық сортпен салыстырғанда жоғары болды, дәндердің тік бойлық аймақтарында айқынырақ көрінді (сурет 40). Эритросперум-35 сортымен салыстырғанда мутантты линияларда, Zn-DTZ кешенінің эмбрионда, алейрон қабатында және эндоспермде жоғары болғаны анықталды (сурет 40, I дан L дейін). Бұл 2-дезоксимулин қышқылы (ДМК) сияқты металды-хелациялық қосылыстардың бидайдағы Zn және Fe-дің транслокациясын жоғарлатқан.



Сурет 40– Перлс пруссиялық көк және дитизонат бояуымен өңделген Эритросперум-35 сорты және оның мутантты линияларының дәндері

Эритросперум-35 сортына қарағанда мутантты линияларда Fe мөлшері жоғары екендігі анықталды. Перлс пруссиялық әдісімен боялған дән өзегіндегі көк бояуының деңгейі қанық болған генотиптерде, *TaVIT2* экспрессиясы шамадан тыс жоғарылағаны көрсетілді. Зерттеулер бойынша Fe деңгейі дәнге қарағанда ұнда 2 есе өскен, бақылау линияларның Fe мөлшері 9,7 мг/кг-дан 21,7 мг/кг-ға дейін жоғарлау линияларда *HMW-TaVIT2* ген экспрессиясы артқан [162]. Fe және Zn жоғары мөлшерде анықталған трансгендік индикалды күріште Fe-дің локализациясы пруссиялық көк бояуы және Zn -дің локализациясын анықтау үшін дитизонат (DTZ) бояуымен боялды. Боялған Zn-DTZ комплексті алейрон қабатында және эмбрионда тығыз болатыны көрсетілген [163, 164].

3.6 Жаздық бидайдың мутантты линиялары мен оның бастапқы сорттарының дәндеріндегі фитин қышқылының мөлшерін талдау

Дәнді дақылдардағы Fe және Zn-тың биофортификациясы - дәндердегі микроэлементтердің жинақталуының немесе биоқолжетімділігінің артуы. Бидай дәндеріндегі микроэлементтердің биоқолжетімділігін жоғарылату, ондағы анти-нутриенттердің мөлшерінің төмендеуінің арқасында қол жеткізіледі. Фитин қышқылы (ФҚ) мөлшері – микроэлементтердің биоқолжетімділігін шектейтін ең маңызды қоздырғыш факторлардың бірі. Соңғы жылдары адам организміндегі Fe және Zn жетіспеушілігіне байланысты, дақылдардың дәндеріндегі ФҚ мөлшерін төмендету, микроэлементтердің биоқолжетімділігін жоғарылату, жалпы астық дәндерінің қоректік құндылығын жақсарту бағытында зерттеулер жүргізілуде [165, 166].

Біздің міндетке сәйкес, жаздық бидай сорттары мен оның мутантты линиялары дәндеріндегі ФҚ мөлшерлеріне талдау жасалды.

Жаздық бидай Жеңіс, Алмакен және Эритросперум-35 сорттары мен олардың гамма сәулесінің 100 Гр- және 200 Гр-дозасымен өңделген мутантты линиялары дәндеріндегі, ФҚ-ның өзгергіштік диапазоны 41-ден 43-ші суреттерде көрсетілген. Барлық мутантты бидай дәндеріндегі ФҚ-ның мөлшері 0,41-ден 3,4 мг/г дейін анықталды.

100 Гр-гамма сәулесімен өңделген Жеңіс мутантты линиялар дәніндегі ФҚ-ның мөлшерінің өзгерісі 0,41 -ден 2,83 мг/г дейін сипатталды, ал орташа мәні $1,55 \pm 0,65$ мг/г ($c = 45$) болды (сурет 41). Жеңіс сортымен (ФҚ мөлшерінің орташа мәні $2,5 \pm 0,07$ мг/г) салыстырғанда, мутантты 5 линия (33,3%), атап айтқандай 6(5), 13(3), 18(5), 26(6), 36(1) дәндеріндегі ФҚ-ның мөлшері 1,1 ден 5,8 есеге дейін төмендеді (сурет 41).

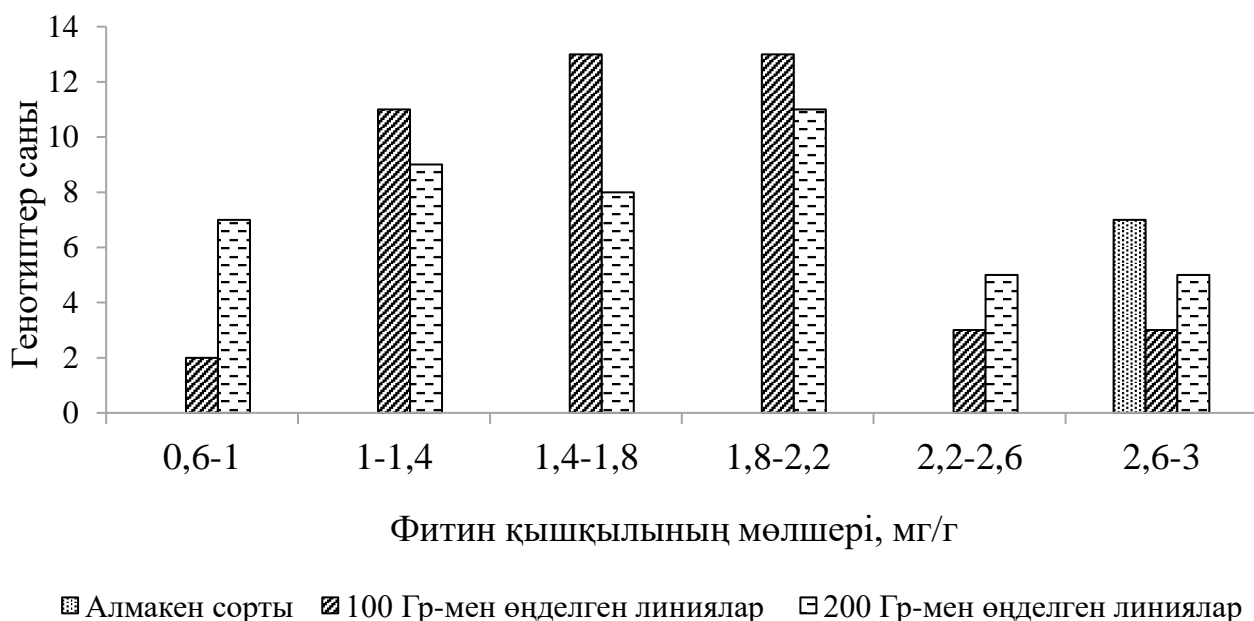
Жеңіс 200 Гр-дозамен өңделген мутантты линиялар дәндеріндегі ФҚ-ның мөлшерінің өзгерісі 0,84-тен 3,19 мг/г ауытқыды, орташа мәні $2,25 \pm 0,79$ мг/г ($c = 45$) құрды (сурет 41). Дәндеріндегі ФҚ-ның мөлшері Жеңіс сортымен салыстырғанда 1,3 ден 4,5 есеге айтарлықтай төмендеген 45(1), 49(2), 49(6), 50(7), 51(1), 51(8), 53(2) нөмерленген мутантты 7 линия (46,7%) анықталды (сурет 41).



Сурет 41 – Жеңіс сорты және оның 100 Гр- және 200 Гр- дозаланған M_5 мутантты линияларының дәндеріндегі фитин қышқылының өзгергіштік диапазоны

Гамма сәулесінің төменгі (100 Гр) және жоғары (200 Гр) дозасымен сәулелену арқылы алынған жаздық бидайдың Алмакен мутантты M_5 линиялары дәндеріндегі ФҚ мөлшерін бағалауда, генотиптер арасында айтарлықтай генетикалық өзгерістері 42 - суретте көрсетілген. Алмакен мутантты линиялары дәндеріндегі ФҚ -ның мөлшерін талдау жасау нәтижесінде, 100 Гр- және 200 Гр- гамма сәулесімен өңделген генотиптер дәндеріндегі ФҚ-ның мөлшері 0,63-тен

2,71 мг/г дейін және 1,01-ден 3,03 мг/г дейін өзгерген болса, сәйкесінше орташа мәндері $1,93 \pm 0,72$ мг/г және $2,40 \pm 0,63$ мг/г көрсетті. Гамма сәулесінің төмен дозамен өңделген 5 линия (33,3%), 75(2), 79(1), 82(4), 82(5), 89(8) және жоғары дозамен өңделген 6 линия (40%), 95(2), 95(8), 98(1), 98(4), 98(6), 101(1) дәндеріндегі ФҚ -ның мөлшері, Алмакен сортынан 1,1 ден 4,8 есеге және 1,1 ден 2,7 есеге төмендегендігі анықталды. Алмакен сорты дәндеріндегі ФҚ мөлшерінің орташа мәні $2,69 \pm 0,08$ мг/г анықталды (сурет 42).

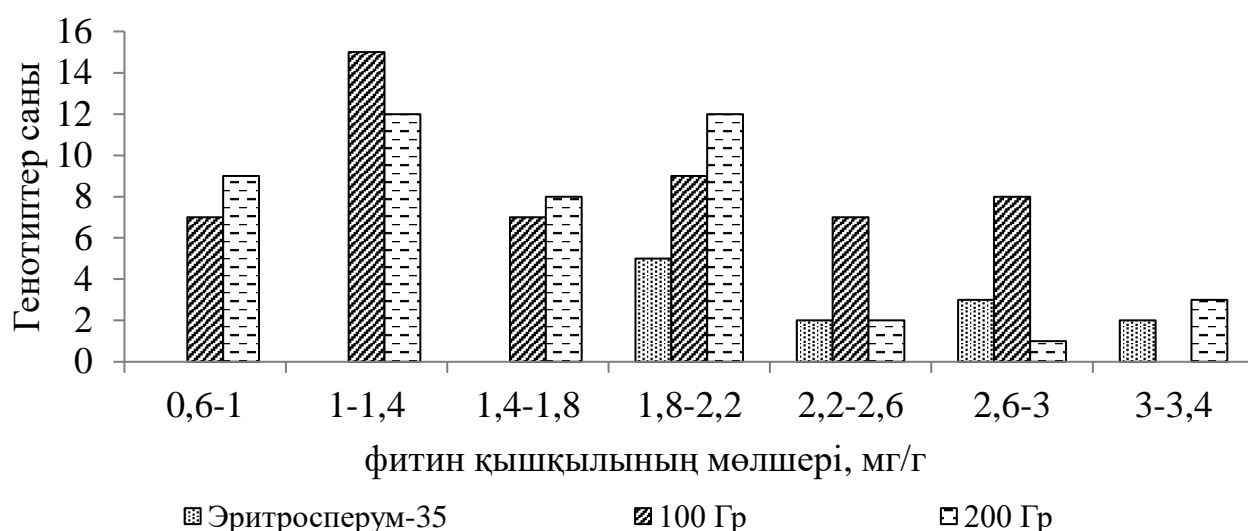


Сурет 42 – Алмакен сорты және оның 100 Гр- және 200 Гр- дозаланған M_5 мутантты линияларының дәндеріндегі фитин қышқылының өзгергіштік диапазоны

Эритросперум-35 сортының дәніндегі ФҚ-ның мөлшерін талдау нәтижелерінде өзгергіштік көрсеткіштер 2,56-ден 2,78 мг/г дейін көрсетті, орташа мәні $2,6 \pm 0,09$ мг/г болды. Гамма сәулесінің 100 Гр- дозасымен өңделген линияларда ФҚ мөлшерінің диапазоны 0,63-тен 2,61 мг/г дейін болды, орташа мәні $1,84 \pm 0,62$ мг/кг көрсетті. Мутантты 8 линияның (53,3%), 113(1), 113(5), 118(1), 118(2), 136(1), 140(3), 140(4), 242(2) дәндеріндегі ФҚ-ның мөлшері, бастапқы сортқа қарағанда 1,4 тен 4,2 есеге дейін төмендеді (сурет 43).

Гамма сәулесінің 200 Гр- дозасымен алынған мутантты линиялар дәндеріндегі ФҚ мөлшері 0,84-тен 3,45 мг/г дейін өзгерді, орташа мәні $2,35 \pm 0,84$ мг/г құрды. Эритросперум-35 сортымен салыстырғанда 6 линияның (40%), 144(1), 144(2), 149(2), 152(4), 153(4), 153(5) дәндеріндегі ФҚ -ның мөлшері 1,1 ден 3,3 есеге дейін төмендеді (сурет 43).

Мутантты бидай дәндеріндегі ФҚ-ның мөлшерін зерттеуде бастапқы сорттардан 1,1- 5,8 есе дейін төмендеді.



Сурет 43 –Эритросперум-35 сорты және оның100 Гр- және 200 Гр- дозаланған М₅ мутантты линияларының дәндеріндегі фитин қышқылының өзгергіштік диапазоны

Жеңіс, Алмакен және Эритросперум-35 сорттарына радиациялық сәуленің 100 Гр- және 200 Гр- дозасын қолдану арқылы алынған мутантты линиялар дәндеріндегі ФҚ-ның мөлшерінің айырмашылықтарын дисперсиялық (ANOVA) талдау нәтижелері 21-кестеде көрсетілген.

Кесте 21 – Жаздық бидай сорттары және оның М₅ мутантты линиялары дәндеріндегі ФҚ мөлшерін ANOVA талдаудың % нәтижелері

Жаздық бидай сорттарының М ₅ мутантты линиялары	ФҚ мөлшерін ANOVA талдаудың нәтижелері, %
Жеңіс сорты x 100 Гр-дозаланған линиялар	107,9***
Жеңіс сорты x 200 Гр-дозаланған линиялар	6,3
Жеңіс 100 Гр x 200 Гр-дозаланған линиялар	21,7
Алмакен сорты x 100 Гр-дозаланған линиялар	63,7***
Алмакен сорты x 200 Гр-дозаланған линиялар	11,5
Алмакен 100 Гр- x 200 Гр-дозаланған линиялар	14,0
Эритросперум-35 сорты x 100 Гр-дозаланған линиялары	104,6***
Эритросперум-35 сорты x 200 Гр-дозаланған линиялары	4,3
Эритросперум-35 100 Гр x 200 Гр- дозаланған мутантты линиялары	18,4

Ескерту – ANOVA талдауларынан алынған жалпы нәтиже % -пен көрсетілді, Жоғары мәндер *** белгісімен ерекшеленіп, тиісінше 0,001 ықтималдық деңгейінде белгіленді.

Жеңіс сортымен оның 100 Гр- мутантты линиялардың дәндеріндегі ФҚ-ның мөлшерінің айырмашылықтарын дисперсиялық (ANOVA) зерттеуде 107,9% ($P < 0,01$) және Жеңіс 100 Гр x 200 Гр-дозаланған мутантты линиялар арасында 21,7%, ($P < 0,01$) мәндерін көрсетті (кесте 21).

Алмакен сорты мен индуцирленген мутагенез арқылы шығарылған линиялар арасындағы байланысын ФҚ-ның мөлшері бойынша дисперсиялық зерттеуде маңызды байланыс тек Алмакен сорты және 100 Гр-мен өңделген линиялар арасында анықталды (63,7%, $P < 0,001$).

Эритросперум-35 сорты мен төмен дозамен өңделген линияларын ФҚ-ның мөлшері бойынша ANOVA талдауда, Эритросперум-35 сорты және 100 Гр-мен дозаланған линиялар арасында көрсеткіш 104,6% ($P < 0,001$) болды. ФҚ мөлшері бойынша ANOVA талдаудың %-дық нәтижелері 100 Гр- және 200 Гр-мен дозаланған мутантты линиялар арасында төмен мәндерді көрсетті (кесте 21).

Бидай дәндеріндегі ФҚ мөлшері Фортела және басқалардың зерттеуі бойынша 44,91 мг/г тең болды [167], Үнді бидай дәндеріндегі ФҚ орташа мөлшері 23,9 мг/г және Испан бидай дәндеріндегі ФҚ мөлшері 24,6-45,4 мг/г екендігі туралы көптеген мәліметтер көрсетілген [168, 169]. Пәкістанда төмен фитатты бидай мутанттары/сорттары алынды және оның ФҚ-ның мөлшері 0,98%-ға (Parwaz-94) - 2,17%-ға (NRL 0443) төмендеген [170]. Өнімділікті жоғарылату мақсатында екі сортты айқас тозандандыру арқылы алынған гибридтер дәндеріндегі ФҚ-ның мөлшері 1,25-тен 3,42%-ға төмендеген [171]. Егіс алаңдарында өсіру арқылы алынған мутантты бидай сорттарында ФҚ мөлшері 7,65-ден 8,8 г/кг-ға дейін мәндерді көрсеткен [172] ФҚ анықтауда қолданылатын әдістерге байланысты, жоғарыдағы тұжырымдарға сәйкес келмейтін түсіндірулер болуы мүмкін. ФҚ зерттеу үшін ең қолайлы әдісті таңдау өте маңызды [173].

3.7 Жаздық бидайдың мутантты линиялар дәндеріндегі фитин қышқылы мөлшерінің Fe және Zn арасындағы молярлық қатынасын талдау

Астық дақылдарындағы Fe және Zn-тың биоқолжетімділігінің нашар болуы, фитаттың жоғары болуына байланысты. Астық дақылдарының қоректік құндылығының биоқолжетімділігі, дәндеріндегі фитин қышқылының (ФҚ) микроэлементтермен молярлы қатынас коэффициенттері арқылы бағаланады. Молярлық қатынас коэффициентінің аз болуы минералдардың биоқолжетімділігінің жоғары екендігін білдіреді [174].

Жаздық бидай Жеңіс, Алмакен, Эритросперум-35 сорттары және гамма сәулесінің 100 Гр- және 200 Гр- дозасымен алынған M_5 мутантты линиялардың дәндеріндегі Fe, Zn, және ФҚ нәтижелері бойынша ФҚ:Fe, ФҚ:Zn молярлық қатынасы есептелінді. Олардың орташа және ауытқу мәндері 22-кестеде сипатталды.

Жеңіс сортының ФҚ:Fe және ФҚ:Zn молярлық қатынасының орташа мәндері $6,77 \pm 1,66$ және $7,20 \pm 1,82$ көрсетті (кесте 22). Зерттеу барысында Жеңіс M_5 мутантты линиялар дәндеріндегі микроэлементтердің биоқолжетімділігі 100 Гр-

дозамен өңделген линияларда ФҚ:Fe және ФҚ:Zn молярлық қатынас мәндерінің ауытқуы 0,8-ден 4,4-ке және 1,1-ден 8,2 мәндерін көрсетті. Сәйкесінше, орташа мәндері $2,77 \pm 1,09$ және $3,76 \pm 1,93$ құрды.

100 Гр- дозамен өңдеу арқылы алынған мутантты линиялардың ФҚ:Fe-молярлық қатынас негізінде микроэлементтердің биоқолжетімділігі жоғарлаған 5 генотип (33,3%): 5(4), 6(5), 18(5), 26(6), 36(1) және ФҚ:Zn молярлық қатынас көрсеткіші бойынша микроэлементтердің биоқолжетімділігі жоғарлаған 3 линия (20%): 6(5), 6(13), 26(6) анықталды, ата-аналық сорт Жеңіске қарағанда микроэлементтердің биоқолжетімділігі сәйкесінше 1,5-7,4 және 1,1- 6,5 есеге дейін артты. Жеңіс мутантты линияларда ФҚ:Fe және ФҚ:Zn молярлық қатынас көрсеткіштерінің ауытқу мәндері 200 Гр- гамма сәулесімен өңделген линияларда 0,70-дан 11,5 дейін және 0,9-тен 13,8 дейінгі аралықта сипатталды. Ал, орташа мәндері сәйкесінше, $4,27 \pm 3,10$ және $4,31 \pm 2,91$ -ке тең болды. Жеңіс сортымен салыстырғанда 200 Гр- дозамен өңделген линиялардың биоқолжетімділігі 1,7-8,7 және 1,8-7,6 есеге дейін жоғарлады. Нақты дәндеріндегі микроэлементтердің биоқолжетімділігі жоғары болған линияларды атап өтетін болсақ, ФҚ:Fe молярлық қатынас көрсеткіші бойынша 45(1), 49(4), 51(1), 51(8) нөмерленген 4 линия (26,7%) және ФҚ:Zn молярлық қатынас көрсеткіші бойынша 5 мутантты формалар (33,3%): 45(1), 49(2), 51(1), 51(8), 53(2) анықталды (кесте 22).

Кесте 22 – Жеңіс, Алмакен, Эритросперум-35 сорттары және олардың гамма сәулесінің 100 Гр- және 200 Гр-дозаларымен өңделген M₅ мутантты линиялар дәндеріндегі ФҚ мен микроэлементтер арасындағы молярлық қатынас мәндері

Генотиптер	ФҚ:Fe		ФҚ:Zn	
	Орташа	Ауытқуы	Орташа	Ауытқуы
Жеңіс сорты	$6,77 \pm 1,66$	-	$7,20 \pm 1,82$	-
Жеңіс 100 Гр-мен дозаланған линиялар	2,77	0,8 - 4,4	3,76	1,1 - 8,2
Жеңіс 200 Гр-мен дозаланған линиялар	4,27	0,7 - 11,5	4,31	0,9 - 13,8
Алмакен сорты	$7,51 \pm 0,80$	-	$7,96 \pm 1,07$	-
Алмакен 100 Гр-мен дозаланған линиялар	4,17	2,4 - 7,5	4,60	1,1 - 7,5
Алмакен 200 Гр-мен дозаланған линиялар	4,30	1,8 - 12,7	4,39	2,2 - 8,7
Эритросперум-35 сорты	$8,83 \pm 1,7$	-	$8,75 \pm 1,1$	-
Эритросперум-35 100 Гр-мен дозаланған линиялар	3,85	1,14 - 13,0	2,44	1,1 - 5,9
Эритросперум-35 200 Гр-мен дозаланған линиялар	5,71	1,2 - 14,5	5,71	1,4 - 11,5

Алмакен сортының ФҚ:Fe және ФҚ:Zn молярлық қатынас көрсеткішінің орташа мәндері $7,51 \pm 0,80$ және $7,96 \pm 1,07$ болды.

Алмакен мутантты линиялардағы металдардың биоқолжетімділігін бағалауда, 100 Гр- дозамен өңделген линиялардың дәндеріндегі Fe-дің биоқолжетімділігін бағалайтын ФҚ:Fe молярлық қатынас көрсеткішінің орташа мәні $4,17 \pm 1,38$ көрсетті, ал ауытқуы 2,43- ден 7,53- ке дейінгі аралықты көрсетті және талдау жасау арқылы 7 линияның (46,6%) олар: 75(2), 79(1), 82(2), 82(4), 82(5), 89(5), 89(8) ФҚ:Fe молярлық байланыс нәтижелері Алмакен сортымен салыстырғанда айтарлықтай төмендегені байқалды, сәйкесінше Fe-дің биоқолжетімділігі Алмакен сортына қарағанда 1-3,4 есе артты (кесте 22).

100 Гр- дозамен өңделген Алмакен линиялардың дәндеріндегі Fe-дің биоқолжетімділігі бойынша, ФҚ:Zn молярлық қатынасының орташа мәні $4,60 \pm 2,04$, ал өзгергіштігі 1,1- ден 8,7 аралығында сипатталды және Zn-тың биоқолжетімділігі 1,1-7,0 есеге жоғарылаған келесідей нөмерленген 75(2), 79(1), 82(5), 89(8) линиялар (26,7%) анықталды (кесте 22).

200 Гр- дозамен өңделген Алмакен M₅ мутантты линиялардың ФҚ:Fe және ФҚ:Zn молярлық байланысының сандық сипаттамалары 22-кестеде көрсетілгендей 1,7-ден 4,8 және 2,23-дан 8,71 аралығында болды. Орташа мәндері $4,30 \pm 2,90$ және $4,39 \pm 1,91$ мәндерін көрсетті. Сәйкесінше, металдардың биоқолжетімділігі 1,6-4,1 және 1,1- 3,6 есеге дейін жоғарлады. Осы нәтижелері бойынша металдардың биоқолжетімділігі жоғары мутантты линиялар, ФҚ:Fe молярлық қатынасы бойынша, 5 линия (33,3%): 95(8), 98(1), 98(4), 98(6), 101(1) және ФҚ:Zn молярлық қатынасы бойынша, 5 линия (33,3%), 95(8), 98(1), 98(4), 98(6), 101(1) анықталды (кесте 22).

Эритросперум-35 сортының ФҚ:Fe және ФҚ:Zn молярлық қатынасының орташа мәні $8,83 \pm 1,7$ және $8,75 \pm 1,1$ көрсетті. 100 Гр- және 200 Гр- сәулелену дозасымен өңдеу арқылы алынған Эритросперум-35 сортының мутантты формаларының ФҚ:Fe молярлық қатынасының өзгерісі 1,1-дан 14,5 дейін, ал орташа мәні $7,83 \pm 3,01$ және ФҚ:Zn молярлық байланысының өзгерісі 0,9-дан 11,5-ке дейінгі мәндерді көрсетті, ал орташа мәні $6,14 \pm 2,34$ сипатталды. Микроэлементтердің биоқолжетімділігін бағалауда, Эритросперум-35 сортымен салыстырғанда мутантты линиялардың микроэлементтерінің биоқолжетімділігі 0,7-7,7 және 1,3-7,9 есе жоғарлады және ФҚ:Fe молярлық байланысы бойынша M₅ мутантты 4 линия (27%): 108(1), 118(2), 113(1), 135(1), анықталды. ФҚ:Zn молярлық байланысы бойынша 6 линия (60%): 113(1), 118(1), 118(2), 135(1), 136(1), 153(5) іріктеліп алынды (кесте 22).

M₅ мутантты линиялардың дәндеріндегі Fe, Zn, ФҚ нәтижелері бойынша ФҚ:Fe, ФҚ:Zn молярлық қатынасы есептелген нәтижелер бойынша Алмакен мутантты линиялардағы микроэлементтердің биоқолжетімділігін ең жоғары екендігі анықталды. Жеңіс мутантты линиялардың дәндеріндегі микроэлементтердің биоқолжетімділігі орташа болды, ал Эритросперум-35 мутантты линиялар дәндеріндегі микроэлементтердің биоқолжетімділігі төмен болды. Биоқолжетімділікті жоғарлату 100 Гр- ең тиімді доза екендігі зерттеу арқылы анықталды.

Бұл зерттеуде, радиациялау арқылы пайда болған генетикалық өзгерістің нәтижесінде қоректік заттардың биофортификациясына қол жеткізудің пайдасы көрсетілген. Биофортификацияланған бидайды адамның күнделікті тамақтану рационна енгізсе, микронутриенттердің тұтынылуы, биофортификацияланбаған бидайларда едәуір жоғары болатындығы көрсетілген. Бидай дәндеріндегі ФҚ азауы мен басқа минералдар концентрацияларының артуы селекциялық құндылықты көрсетеді.

Жеңіс, Алмакен және Эритросперум-35 сорттарына радиациялық сәуленің 100 Гр- және 200 Гр- дозасын қолдану арқылы алынған мутантты линиялары дәндеріндегі қоректік заттардың шоғырлануындағы айырмашылықтары дисперсиялық (ANOVA) талдау нәтижелері 23-кестеде көрсетілген.

Кесте 23 – Жаздық бидай сорттары және оның M₅ мутантты линияларының ФҚ:Fe және ФҚ:Zn молярлық қатынасын ANOVA талдаудың % нәтижелері

Генотиптер	ФҚ:Fe	ФҚ:Zn
Жеңіс сорты x 100 Гр-дозаланған линиялар	202,0 ^{***}	92,5 ^{**}
Жеңіс сорты x 200 Гр-дозаланған линиялар	29	34,4
100 Гр x 200 Гр- дозаланған Жеңіс мутантты линиялар	7,9	1,9
Алмакен сорты x 100 Гр-дозаланған линиялар	226,2 ^{***}	106,7 ^{***}
Алмакен сорты x 200 Гр-дозаланған линиялар	200,2 ^{***}	231,2 ^{***}
100 Гр- x 200 Гр- дозаланған Алмакен мутантты линиялар	1,9	2,8
Эритросперум-35 сорты x 100 Гр-дозаланған линиялар	67,5 ^{**}	487,9 ^{***}
Эритросперум-35 сорты x 200 Гр-дозаланған линиялар	17,7	31,1
100 Гр- x 200 Гр- дозаланған Эритросперум-35 мутантты линиялар	9,7	49,1
<i>Ескерту</i> – ANOVA талдауларынан алынған жалпы нәтиже % ретінде көрсетілді, Жоғары мәндер **, *** белгілерімен ерекшеленіп, тиісінше 0,01, 0,001 ықтималдық деңгейлерінде белгіленді.		

Жеңіс сортымен оның 100 Гр- және 200 Гр- мутантты линияларының дәндердегі шоғырланған микроэлементтердің биоқолжетімділігі тұрғысынан зерттеуде, 100 Гр- гамма сәулесімен алынған линиялардың дәндеріндегі ФҚ:Fe және ФҚ:Zn молярлық қатынасы 202,0% ($P < 0,001$), 92,5% ($P < 0,01$) және 200 Гр- гамма сәулесімен алынған линиялардың дәндеріндегі ФҚ:Fe және ФҚ:Zn молярлық байланыс 29% және 34% мәндерін көрсетті (кесте 23).

Алмакен сорты және индуцирленген мутагенезбен шығарылған линиялар арасындағы байланысын дисперсиялық зерттеуде, дәндердің нәрлік потенциалы Жеңіс және Эритросперум-35 мутантты линияларынан жоғары болды. Сәйкесінше, ФҚ:Fe және ФҚ:Zn молярлық қатынастары бойынша маңызды нәтижелер, Алмакен сорты мен 100 Гр-мен өңделген линиялар арасында 226,2% ($P < 0,001$), 106,7%, ($P < 0,001$) мәндерін, Алмакен сорты мен 200 гр-де дозаланған линиялар арасында 200,2% ($P < 0,001$), 231,2% ($P < 0,001$) көрсеткіштермен

сипатталды. 23-кестеде көрсетілгендей Алмакен мутантты линиялардың мәндері салыстырмалы түрде басқалардан жоғары болды.

Эритросперум-35 сорты мен төмен дозада өңделген линиялар арасындағы ФҚ:Fe және ФҚ:Zn молярлық қатынас мәндерін ANOVA талдау бойынша, олар 67,5% ($P < 0,01$), 487,9% ($P < 0,001$) мәндерін көрсетті (кесте 23).

Бұл сипаттамаларда ең жоғары биоқолжетімділігі 100 Гр-мен өңделген мутантты линияларда анықталды. Бастапқы сорттар және олардың мутантты линиялар арасындағы металл биоқолжетімділігіндегі ең елеулі ауытқу ФҚ:Fe молярлық қатынасын талдауда байқалды. ФҚ-нің төмендеуі үшін дақылдарды мутагенизациялау жүргізілді. Астық дақылдарының тұтыну потенциалы, биоқолжетімділігі ФҚ мен микроэлементтердің молярлы қатынас коэффициенттері арқылы бағаланды. Жалпы алғанда, ФҚ мен микроэлементтердің арасында аз молярлық қатынас, минералдардың биоқолжетімділігі жоғарылағандығын көрсетеді [175].

3.8 Бидай дәндерінің сапалық, өнімділік, морфометриялық параметрлері және фитин қышқылы арасындағы байланысты талдау

Микроэлементтер мен бидай өнімділігі, дән мөлшері, фенотиптік белгілері және басқа да бидайдың қажетті соңғы сапалық параметрлері арасындағы байланысты түсіну – бидайдың жаңа формаларын таңдауға мүмкіндік береді [176]. Бидай дәндеріндегі микроэлементтерінің мөлшері, морфометриялық сипаттамалары және өнімділік параметрлер арасындағы байланысты зерттеу үшін R^2 – корреляция коэффициенттік талдау жүргізілді. Өртүрлі бидай генотиптерінің генетикалық әр түрлілігін арттыру бағдарламалары бидайдың пайдалы гендер/аллельдер бар донорларды анықтау және қажетті белгілері бар жаңа формаларды дамыту үшін маңызды [145, p.14].

Бидай дәнінің сапалық белгілері мен өнімділігі арасындағы байланыс маңызды болып, Жеңіс сортының дәндеріндегі белок мөлшері (ДБМ) мен негізгі масақтағы дәндерінің саны (НМДС) ($r^2 = 0,15$, $P < 0,01$) және негізгі масақтағы дәндерінің салмағы (НМДС, г) арасында ($r^2 = 0,18$, $P < 0,01$) айтарлықтай оң байланыс анықталды (кесте 24).

Өнімділікке қатысты параметрлерде, тек қана 100 Гр-мен сәулеленген Жеңіс мутантты линияларда, НМДС, г-мен НМДС ($r^2 = 0,38$, $P < 0,001$) және 1000 дәннің салмағымен (1000 ДС) ($r^2 = 0,41$, $P < 0,001$) өте маңызды байланыс құрды.

Дәннің морфометриялық сипаттамаларын қарастыратын болсақ, 100 Гр-мен өңделген мутантты линияларда дәндердің ұзындығы (ДҰ), дәндердің ауданымен (ДА) дәндердің енімен (ДЕ) корреляция мәндері $r^2 = 0,42$, $P < 0,001$ және $r^2 = 0,15$, $P < 0,01$ болса, ал 200 Гр-мен алынған мутантты линиялардың ДҰ, ДА және ДЕ-мен корреляция мәндері $r^2 = 0,61$, $P < 0,001$ және $r^2 = 0,35$, $P < 0,001$ сәйкес болды. Сонымен, қатар 200 Гр-дозамен өңделген мутантты линиялардың ДА мен ДЕ оң корреляция құрды ($r^2 = 0,21$, $P < 0,05$). Жеңіс 200 гр-дозамен өңделген мутантты линиялардың ДА, өнімділік компоненттерінің бірі болған, НМДС, г ($r^2 = 0,26$, $P < 0,05$) және өсімдіктегі жалпы дәндердің салмағымен (ӨЖДС), ($r^2 = 0,12$, $P < 0,05$) оң байланыс құрды, сонымен қатар, мутантты бидай дәндерінің

микроэлементтерімен де корреляция оң болып ($Fe, r^2=0,19, P < 0,05$) және ($Zn, r^2 = 0,11, P < 0,05$) мәндерін көрсетті (кесте 24). Бидай дәндерінің химиялық параметрлерін талдауда, Жеңіс 200 Гр-мен сәулеленген мутантты линияларда маңызды қатынастар байқалды. Өнімділік компоненттері болған 1000 ДС мен ДБМ арасында маңызды байланыс ($r^2 = 0,12, P < 0,01$) байқалды (кесте 24).

Бұдан басқа, 200 Гр-дозамен сәулеленген мутантты линиялардың ДБМ мен дәндердің барлық морфометриялық параметрлер арасында айтарлықтай байланыстар анықталды. Айтар болсақ, ДА-мен $r^2 = 0,25, P < 0,05$, ДҰ-мен $r^2 = 0,25, P < 0,05$, ДЕ-мен $r^2 = 0,15, P < 0,01$ мәндерін берді (кесте 24).

Металлдардың арасында, Zn мөлшері, ӨЖДС-мен айтарлықтай оң қатынас ($r^2=0,17, P < 0,05$) құрды. Тағы 200 Гр-мен өңделген мутантты линияларда байқалған тағы бір маңызды байланыс Fe мен Zn мөлшері арасындағы байланыс $r^2= 0,24, P < 0,001$ көрсетті (кесте 24).

Жеңіс сорты дәндеріндегі фитин қышқылы (ФҚ) мен микроэлементтер мөлшері (Fe және Zn) арасындағы оң корреляция ($r^2 = 0,43, P < 0,001$), ($r^2 = 0,41, P < 0,001$), 100 Гр- дозамен радиацияланған линияларда ($r^2 = -0,19$), ($r^2 = -0,40$) және 200 Гр- дозамен радиацияланған линияларда ($r^2 = -0,02$), ($r^2 = -0,06$) теріс мәнді көрсетті. Сонымен қатар, ФҚ 100 Гр- гамма сәулесімен өңделген мутантты линиялардың өнімділік параметрі, НМДС, г ($r^2 = -0,09$) және 200 Гр- гамма сәулесімен өңделген мутантты линиялардың 1000 ДС-мен ($r^2 = -0,34$) теріс корреляция құрды (кесте 24). Бұл нәтижелер гамма радиациясының үйлесімді дозасымен өңдеу арқылы бидайдың дәндеріндегі белок және металлдардың мөлшері төмендеместен, ФҚ мөлшері азайды. Бұл астық дақылдарының сапасы мен металлдардың биоқолжетімділігін жақсарту үшін гамма сәулесі пайдалы құрал болатындығын көрсетеді.

Алмакен сортының ДБМ мен НМДС арасында айтарлықтай оң қатынас байқалады ($r^2 = 0,26, P < 0,05$). Мутантты бидай дәндерінің Fe мен Zn мөлшері арасындағы оң байланыс 100 Гр- дозада $r^2 = 0,15, P < 0,01$ екендігі анықталды, сонымен қатар Fe мөлшері өнімділік компоненттері болған, 1000 ДС-мен ($r^2 = 0,15, P < 0,01$) және ӨЖДС-мен ($r^2 = 0,30, P < 0,001$) байланыс айтарлықтай оң болды (кесте 25). Бастапқы сортқа қарағанда, Алмакен мутантты линиялардың өнімділік параметрлерін қарастырғанымызда, НМДС мен НМДС, г арасындағы оң қатынас 100 Гр- дозада $r^2 = 0,50, P < 0,001$ және 200 Гр- дозада $r^2 = 0,48, P < 0,001$ анықталды. Мутантты линияларда ӨЖДС, НМДС мен НМДС,г арасындағы корреляция 100 Гр-мен өңделген мутантты линияларда $r^2 = 0,18, P < 0,01$ және $r^2 = 0,22, P < 0,01$ сәйкесінше, 200 Гр- мен өңделген мутантты линияларда $r^2 = 0,39, P < 0,001$ және $r^2 = 0,27, P < 0,001$ болды (кесте 25). Бидай ДҰ-на келетін болсақ, Алмакен бидай ДЕ арасындағы оң байланыс 100 Гр-дозамен алынған линияларда байқалды ($r^2 = 0,34, p < 0,05$). 200 Гр- дозамен өңделген бидай ДА, ДҰ ($r^2 = 0,37, p < 0,001$) және ДЕ арасында ($r^2 = 0,19, p < 0,01$) оң байланыс құрды (кесте 25).

Корреляциялық байланыстарды зерттеуде, 100 Гр-мен өңделген мутантты линиялардың өнімділік компоненттері болған 1000ДС және ӨЖДС, морфологиялық параметрлер, ДҰ-мен ($r^2= 0,10, P < 0,05$), ($r^2 = 0,23, P < 0,01$)

және ДА-мен ($r^2 = 0,32, P < 0,001$), ($r^2 = 0,28, P < 0,001$) арасындағы байланыс оң нәтиже көрсетті (кесте 25).

100 Гр- гамма сәулесімен өңдеу кезінде дәндердің морфологиялық параметрлері болған ДА, бидайдың өнімділік параметрлері НМДС, 1000 ДС және ӨЖДС арасында маңызды байланыс анықталып, олардың мәндері ($r^2 = 0,12, P < 0,05$), ($r^2 = 0,32, P < 0,001$), ($r^2 = 0,28, P < 0,001$) көрсетті (кесте 25).

Алмакен мутантты линияларда, тек 200 Гр- дозамен өңделген линиялардың ДБМ мен морфологиялық параметрлері болған, ДҮ ($r^2 = 0,11, P < 0,05$), ДЕ ($r^2 = 0,19, P < 0,01$) және ДА арасында ($r^2 = 0,13, P < 0,05$) оң арақатынастар болғандығы өте қызықты болды, сонымен қатар, Zn мөлшерінің бидай ДА-мен маңызды байланысы болғанын ескеру қажет ($r^2 = 0,19, P < 0,01$) (кесте 25).

Алмакен мутантты линияларда, 100 Гр-мен радиацияланған НМДС,г, бидай ДА-мен ($r^2 = 0,12, P < 0,05$) және 200 Гр- гамма сәулесімен өңделген мутантты линиялардың, 1000 ДС-мен ($r^2 = 0,15, P < 0,01$) оң корреляциялық байланыс құрды. Алмакен мутантты линиялар ДҮ тек 200 Гр-мен алынған мутантты линиялар ДЕ-мен оң корреляция көрсетті ($r^2 = 0,25, P < 0,001$) (кесте 21). Алмакен сорты дәндеріндегі ФҚ-ның мөлшері, дәндердің сапалық көрсеткіштерімен (ДБМ, Fe және Zn) оң корреляция $r = 0,52, P < 0,001$; $r^2 = 0,20, P < 0,01$; $r^2 = 0,43, P < 0,001$ құрды, бірақ бұл байланыс 100 Гр- және 200 Гр-дозамен өңделген мутантты линияларда кері корреляция көрсетті (кесте 25).

Алмакен сортының дәндеріндегі ФҚ мен морфологиялық параметрлер арасындағы оң байланыс, мутантты линияларда теріс байланыспен сипатталды, сәйкесінше, 100 Гр-дозамен алынған мутантты линияларда корреляция $r^2 = -0,08$, $r^2 = -0,26$, $r^2 = -0,03$ мәндерін, ал 200 Гр-дозамен алынған мутантты линияларда корреляция $r^2 = -0,31$, $r^2 = -0,48$, $r^2 = -0,54$ мәндерін көрсетті. Бұл теріс байланыстар бидай дәндеріндегі ФҚ-ның мөлшерінің төмендеуімен байланысты деп болжауға болады (кесте 25).

Эритросперум-35 М₅ мутантты линиялары дәндерінің сапалық белгілері мен өнімділік компоненттері арасындағы байланыс 26-кестеде келтірілген. Эритросперум-35 бидай сортының негізгі өнімділік компоненті, 1000 ДС-ның орташа мәні мен НМДС ($r^2 = 0,17, P < 0,05$) және дәндердің морфометриялық параметрлерінің бірі, ДЕ-мен ($r^2 = 0,16, P < 0,01$) біршама оң қатынас көрсетті (кесте 26). Бастапқы сорт бидай ДЕ мен НМДС,г арасында оң байланыс $r^2 = 0,14, P < 0,05$ мәнімен сипатталды. Бірақ, Эритросперум-35 сортының ДБМ мен дәндерінің өнімділік және сапалық параметрлері арасында айтарлықтай байланыс анықталған жоқ. Эритросперум-35 мутантты линияларының өнімділік компоненттеріне қатысты, НМДС,г мен НМДС арасындағы байланыс гамма сәулесінің 100 Гр- дозасында $r^2 = 0,47, P < 0,001$ және 200 Гр- дозасында $r^2 = 0,87, P < 0,001$ мәндерін көрсетті. НМДС және НМДС,г арасындағы корреляция, гамма сәулесінің 100 Гр- дозасында $r^2 = 0,18, P < 0,01$ болды (кесте 26). Бидай дәндерінің Fe және Zn мөлшері арасындағы маңызды байланыс 100 Гр-мен өңделген мутантты линиялар арасында $r^2 = 0,42, P < 0,001$, ал 200 Гр-мен сәулелен мутантты линиялар арасында $r^2 = 0,22, P < 0,05$ мәнін көрсетті. Бұл байланыс Жеңіс 200 Гр-мен дозаланған мутантты линияларда және Алмакен 100

Гр-мен дозаланған мутантты линияларда анықталды. Айта кету керек, ДБМ мен Fe мөлшері арасында ($r^2=0,25, P < 0,05$) оң байланыс болды, бірақ ол тек 200 Гр-дозамен өңдеуде анықталды. Бұл нәтижелер мутантты линиялар ДБМ-нің жоғары ассоциациясының бар екендігін көрсетеді (кесте 26).

Сонымен қатар, гамма сәулесінің 200 Гр-дозасында Эритросперум-35 мутантты бидай ДБМ мен пішініне байланысты сипаттамалар арасында айтарлықтай оң арақатынас байқалды. Мысалы, мутантты линиялар ДЕ мен ДА арасында байланыс гамма сәулесінің 100 Гр дозасында $r^2=0,19, P < 0,05$, ал 200 Гр-дозада $r^2=0,50, P < 0,001$) мәндерімен сипатталды, және 200 Гр-сәулемен өңделген Эритросперум-35 мутантты линиялар ДЕ мен ДА арасында айтарлықтай оң байланыс болды ($r^2 = 0,45, P < 0,001$) (кесте 26).

Эритросперум-35 мутантты линиялардағы тағы бір маңызды байланыс, 100 Гр- және 200 Гр-дозамен өңделген линиялар ДА мен ДЕ арасында байланыс, мәндері сәйкесінше 100 Гр-да $r^2=0,21, P < 0,05$, ал 200 Гр-да $r^2=0,40, P < 0,001$ құрды (кесте 26).

Эритросперум-35 200 Гр-мен алынған мутантты линиялар дәндерінің сапалық көрсеткіштерін талдауларда, 100 Гр-сәулеленуден анықталған ДБМ-мен ДЕ арасындағы байланыс мәнінен ($r^2= 0,11, P < 0,05$) 200 Гр-сәулеленуден алынған мәні ($r^2= 0,19, P < 0,01$) едәуір жоғарылаған (кесте 26).

ФҚ-на байланысты Эритросперум-35 сорты мен мутантты линиялар арасындағы корреляцияны талдау нәтижелері 26-кестеде көрсетілген. ФҚ-ның Fe және Zn арасындағы байланысы, 100 Гр-мен дозаланған линияларда $r^2 = 0,09, P < 0,05$ және $r^2=-0,13$ мәндерін көрсетсе, ал 200 Гр-дозамен өңделген линияларда $r^2 = -0,09$ және $r^2 = 0,01, P < 0,05$ мәндерін берді. Эритросперум-35 сортында бұл байланыс мәндері $r^2= 0,47, P < 0,001$ және $r^2 = 0,26, P < 0,01$ екені анықталды. ФҚ мен өнімділік параметрлері арасындағы байланыс, Алмакен сортымен оң корреляцияны көрсетсе ($r^2 = 0,15, P < 0,05, r^2 = 0,87, P < 0,001, r^2 = 0,28, P < 0,01, r^2 = 0,17, P < 0,05$), ал 100 Гр- және 200 Гр-мен дозамен сәулеленген линияларда кері корреляция құрды. Ең қызықты корреляциялық байланыс ФҚ мен ДБМ арасында байқалды, Эритросперум-35 сортында және 200 Гр дозаланған мутантты линияларда бұл байланыс оң болса ($r^2=0,04, P < 0,05$), ($r^2 = 0,01, P < 0,05$) бірақ 100 Гр-дозаланған линияларда теріс ($r^2=-0,38$) байланыспен сипатталды (кесте 26). Бидай дәндерінің ФҚ мен морфологиялық параметрлер арасындағы байланыс мәндерін зерттеуде, Эритросперум-35 сорты мен мутантты линиялар арасында үлкен айырмашылық байқалмады.

Дәндердегі минералды қоректік заттардың мөлшері арасындағы байланыс, өсімдіктегі минералдардың гомеостазында бір немесе бірнеше кең таралған генетикалық/физиологиялық механизмдердің бар болуы мүмкін екендігін көрсетеді.

Кесте 24 – Жеміс сорты мен оның M₅ мутантты линияларының өнімділік компоненттері, микроэлементтердің мөлшері, белок мөлшері сондай-ақ бидай дәндерінің морфометриялық параметрлері, фитин қышқылы арасындағы R² коэффициент мәндері

Жеміс сорты	Параметрлер	НМДС,г	ӨЖДС, г	1000ДС,г	ДБМ,%	FeM, мг/кг	ZnM, мг/кг	ДҰ,мм	ДЕ, мм	ДА, мм ²	ФК, мг/кг
Жеміс сорты	НМДС	0,03	0,01	0,001	0,15*	0,01	0,06	0,03	0,01	0,02	0,91
	НМДС,г		0,01	0,12	0,18*	0,06	0,01	0,07	0,00	0,07	0,98
	ӨЖДС,г			0,02	0,03	0,01	0,08	0,01	0,01	0,06	0,55
	1000ДС, г				0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,02
	ДБМ, %					0,01	0,02	0,01	0,02	0,11	0,27
	Fe, мг/кг						0,17	0,04	0,00	0,00	0,43
	Zn, г/кг							0,00	0,04	0,05	0,41
	ДҰ, мм								0,01	0,00	-0,23
	ДЕ, мм									0,01	-0,31
	ДА, мм ²										-0,19
100 Гр-мен өңделген M ₅ мутантты линиялар	НМДС	0,38***	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,05	0,00	0,08
	НМДС,г		0,08	0,41*	0,00	0,00	0,02	0,11	0,09	0,03	-0,09
	ӨЖДС,г			0,20	0,06	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,22
	1000ДС, г				0,04	0,02	0,00	0,00	0,03	0,02	0,45
	ДБМ, %					0,00	0,12	0,01	0,00	0,14	0,17
	Fe, мг/кг						0,20	0,01	0,03	0,01	-0,19
	Zn,мг/кг							0,00	0,00	0,02	-0,40
	ДҰ, мм								0,15*	0,42**	0,28
	ДЕ, мм									0,20*	0,32
	ДА, мм ²										0,24
200 Гр-мен өңделген M ₅ мутантты линиялар	НМДС	00,12	0,12	0,15	0,01	0,04	0,01	0,01	0,02	0,00	0,16
	НМДС,г		0,11	0,01	0,08	0,00	0,02	0,01	0,06	0,26*	0,20
	ӨЖДС,г			0,10	0,05	0,04	0,17	0,01	0,01	0,12*	0,09
	1000ДС, г				0,12*	0,00	0,02	0,00	0,02	0,05	-0,34
	ДБМ, %				0,09	0,00	0,14	0,25*	0,15**	0,25*	0,30
	Fe, мг/кг						0,24***	0,07	0,03	0,19*	-0,02
	Zn,мг/кг							0,00	0,03	0,11*	-0,06
	ДҰ, мм								0,35**	0,61**	0,48
	ДЕ, мм									0,21*	0,49
	ДА, мм ²										0,15

Ескерту – ықтималдық деңгейлері *, ** және *** белгіленіп, мәндері сәйкесінше <0,05, <0,01, <0,001. Өнімділік компоненттері (НМДС; негізгі масақтағы дәндердің саны, НМДС; негізгі масақтағы дәндердің салмағы, ЖӨДС; Жалпы өсімдіктегі дәндердің салмағы, г; 1000 ДС; 1000 дәннің салмағы, г). ДБМ; дәндегі белок мөлшері. Дәндегі микроэлементтердің мөлшері (Fe және Zn). Морфометриялық параметрлері (ДҰ: дәндердің ұзындығы; ДЕ: дәндердің ені; ДА: дәндердің ауданы, м²). ФК; фитин қышқыл мөлшері.

Кесте 25 – Алмакен сорты мен оның M₅ мутантты линияларының өнімділік компоненттері, микроэлементтердің мөлшері, белок мөлшері сондай-ақ бидай дәндерінің морфометриялық параметрлері, фитин қышқылы арасындағы R² коэффициент мәндері

	Параметрлер	НМДС,г	ӨЖДС, г	1000ДС, г	ДБМ,%	FeM, мг/кг	ZnM, мг/кг	ДҮ, мм	ДЕ, мм	ДА, мм ²	ФК, мг/кг
	Алмакен сорты	НМДС	0,01	0,02	0,01	0,26*	0,15	0,00	0,70	0,88	0,79
НМДС,			0,00	0,18	0,05	0,06	0,04	1,0*	0,97	0,89	0,83
ӨЖДС,				0,00	0,02	0,06	0,02	0,99	0,91	0,96	-0,08
1000ДС, г					0,04	0,05	0,09	0,27	0,55	0,40	0,05
ДБМ, %						0,01	0,00	0,99	0,91	0,97	0,52
Fe, мг/кг							0,04	0,14	0,43	0,27	0,20
Zn,мг/кг								0,91	0,75	0,85	0,43
ДҮ, мм									0,95	0,99	0,29
ДЕ, мм										0,99	0,03
ДА, мм ²											0,04
100 Гр-мен өңделген M ₅ мутантты линиялар	НМДС	0,50***	0,18**	0,00	0,01	0,02	0,02	0,09	0,01	0,12*	-0,09
	НМДС,г		0,22**	0,00	0,01	0,00	0,00	0,04	0,05	0,08	-0,29
	ӨЖДС,г			0,00	0,00	0,30***	0,04	0,10*	0,03	0,32***	-0,11
	1000ДС, г				0,08	0,15**	0,01	0,23**	0,00	0,28***	-0,06
	ДБМ, %					0,00	0,02	0,11	0,00	0,03	-0,18
	Fe, мг/кг						0,15**	0,00	0,04	0,10	-0,26
	Zn,мг/кг							0,01	0,02	0,04	-0,55
	ДҮ, мм								0,00	0,34*	-0,08
	ДЕ, мм									0,00	-0,26
	ДА, мм ²										-0,03
200 Гр-мен өңделген M ₅ мутантты линиялар	НМДС	0,48***	0,39***	0,15**	0,02	0,02	0,01	0,04	0,01	0,06	0,13
	НМДС,г		0,27**	0,20	0,02	0,00	0,04	0,10	0,03	0,07	0,13
	ӨЖДС,г			0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,04	0,08
	1000ДС, г				0,03	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	-0,47
	ДБМ, %					0,09	0,09	0,11*	0,19**	0,13*	-0,34
	Fe, мг/кг						0,05	0,02	0,05	0,05	-0,30
	Zn,мг/кг							0,07	0,06	0,19**	-0,68
	ДҮ, мм								0,25***	0,37***	-0,31
	ДЕ, мм									0,19**	-0,48
	ДА, мм ²										-0,54

Ескерту – ықтималдық деңгейлері *, ** және *** белгіленіп, мәндері сәйкесінше <0,05, <0,01, <0,001. Өнімділік компоненттері (НМДС; негізгі масақтағы дәндердің саны, НМДС; негізгі масақтағы дәндердің салмағы, ЖӨДС; Жалпы өсімдіктегі дәндердің салмағы, г; 1000 ДС; 1000 дәннің салмағы, г). ДБМ; дәндегі белок мөлшері. Дәндегі микроэлементтердің мөлшері (Fe және Zn). Морфометриялық параметрлері (ДҮ: дәндердің ұзындығы; ДЕ: дәндердің ені; ДА: дәндердің ауданы, м²). ФК; фитин қышқыл мөлшері.

Кесте 26 – Эритросперум-35 сорты мен оның M₅ мутантты линияларының өнімділік компоненттері, микроэлементтердің мөлшері, белок мөлшері сондай-ақ бидай дәндерінің морфометриялық параметрлері, фитин қышқылы арасындағы R² коэффициент мәндері

Эритросперум-35 сорты	Параметрлер	НМДС, г	ЖӨДС, г	1000 ДС, г	ДБМ,%	FeM, мг/кг	ZnM, мг/кг	ДҰ, мм	ДЕ, мм	ДА, мм ²	ФҚ, мг/кг
	НМДС	0,00	0,12	0,17*	0,06	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	-0,15
	НМДС, г		0,09	0,02	0,01	0,00	0,00	0,08	0,14*	0,00	0,87
	ӨЖДС,г			0,16	0,01	0,00	0,01	0,12	0,04	0,10	-0,28
	1000 ДС, г				0,01	0,03	0,07	0,01	0,16**	0,00	0,17
	ДБМ, %					0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,04
	Fe, мг/кг						0,00	0,00	0,01	0,01	0,47
	Zn,мг/кг							0,03	0,05	0,01	0,26
	ДҰ, мм								0,12	0,02	0,29
	ДЕ, мм									0,01	0,50
	ДА, мм ²										0,68
100 Гр-мен өңделген M ₅ мутантты линиялар	НМДС	0,47***	0,18**	0,05	0,09	0,00	0,00	0,03	0,04	0,04	-0,45
	НМДС, г		0,09	0,00	0,04	0,00	0,02	0,02	0,07	0,11	-0,11
	ӨЖДС,г			0,03	0,09	0,08	0,00	0,06	0,07	0,09	-0,12
	1000 ДС, г				0,05	0,03	0,04	0,01	0,05	0,08	-0,42
	ДБМ, %					0,03	0,03	0,06	0,11*	0,02	-0,38
	Fe, мг/кг						0,42***	0,00	0,01	0,06	0,09
	Zn,мг/кг							0,00	0,03	0,04	-0,13
	ДҰ, мм								0,21*	0,05	0,23
	ДЕ, мм									0,19*	0,34
	ДА, мм ²										0,26
200 Гр-мен өңделген M ₅ мутантты линиялар	НМДС	0,87***	0,07	0,02	0,05	0,01	0,04	0,01	0,07	0,02	-0,02
	НМДС, г		0,07	0,06	0,01	0,01	0,05	0,09	0,03	0,02	-0,14
	ӨЖДС,г			0,00	0,04	0,07	0,12	0,02	0,01	0,02	-0,14
	1000 ДС, г				0,06	0,03	0,00	0,02	0,01	0,02	-0,07
	ДБМ, %					0,25*	0,04	0,02	0,19**	0,14	0,01
	Fe, мг/кг						0,22*	0,04	0,00	0,00	-0,09
	Zn,мг/кг							0,05	0,00	0,04	0,01
	ДҰ, мм								0,40***	0,45***	0,35
	ДЕ, мм									0,50***	0,23
	ДА, мм ²										0,32

Ескерту – ықтималдық деңгейлері *, ** және *** белгіленіп, мәндері сәйкесінше <0,05, <0,01, <0,001. Өнімділік компоненттері (НМДС; негізгі масақтағы дәндердің саны, НМДС; негізгі масақтағы дәндердің салмағы, ЖӨДС; Жалпы өсімдіктегі дәндердің салмағы, г; 1000 ДС; 1000 дәннің салмағы, г). ДБМ; дәндегі белок мөлшері. Дәндегі микроэлементтердің мөлшері (Fe және Zn). Морфометриялық параметрлері (ДҰ: дәндердің ұзындығы; ДЕ: дәндердің ені; ДА: дәндердің ауданы, м²). ФҚ; фитин қышқыл мөлшері.

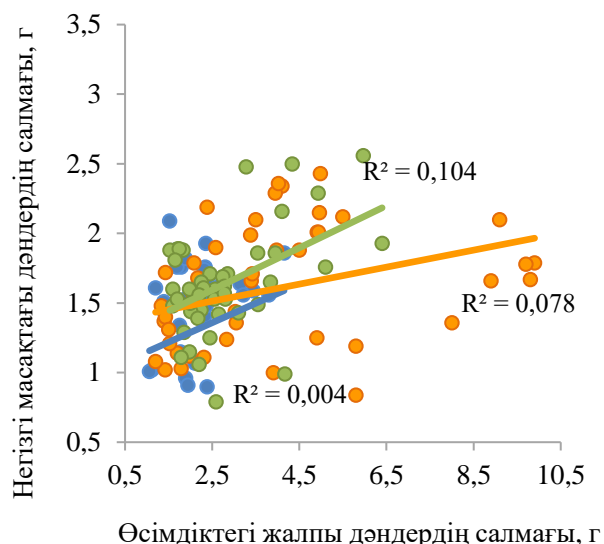
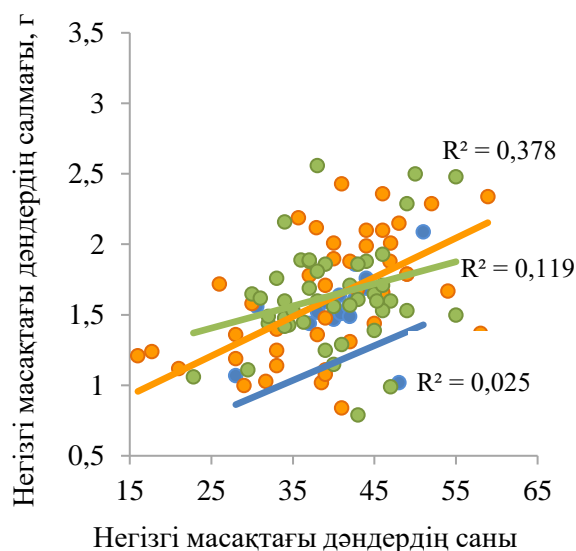
Бұл зерттеу бидайдың өнімділік компоненттері: негізгі масақтағы дәндердің саны, негізгі масақтағы дәндердің салмағы және өсімдіктегі жалпы дәндердің салмағы, дәндердің сапалық көрсеткіштері: белок пен металл мөлшері арасында байланыс бар-жоғын анықтау, салыстыру және бір-біріне қаншалықты әсер ететінін тексеру үшін пайдаланылды. Жеңіс мутантты линиялардан алынған нәтижелер 44-суретте көрсетілген. Алмакен мутантты линиялардың нәтижелері 45-суретте және Эритросперум-35 мутантты линиялардың нәтижелері 46-суретте берілген. Сонымен қатар, және параметрлердің арасындағы өзара байланысы бар-жоғын тексеру үшін сәйкестендірілген корреляциялық сызық пайдаланылды.

Алмакен сорты мен мутантты линиялар дәндеріндегі ФҚ мен фитаттың сапалық белгілерімен байланысын корреляциялық сызық арқылы зерттеу барысында Fe, Zn, белок мөлшері артқан мутантты линиялардың дәндерінде ФҚ мен фитат мөлшері төмендегенін айқын байқауға болады.

Көптеген жағдайларда радиациялық дозалар (100 Гр- және 200 Гр-) арқылы алынған мутантты линиялардың параметрлер арасындағы байланысты сәйкестендірілген корреляциялық сызық бойынша қарағанда бастапқы сорттардан жоғары екендігі анықталды, бірақ екі түрлі дозада алынған мутантты линияларды өзара бір-бірімен салыстырғанда аса үлкен айырмашылық байқалмады. Жеңіс мутантты линияларда басым көпшілік параметрлердің байланысы жоғары нәтиже көрсетті (сурет 44). Тек, Алмакен мутантты линиялары (сурет 45) мен Эритросперум-35 мутантты линияларының (сурет 46) сапалық параметрлері арасында, белок және Zn мөлшерінің байланысы өзгеше көрсеткіш көрсетті. Сонымен қатар, гамма-сәулеленудің әсерінен алынған мутантты линиялардың дәндеріндегі металдардың мөлшерінің байланысы анағұрлым жоғары деңгейдегі корреляциялық сәйкестікке ие болғанын байқадық (сурет 44-46). Ал Алмакен мутантты линиялардың дәндеріндегі ФҚ мөлшері, дәндердің сапалық (белок, Fe, Zn) мөлшеріне кері корреляция құрды (сурет 47).

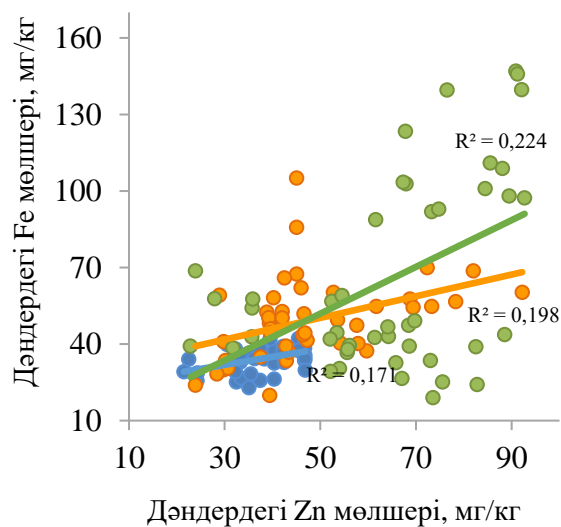
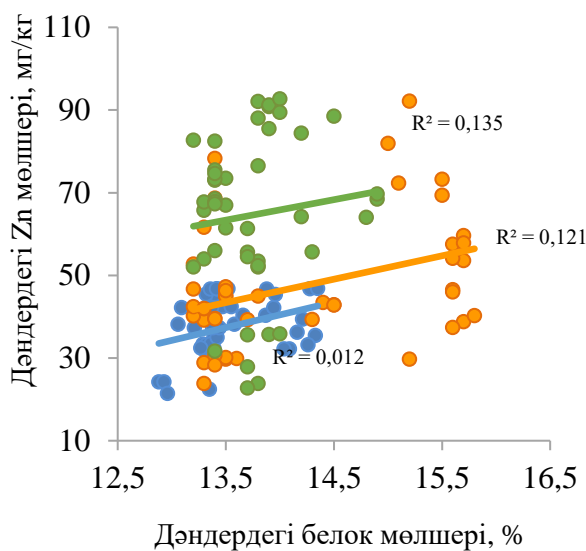
Бұл зерттеулер, дәнді дақылдардың сапасын жақсартуға бағытталған жаздық бидай өсірудің тиісті стратегиясын жасау үшін пайдалы болатын жаңа ақпаратты ашты. Бұл мәселеге қатысты тиімді тәсілдің бірі – бидай геномдарын гамма сәулесі арқылы қайта құру, қазіргі заманғы сорттардың генетикалық жаңа фонын қалыптастыру. Сәулелену нәтижесінде пайда болған генетикалық өзгерістер нәтижесінде пайда болған жаңа Жеңіс, Алмакен және Эритросперум-35 мутантты линиялар дәндерінің генетикалық фонында анти-нутриенттердің мөлшері төмендеген, сапасын көрсеткіштерін жақсарту үшін пайдалы ген/аллельдері бар жаңа формалар анықталды.

Ағымдағы зерттеуде жаздық бидайдың генетикалық тұрақты M₅ мутантты линиялардың генетикалық өзгергіштігі өте үлкен болды. M₅-мутацияланған линияларды салыстыра отырып, дәндердің морфометриялық және құнды сапалық белгілері (белок мөлшері, Fe және Zn мөлшері) үшін сәулеленудің екі түрлі дозалары (100 Гр және 200 Гр) айтарлықтай өзгеріс алып келгендігін байқадық.



а)

б)

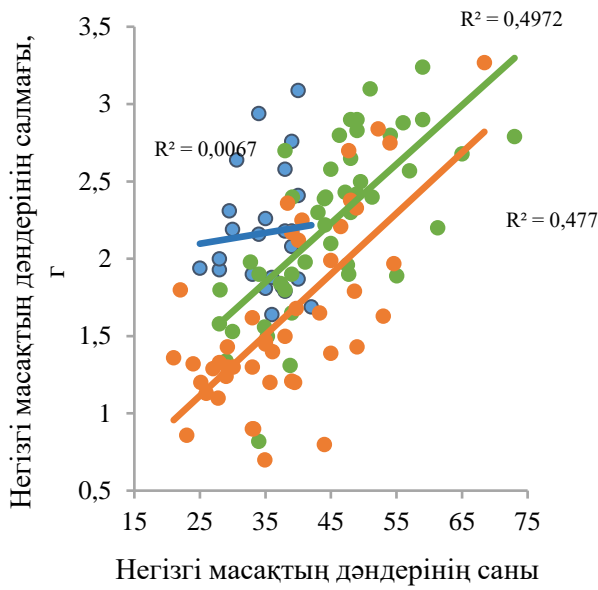


с)

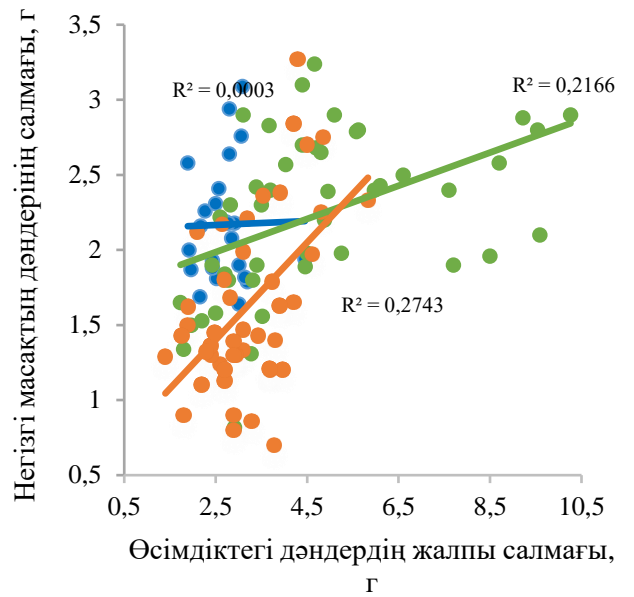
д)

● Жеңіс сорты ● 100 Гр-дозаланған линиялар ● 200 Гр-дозаланған линиялар

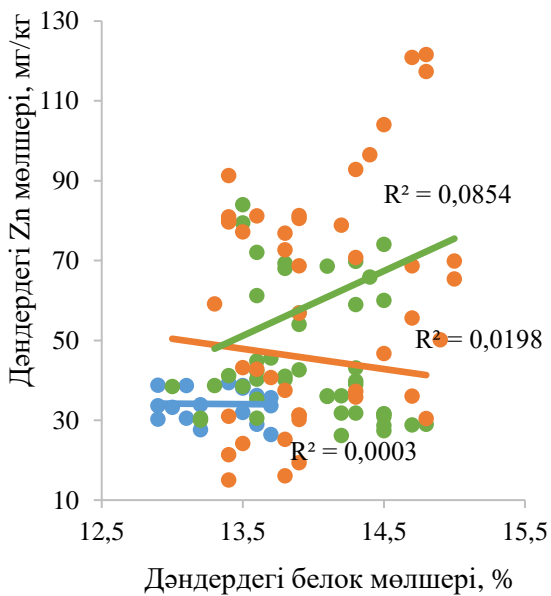
Сурет 44 – Жеңіс сорты мен гамма сәулесінің екі дозасымен өңделген M_5 мутантты линияларының сапалық және өнімділік көрсеткіштерінің өзара байланысы



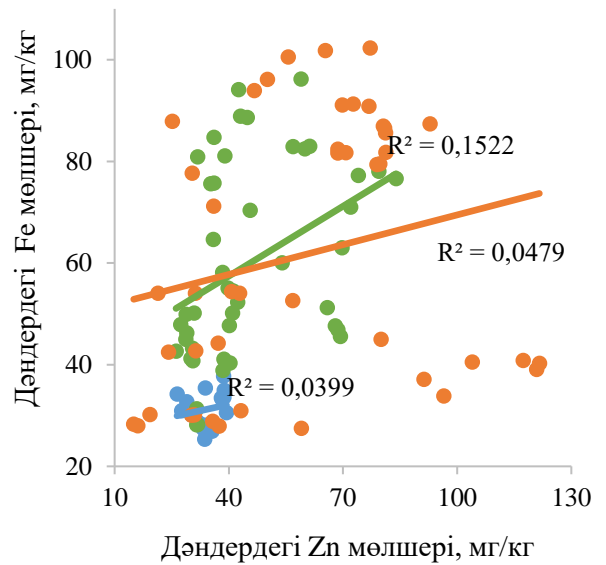
а)



б)



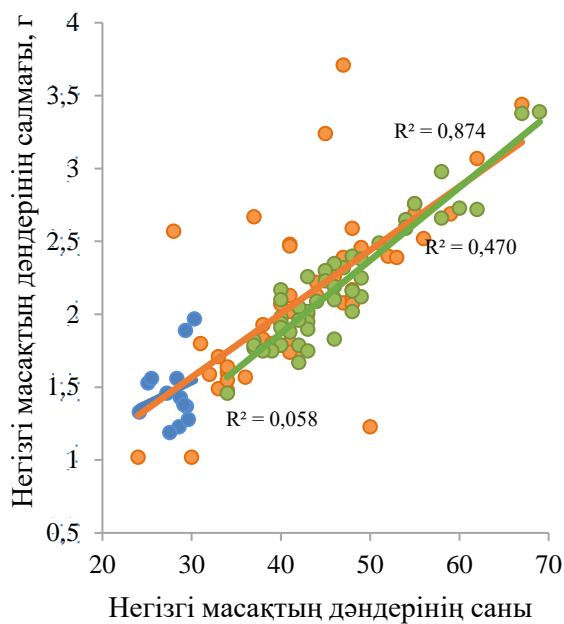
с)



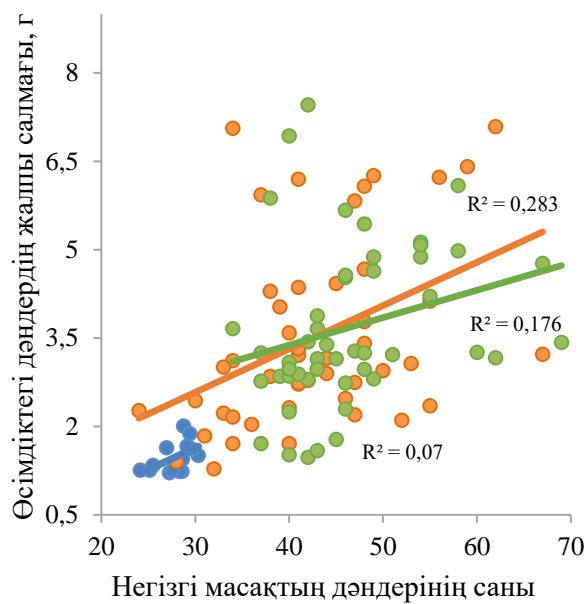
д)

● Алмакен сорты ● 100 Гр-дозаланған линиялар ● 200 Гр-дозаланған линиялар

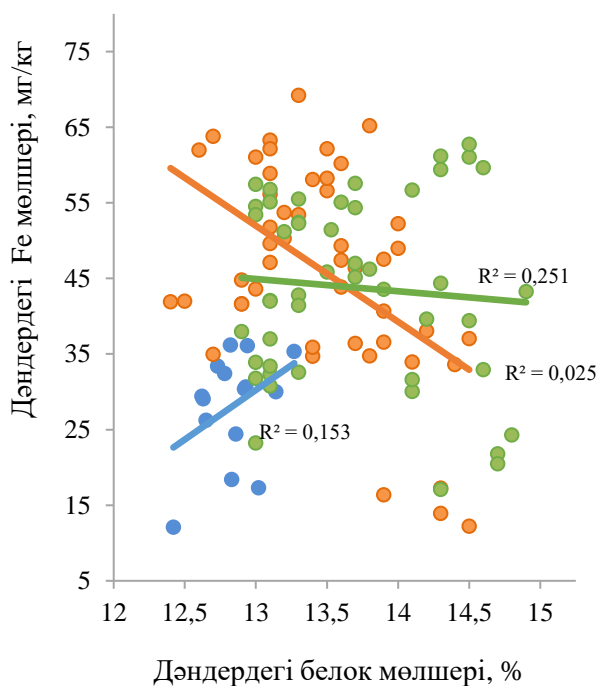
Сурет 45 – Алмакен сорты мен гамма сәулесінің екі дозасымен өңделген M_5 мутантты линияларының сапалық және өнімділік көрсеткіштерінің өзара байланысы



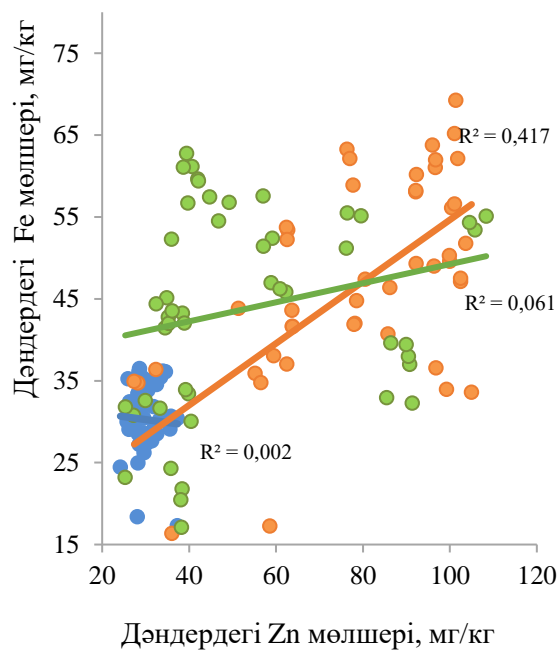
а)



б)



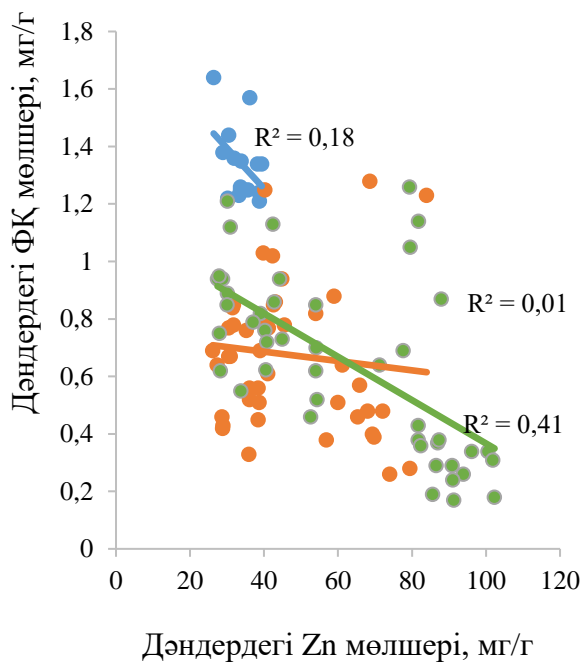
с)



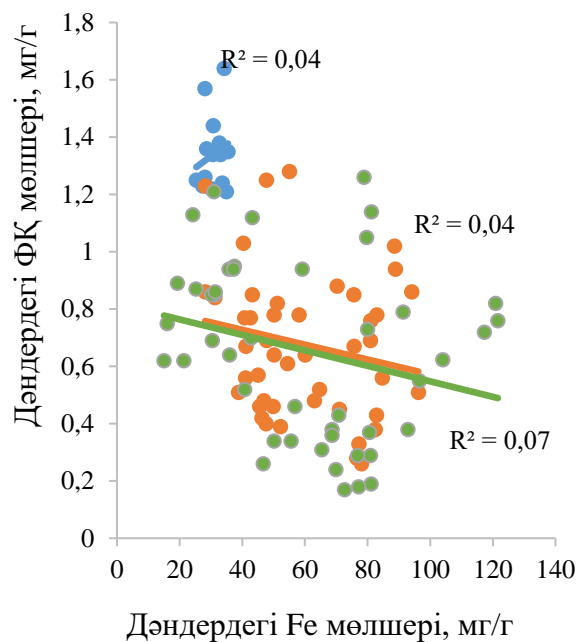
д)

● Эритросперум-35 сорты ● 00 Гр-дозаланған линиялар ● 200 Гр-дозаланған линиялар

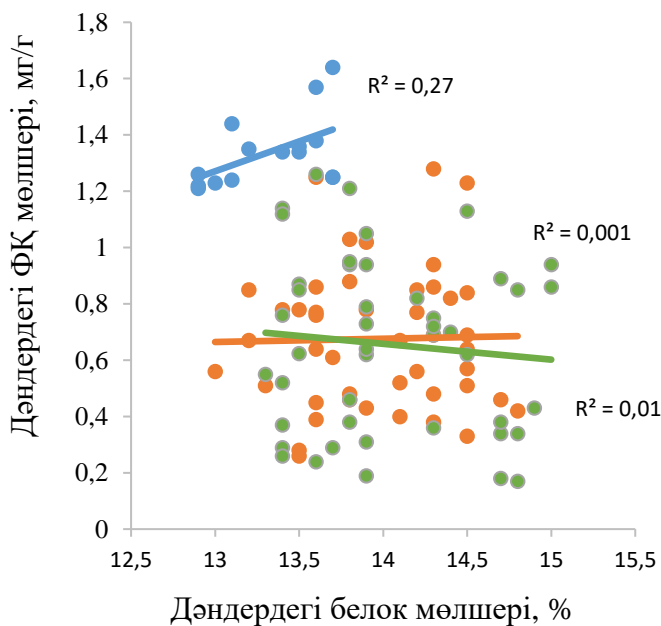
Сурет 46 – Эритросперум-35 сорты мен гамма сәулесінің екі дозасымен өңделген M_5 мутантты линияларының сапалық және өнімділік көрсеткіштерінің өзара байланысы



а)



б)



с)

● Алмакен сорты ● 100 Гр-дозаланған линиялар ● 200 Гр-дозаланған линиялар

Сурет 47 – Алмакен сорты мен гамма сәулесінің екі дозасымен өңделген М₅ мутантты линияларының ФҚ мен сапалық көрсеткіштерінің өзара байланысы

Бұған дейін басқа авторлар бидай, соның ішінде нан *tetraploid durum wheat* (*T. turgidum ssp. durum*) бидайына, жабайы эммер бидайына, *Triticum dicoccoides* және гексаплоидты (*Triticum aestivum L. ssp. aestivum*) бидайларға қатысты зерттеулерде мәлімдеген қызықты дәлелдердің бірі металдардың мөлшерлерінің

белок мөлшеріне байланысы болып табылды. Осы зерттеуде дәндердің белок мөлшері (ДБМ) мен Zn және Fe мөлшері арасында айтарлықтай оң корреляция анықталды. Эритросперум-35 200 Гр-мен алынған мутантты линияларының белок мөлшері (ДБМ) мен дәндердің Fe мөлшері арасындағы байланыс оң корреляцияны көрсетті ($r^2 = 0,25$, $P < 0,05$) (кесте 26).

Жеңіс 200 Гр-мен, Алмакен 100 Гр-мен сәулеленген мутантты линияларында және сәулеленудің екі деңгейінде алынған Эритросперум-35 сортының мутантты линияларында Fe және Zn мөлшері арасындағы маңызды корреляциялардың табылуы, бұл өсімдіктегі минералдар гомеостазының негізінде бір немесе бірнеше кең таралған генетикалық/физиологиялық механизмдері болуы мүмкін екендігін көрсетеді. Сонымен қатар, микроэлементтердің жинақталу, хромосомада, бір ген локус арқылы бақылануы мүмкін. Қолданыстағы бидайлар мен гексаплоидты бидайларда Zn және Fe мөлшері арасында оң байланыс байқалған. Zn және Fe мөлшерін бақылайтын плитотропты аллельдер, сондықтан Zn және Fe мөлшерін бір уақытта жақсартуға болады.

Fe және Zn мөлшері арасындағы тығыз байланыс негізінде жасалған бұл қорытынды, ғылым саласына, микроэлементтердің тасымалдануы мен жинақталуын реттейтін жаңа механизмдерді ұсынуы мүмкін. Себебі, зерттеу әдебиеттерінде бидайдың даму және қартаюы кезеңіндегі микроэлементтердің, минералдардың жапырақтардан дөнге дейінгі тасымалдануын бақылайтын, транспортерлік ген экспрессиясының реттелуі толық түсіндірілмеген. Сол себепті бұл механизмдерді егжей-тегжейлі түсіну үшін биофортификациялау арқылы бидай сорттарын жақсарту ұсынылады.

3.9 Темір және мырыш биофортификацияланған мутантты линиялардың тамыры мен жапырақтағы темір гомеостазына қатысатын гендердің экспрессиясын талдау

Осы зерттеуде жаздық бидай Эритросперум-35 сорты мен гамма сәулесінің 100 Гр- және 200 Гр- сәулелерімен өңдеу арқылы алынған, дәндерінде Fe және Zn мөлшері жоғары (1,6-1,7 және 1,6–2,1 есе) сипатталған M/1 (Эр 144/1) және M/2 (Эр 153/5) M₅ мутантты линияларының тамыр және жапырақтарындағы темір гомеостазының әртүрлі сатыларындағы, фитосидерофордың (ФС) синтезі мен секрециясына, Fe-дің ұзақ қашықтыққа тасымалдануына және клеткаішілік тасымалдануына, аккумуляциялануына және трансфактор bHLH-дың реттелуіне қатысатын гендердің экспрессиясы бағаланды.

Дәндегі микроэлементтердің сіңірілуіне, тасымалдануына және қор ретінде жинақталуына көптеген гендер қатысатын күрделі процес [177]. Өсімдіктер топырақтан жеткілікті мөлшерде Fe-ді сіңіруі үшін әртүрлі стратегиялар әзірленеді. Стратегия I барлық дара және қосжарнақты өсімдіктердің ризосферасындағы қышқылдану механизмі. Бұл стратегияда тамырдағы металдың сіңірілуінде H⁺ протондар, плазмалық мембранада АТФазалардың бөлінуін және Fe³⁺ ерігіштігін арттыруын қамтамасыз етіледі.

II стратегиясында хелацияға негізделген стратегия, бұл дәнді дақылдардағы негізгі механизм. Тотыққан Fe-дің топырақтан сіңірілуін

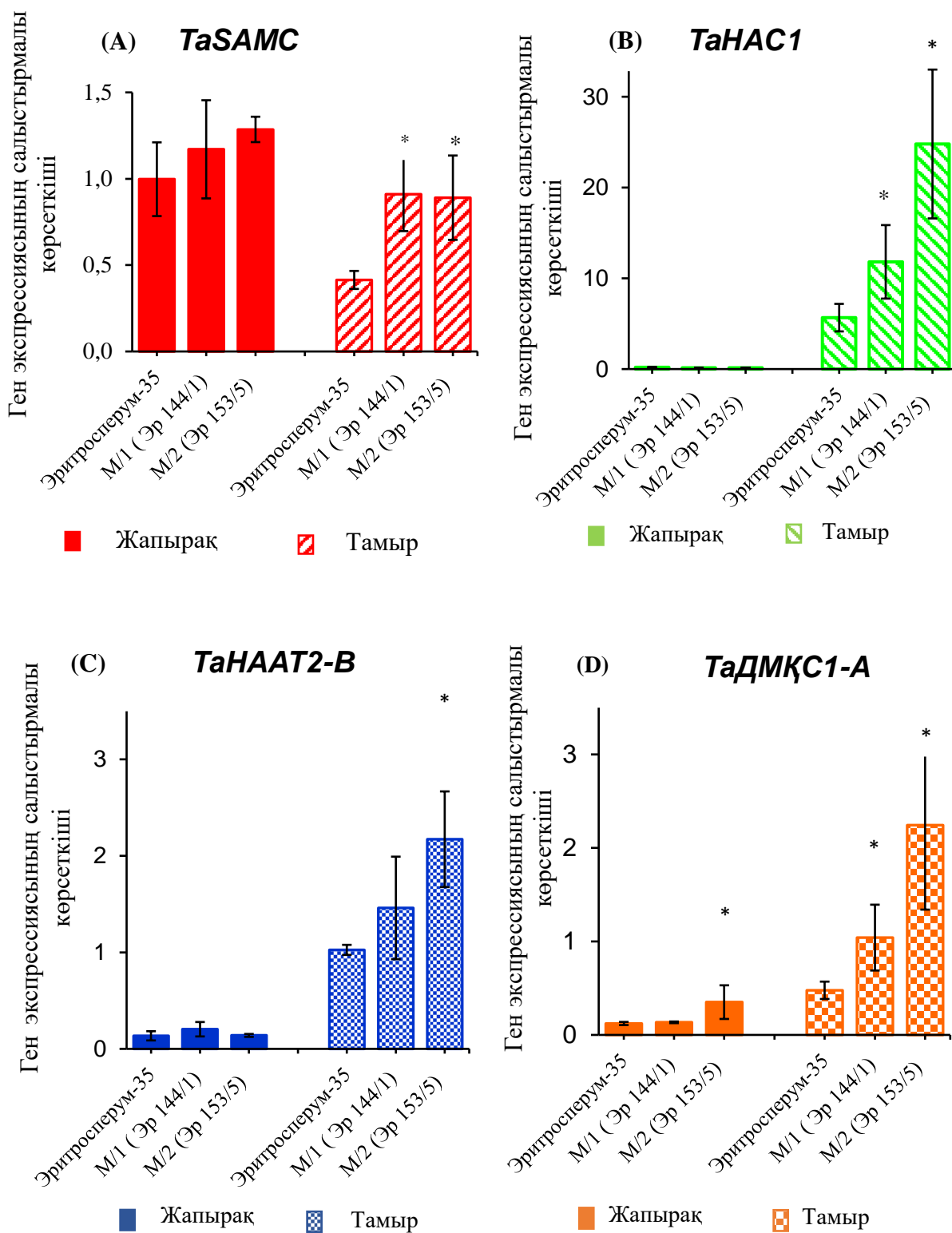
күшейтеді. Бұл стратегияға никотинамин (НА), 2-дезоксимугин қышқылы (ДМҚ) және мугин қышқылдары (МК) сияқты әртүрлі фитосидерофорлар (ФС) қатысады. Олар өсімдік тамырынан ризосфераға шығарылады және Fe^{3+} -ФС комплекстерін түзе отырып, бейорганикалық ерімейтін темірді $Fe(Fe(III))$ хелаттайды және Fe сіңірілуіне ықпал етеді [178, 179]. Қосжарнақты өсімдіктерде, метиониннің белсендірілген түрі, Fe -дің хелаторы, S-аденозил метионин (SAM), МК-ның биосинтезіне қатысады және НА метаболизмі арқылы Fe сіңуінде маңызды рөл атқарады [180, 181].

Никотинамин (НА) биосинтезі никотианаминсинтаза (НАС) арқылы жүзеге асырылады, субстрат ретінде SAM-ды пайдаланады. Никотианаминсинтаза (НАС) SAM-нен НА синтезін катализдейді. Бидайда бұл ферменттер Fe -дің күйіне байланысты дифференциалды түрде реттелінеді және НА Fe -дің сіңуіне, тасымалдануына/транслокациясына, гомеостазына және басқада процестерге қатысады. НА деңгейінің жоғарылауы дәндегі Zn мөлшерін жоғарылатады [182, 183]. Никотианаминаминотрансфераза (НААТ) және дезоксимугин қышқылы синтазасы (ДМҚС) МК биосинтезі кезінде НА-нен ДМҚ түзілуін катализдейді [184]. НА-нің трансаминация (НААТ) -мен реакциясы тек қосжарнақты өсімдіктерде кездеседі, бұл II Стратегияның бірінші қадамының дәлелі [185]. Бидайдың ДМҚ сияқты бір ғана МК-ның түрінің секрециясымен сипатталады [186].

Біз алған нәтижелер бойынша Эритросперум-35 және сұрыпталған мутантты линиялардың (M/1 және M/2), фитосидерофор (ФС) биосинтезіне қатысатын *TaНАС1* (Та.37977) (Сурет 48В), *TaНААТ2-В* (Та.4977) (Сурет 48С) және *TaДМҚС1-А* (Та.5335) (Сурет 48D) гендерінің экспрессиясы, *TaSAMС* экспрессиясын қоспағанда, барлық бидай генотиптердің жапырақтарында өте төмен деңгейді көрсетті (Сурет 48А). Керісінше, зерттелген генотиптердің тамырларындағы *TaSAMС*, *TaНАС1*, *TaНААТ2-В* және *TaДМҚС1-А* гендерінің экспрессиясы Эритросперум-35 сортына қарағанда 2,1-4,7 есеге айтарлықтай жоғарылаған.

Эритросперум-35 жапырақтарындағы *TaSAMС* генінің (Та.69768) деңгейі тамырларға қарағанда 2,4 есеге жоғары болды, бірақ мутантты линиялардың (M/1 және M/2) жапырағы мен тамырларындағы бұл геннің экспрессиясында айырмашылықтар болмады. Дегенмен, екі мутантты линиялардың тамырларында *TaSAMС* мөлшері ата-аналық сортпен салыстырғанда екі есе артты (Сурет 48А).

TaНААТ2-В экспрессиясы бойынша, барлық бидай генотиптерінің жапырақтарында айырмашылықтар болмады (Сурет 48С). Бірақ, *TaНАС1* және *TaДМҚС1-А* экспрессиясы Эритросперум-35 сортмен салыстырғанда M/2 (Эр 153/5) мутантты линиясында елеулі артты (4,4 және 4,7 есе) (Сурет 48В және 48D).

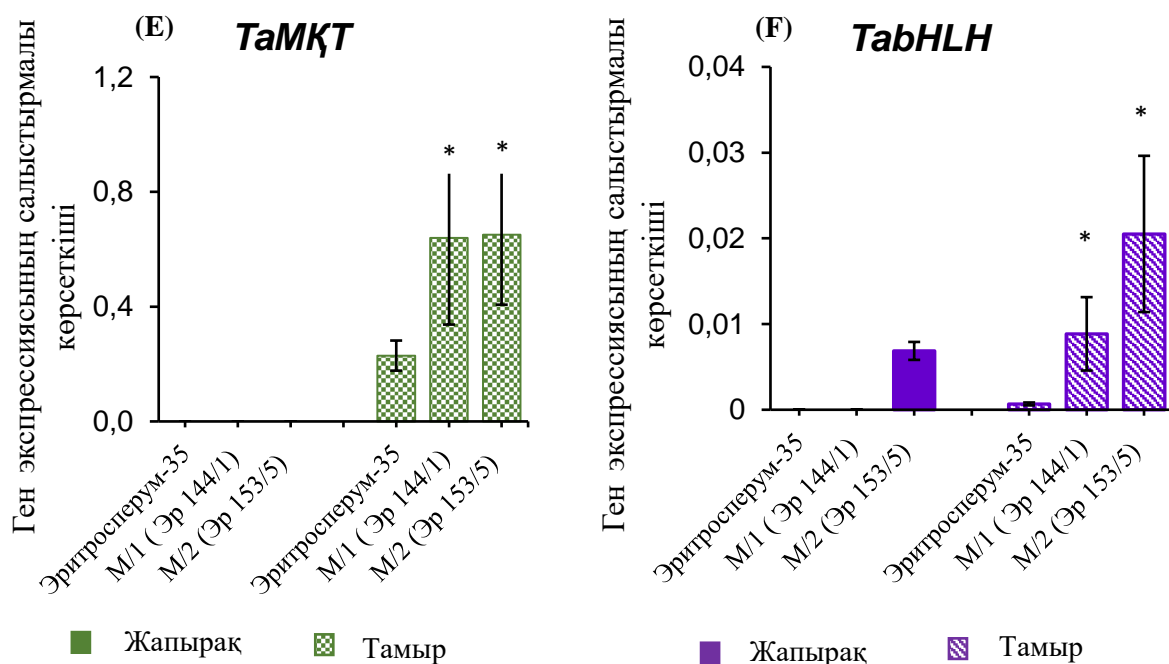


Сурет 48 – Фитосидерофор синтезімен байланысты гендерінің тамыр және жапырақтағы экспрессия деңгейлеріндегі айырмашылықтар: *TaSAMC*; S-аденозилметионисинтетаза (Та.69768), (B) *TaHAC1*; никотианаминасинтаза (Та.37977), (C) *TaHAAT2-B*, никотианаминотрансфераза (Та.4977), (D) *TaДМҚС1-А*; дезоксимугин қышқылының синтазасы (Та.5335)

Біздің зерттеу нәтижелерімізге сәйкес, транскрипция факторы *TabHLLH* (Та.34545) генінің экспрессиясы екі мутантты линияның (M/1 және M/2) тамырларында айтарлықтай жоғарлады (тиісінше 13,1 және 30,2 есе) (Сурет 49F). Сондай-ақ M/2 мутантты линияның жапырақтарында айтарлықтай артты. *TabHLLH* экспрессиясы Эритросперум-35 сортының жапырағы мен тамырында төмен болды.

Бірнеше транскрипция факторларының (ТФ) ішінде, мысалы, дақылдардың *bHLLH* факторы Fe гомеостазының реттелуіне қатысады [188]. Бидайда тіндік және өсу сатысында *TabHLLH* реттелуі көрсетілген [189]. Fe тапшы өсу жағдайында, Fe ионының сіңіруі мен тасымалдануы бидай тамырлары мен өркендерінде индукцияланған *bHLLH* фактормен реттеледі [190].

Фитосидерофор (ФС) тасымалдаушысын кодтайтын *TaMҚТ* гомологының (Та.5180) экспрессиясының 2,8 есеге жоғары деңгей, екі мутантты линияның тамырларында байқалды (Сурет 49E). Бұл ген топыраққа ФС секрециясы үшін маңызды тасымалдаушыны кодтайды. *TaMҚТ* ризосфераға ДМҚ-н тасымалдауға қатысады және өсімдіктің қалыпты өсуіне қажетті клеткаішлік тасымалдануына ықпал етеді (49E-сурет). Арпа мен жүгеріде Fe жетіспейтін жағдайда *MҚТ* гендерінің гомологтары *HvMҚТ1* және *ZmMҚТ1* экспрессиясы тамырларда индукциясы артқан. Сонымен қатар, арпа мен күріште сәйкесінше, *HvMҚТ1* және *OsMҚТ1* экспрессиясының күндізгі/түнгі тәуліктік реттелу үлгісі көрсетілген [187].



Сурет 49 – Фитосидерофор синтезімен байланысты ген мен ТФ гомологының тамыр және жапырақтағы экспрессия деңгейлеріндегі айырмашылықтар: (E) *TaMҚТ*, мутин қышқылының тасымалдаушысы (Та.5180) және (F) *TabHLLH* транскрипция факторы

Осылайша, жаздық бидайдың M_5 мутантты линияларының дәндеріндегі Fe және Zn мөлшерінің жоғарылауына байланысты тамырдағы спецификалық *TaSAMC*, *TaHAC1*, *TaHAAT2-B*, *TaДМКС1-А* және, *TaМҚТ* гендерінің Эритросперум-35 сортымен салыстырғандағы шамадан тыс экспрессиясы анықталды (Сурет 48-49). Бұл зерттелетін мутантты линиялардың ФС синтезі мен секрециясын жоғарлату әлеуеті бар екендігін көрсетеді [161, p 25].

Алыс қашықтыққа, клеткаішілік Fe тасымалдаушыларын және аккумуляциясын кодтайтын гендердің экспрессиясы

Сары жолақ тәрізді белоктар (*TaСЖТБ*), яғни *TaYSL* гендерімен кодталады. Өсімдіктердің тамырлары мен жапырақтарында алыс қашықтыққа Fe тасымалдауға қатысады және дәндегі Fe/Zn мөлшерімен байланысты, тасымалдау рөлінен басқа, *TaYSL* гені ФС синтезі мен секрециясына қатысады. Бидайда *YSL* субфамилиясының дәлелі жақында ғана жарияланды [191, 192].

Жаздық бидай Эритросперум-35 сорты және мутантты линиялардағы тамыр-спецификалық *TaYSL* (*Ta.48303*) экспрессияның үлгісі 50А суретте көрсетілген. Эритросперум-35 сортына қарағанда, *M/1* (144/1) және *M/2* (153/5) мутантты линияларда айтарлықтай жоғары (2,1 және 2,7 есе) болды. *TaYSL* экспрессиясының өте төмен деңгейі жапырақтарда табылды және генотиптер арасында оның деңгейінде ешқандай өзгергіштік болмады (Сурет 50А).

Зерттеу әдебиеттері бойынша, *YSL* протеиндері дәннің даму кезеңдерінде экспрессия деңгейінде ауытқулар болатыны көрсетілген. Бидайдың *YSL* дифференциалды экспрессиясын тудыратын биотикалық және абиотикалық факторлар. Бидайдың өсу процестеріндегі әртүрлі функцияларын көрсетеді. *YSL* бидай биофортификациясы үшін маңызды тасымалдаушылар ретінде қарастырылатын, кілтті гендер болып табылады [193].

TaYSL экспрессиясының ұлғаюуына сәйкес мутантты линиялардың тамырларында *TaSAMC*, *TaHAC1*, *TaHAAT2-B* және *TaДМКС1-А* жоғары реттелуі байқалды, бұл жауаптар *TaYSL* экспрессиясы Fe ионының сіңірілуінде және жапырақтан кейінгі тасымалдануында маңыздылығын көрсетеді, нәтижесінде дақылдардағы минералдардың биофортификациясына әсер етеді.

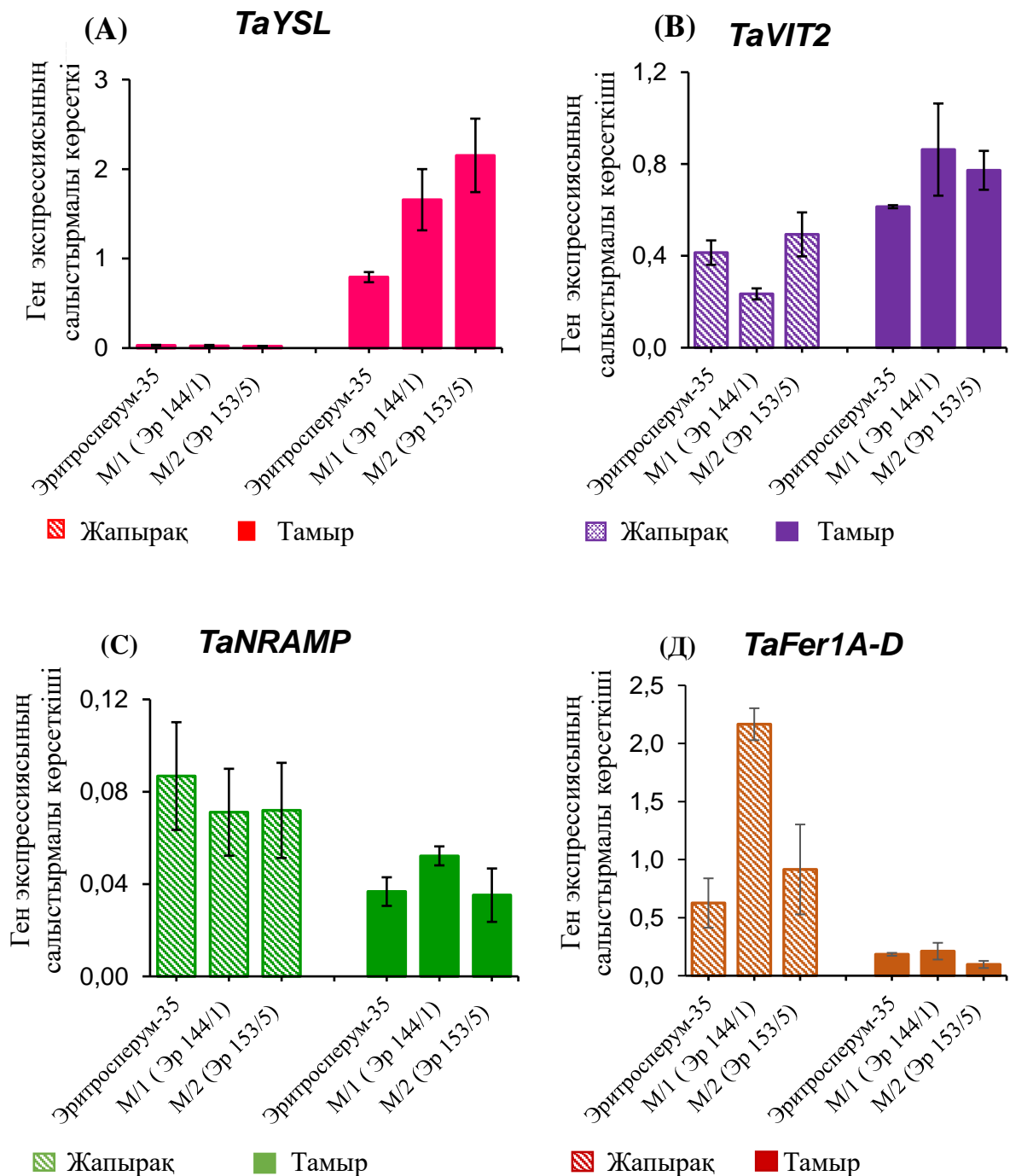
Вакуольдер мен ферритин кешендерінің түзілуі Fe жинақталуының екі негізгі механизмі болып табылады [194].

Тамыр және жапырақтағы *TaVIT2* (*Ta.22757*) экспрессиясын талдау бойынша, *M/1* (144/1) және *M/2* (153/5) мутантты линияда айтарлықтай ұлғаюуы тамырда байқалды (Сурет 50В). *TaVIT2* экспрессиясы жаздық бидай дәндеріндегі Fe/Zn мөлшеріне, генотиптер ұлпаларының ерекшелігіне және дәндердің өсіп өнуі кезіндегі ремобилизациясына байланысты.

Бидайда Fe пайдалануында және сақтауында, вакуолярлы темір тасымалдаушы ген (*VTL*) маңызды рөл атқарады. Соның бір дәлелі Fe тапшылығы кезіндегі вакуолярлы темір тасымалдаушы (*VTL*) гендердің (*TaVTLL1*, *TaVTLL2* және *TaVTLL4*) экспрессиясына жүргізілген зерттеулердің нәтижелерінде байқалған [195].

TaNRAMP гомологы (*Ta.13247*) клеткаішілік Fe тасымалдаушысы ретінде маңызды рөл атқаратын табиғи төзімділікке байланысты макрофаг белогын

кодтайды және клеткалық Fe плазмалық мембрана-локализацияланған протон/металл тасымалдаушы ретінде маңызды рөл атқарады. *NRAMP* гендері күріште, арпада, жүгеріде және бидайда да анықталған. *NRAMP*-тің ерекше маңыздылығына байланысты гендер әртүрлі өсімдік түрлерінде сипатталды, соның ішінде нан бидайына қатысты зерттеулерде көп [196, 197].



Сурет 50 – Алыс қашықтыққа Fe-дің тасымалдаушыларын, аккумуляциясы мен жасушаішілік Fe тасымалдаушыларын кодтайтын гендердің экспрессия деңгейлеріндегі айырмашылықтар

Біз ұсынған *TaNRAMP* жапырақта және тамырда экспрессиялану

нәтижелерін қарастырғанда, жапырақта шамалы басымдылық көрсетті. Генотиптер бойынша, М/1 мутантты линияның тамырындағы *TaNRAMP* экспрессиясының айтарлықтай жоғарылауын 50С -суреттен айқын байқауға болады (1,4 есе) (Сурет 50С). Мұндай экспрессия олардың бидай биофортификациясындағы рөлін білдіруі мүмкін, бірақ Fe-ді сіңіруге немесе тасымалдауға қатысатын гендердің потенциалымен салыстырғанда аз дәрежеде. Алайда, өсу кезінде Fe жетіспесе *TaNRAMP* экспрессиясының жоғарылайтыны эксперименттерде көрсетілген [198]. Өсімдік ферритині – кең таралған белок, оның синтезі Fe күйімен бақыланады. Дәнді дақылдарда, ферритин, Fe артық мөлшердегі жағдайында, темір жинақтайтын қор белогы ретінде болады, ал металл жетіспеушілігі кезінде ол Fe-ді шығару қызметін атқарады [199]. Дәнді дақылдарда Fe гомеостазында Fe бос күйінде бос радикалдардың түзілуін тудыруы мүмкін, осылайша өсімдіктің зақымдалуына себеп болады. Әдебиеттерде көрсетілгендей, Fe қор ретінде ферритинде өте аз мөлшерлерде кездеседі; қалған металдың көп бөлігі вакуольдерде сақталынады [200].

Бидайдың мутантты линиялардың дәндеріндегі Fe мөлшеріне байланысты, жапырақтағы *TaFer1A-D* (Та.5220) экспрессиясы Эритросперум-35 сортымен салыстырғанда, М/1 мутантты линияда 3,5 есеге артты, бірақ М/2 мутантты линиясында бұл геннің экспрессиясы маңызды көрсеткіш көрсетпеді (Сурет 50Д). Бұл жауап мутантты линияның металды секвестрлеу нәтижесі, биофортификация қабілетін күшейтіндігін көрсетеді.

Эритросперум-35 сортының негізінде дәндерінің Fe және Zn мөлшері жоғарылаған мутантты линиялардың темір гомеостазына қатысатын тамыр мен жапырақтағы гендердің экспрессиясының ерекшелігі зерттелді. Генотипке және органға тән ген экспрессиясында, темірді сіңіру (*TaSAMC*, *TaHAC1*, *TaHAAT2-B*, *TaДМҚС1-А* және *TaМКТ*), транслокация (*TaYSL* және *TaVIT2*), темір жинақтаушы белоктар (*TaNRAMP* және *TaFer1A-D*) және транскрипциялық факторы (*TabHLH*) туралы жаңа түсініктер қалыптасты. Бидайдың *TaSAMC*, *TaHAC1* және *TaДМҚС* гомологты гендер экспрессиясы бастапқы сортпен салыстырғанда зерттелген екі мутантты линиялар тамырында 2,1-4,7 есеге, *TaYSL* және *TaVIT2* экспрессиясы 1,3–2,7 есеге айтарлықтай жоғарлады. Осылайша, бидайдың М₅ мутантты линияларда Fe/Zn жоғары мөлшерлерімен байланысты тамырдағы *TaSAMC*, *TaHAC1*, *TaHAAT2-B*, *TaДМҚС1-А* және *TaМКТ* гендерінің біріктірілген экспрессиясы айтарлықтай жоғарылағаны анықталды. Ең жоғары мәндер *TabHLH* транскрипциялық факторында тіркелді, мутантты линиялардың тамырында 13,1- және 30,2-есеге жоғары экспрессияланды.

ҚОРЫТЫНДЫ

1. ^{60}Co гамма сәулелесінің 100 Гр- және 200 Гр- дозаларымен өңдеу арқылы жаздық бидайдың генетикалық әр түрлілігін кеңейту нәтижесінде Жеңіс, Алмакен, Эритросперум-35 генетикалық тұрақты жаңа мутантты линияларды шығарылды.

2. 100 Гр және 200 Гр дозаларымен сәулеленген мутантты линияларды бастапқы сорттармен салыстырғанда өнімділік компоненттері жоғары генотиптер идентификацияланды. Өсімдіктің жалпы дән массасы және 1000 дәннің массасы ең көп мутациялық өзгеріске ұшырады. Үш түрлі гермоплазманың ішінен, 10 M_5 мутантты линиялардың (11,1%) масақ дәндерінің саны, жалпы өсімдіктегі дән массасы және 1000 дән массасы жоғарлады, 19 мутантты линияның (21,1%) жалпы өсімдіктегі дән массасы, 1000 дәннің массасы бойынша бастапқы сорттармен салыстырғанда айтарлықтай ұлғайды.

3. Жеңіс, Алмакен, Эритросперум-35 мутантты линиялар және олардың бастапқы сорттарының дәннің морфометриялық параметрлері (ұзындығы, ені, ауданы) сипатталды. Дәнінің ауданы және ұзындығы өзгермелі фенотиптік белгілер болды. Үш түрлі шығарылған гермоплазманың ішінде, Алмакен 200 Гр-дозасымен өңделген мутантты линиялар дәнінің ауданы (39-41,3%) жоғарлады. Жалпы мутантты линиялар дәнінің ұзындығы мен ені бастапқы сорттармен салыстырғанда 7,6-34,9% және 11,8- 34,4% артты. Морфометриялық параметрлер үшін гамма сәулесінің 100 Гр-дозамен өңдеуге қарағанда, 200 Гр-дозасымен өңдеу тиімді болды.

4. Дәндері микронутриентпен (белок, Fe және Zn мөлшері) биофортификацияланған мутантты линиялар идентификацияланды. Бастапқы сорттармен салыстырғанда дәннің белоктарының артуы (3,4-16,9%) Жеңіс (43%), Алмакен (36,7%) және Эритросперум-35 (36,7%) M_5 мутантты линияларында анықталды. Гамма сәулеленген мутантты линияларда Fe және Zn мөлшерінде үлкен генетикалық өзгерістер табылды. Дәндегі металдардың елеулі жинақталуы Fe 46,4-111,3 мг/кг және Zn 50,6-106,2 мг/кг деңгейінде болды. Дәндегі Fe мөлшері ең жоғары мән 200 Гр- мутантты гермоплазмада анықталды және бастапқы сорттардан 3-4 есеге жоғарлады. Үш түрлі 200 Гр-мен өңделген гермоплазманың ішінде мутантты линиялардың көпшілігінде бір мезгілде Fe және Zn мөлшері айтарлықтай жоғарлауы байқалды.

5. Эритросперум-35 144(1) және 153(5) мутантты линияларының дәндерін Перлс пруссиялық және Дитизонат бояумен өңдегенде Fe және Zn алейрон және эндоспермда жоғары шоғырланғаны анықталды.

6. Мутантты линиялардың өнімділік компоненттері, дәннің морфометриялық параметрлері және микроэлементтердің мөлшерлері арасында айтарлықтай оң байланыс табылды. Жеңіс және Алмакен 200 Гр-мен дозаланған мутантты линияларда белок мөлшері мен дәннің барлық морфометриялық параметрлері арасындағы корреляция $r^2 = 0,11-0,25$ ($p < 0,05$) мәнін көрсетті. Бұл нәтижелер дәнінің белок мөлшерін ұлғайту потенциалын жақсарту үшін дәнінің морфометриялық параметрлері жоғарлайтындығын көрсетеді. Алмакен гамма

100 Гр- сәулесімен өңделген мутантты линиялардың дәніндегі темір мөлшері өнімділік компоненттерімен, 1000 дәннің массасымен корреляция $r^2 = 0,15$, ($p < 0,01$) және жалпы өсімдіктің дән массасымен $r^2 = 0,30$ ($p < 0,001$) мәндерін көрсетті. Жеңіс, Алмакен 200-Гр дозасымен өңделген мутантты линияларда Fe және Zn мөлшері, дән ауданымен айтарлықтай корреляцияланды. Жеңіс, Эритросперум-35 200 Гр-мен және Алмакен, Эритросперум-35 100 Гр-мен өңделген мутантты линияларда Fe және Zn мөлшері арасында корреляция $r^2 = 0,22$, $p < 0,05$ және $r^2 = 0,15-0,42$, $p < 0,001$ мәндері анықталды. Бұл нәтиже металлдардың жинақталуы, бір локуспен бақыланатынын көрсетеді.

7. Дәндердегі фитин қышқылының (ФҚ, негізгі антинутриенті) мөлшерін талдауда, үлкен генетикалық өзгергіштік мутантты линиялардың арасында байқалды (үш түрлі гермоплазмада оның диапазоны 172,3–883,0 мг/кг.). 200 Гр-мен шығарылған Жеңіс және 100 Гр-мен өңделген Алмакен мутантты линияларда фитин қышқылының мөлшері 1,1-5,8 есеге азайғандығы анықталды. Дәннің микронутриенттердің биосіңімділігі фитин қышқылының мөлшерімен тығыз байланысты. Металдың және ФҚ молярлық қатынасы (ФҚ:Метал) ретінде өрнектелді. Мутантты линиялардың ФҚ:Fe және ФҚ:Zn молярлық қатынасының өзгергіштігі 1,14–14,5 және 0,9–13,0 екендігі анықталды. Гамма радиациясы арқылы микронутриенттері биофортификацияланған мутантты линиялардағы микроэлементтердің биожетімділігі сәйкесінше, 1-8,7 және 1,1-7,9 есе артты. Бұл линиялар адамның дұрыс тамақтануы үшін қаншалықты пайдалы болатынын көрсетеді.

8. Эритросперум-35 сортының негізінде дәндерінің Fe және Zn мөлшері жоғарылаған мутантты линиялардың Fe гомеостазына қатысатын тамыр мен жапырақтағы гендердің экспрессиясының ерекшелігі табылды. Генотипке және органға тән ген экспрессиясында, темірді сіңіру (*TaSAMC*, *TaHAC1*, *TaHAAT2-B*, *TaДМҚС1-А* және *TaМҚТ*), транслокация (*TaYSL* және *TaVIT2*), темір жинақтаушы белоктар (*TaNRAMP* және *TaFer1A-D*) және транскрипциялық фактор (*TabHLH*) туралы жаңа түсініктер қалыптасты. Бидайдың *TaSAMC*, *TaHAC1* және *TaДМҚС1-А* гомологты гендер экспрессиясы бастапқы сортпен салыстырғанда зерттелген екі мутантты линияның тамырында 2,1-4,7 есеге, *TaYSL* және *TaVIT2* экспрессиясы 1,3–2,7 есеге айтарлықтай жоғарлады. Осылайша, бидайдың M_5 мутантты линияларда жоғары Fe/Zn мөлшерлерімен байланысты тамырға тән *TaSAMC*, *TaHAC1*, *TaHAAT2-B*, *TaДМҚС1-А* және *TaМҚТ* гендерінің біріктірілген экспрессиясы айтарлықтай жоғарылағаны анықталды. Ең жоғары мәндер *TabHLH* транскрипциялық факторында тіркелді, мутантты линиялардың тамырында 13,1 және 30,2 есеге артық экспрессияланды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. FAO Statistical Yearbook: World food and agriculture, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. -2013
2. FAO Statistics, Food and Agriculture Organization of the United Nations,” – Rome, – 2008. <http://faostat.fao.org/>.
3. Balyan H. S., Gupta P. K., Kumar S., Dhariwal R., Jaiswal V., Tyagi S., Agarwal P. et al. Genetic improvement of grain protein content and other health-related constituents of wheat grain // Plant Breed. –2013. –Vol. – №132. –P.446–57.
4. Nuttall J. G., Leary G. J., Panozzo J. F., Walker C. K., Barlow K. M., Fitzgerald G.J. Models of grain quality in wheat // Elsevier. – 2017. – Vol. 15. – P136-145
5. Lafiandra D., Riccardi G., Shewry P.R. Improving cereal grain carbohydrates for diet and health // J. Cereal Sci. – 2014. –Vol.59. – P.312-326.
6. Monaghan J.M., Snape J.W., Chojecki A.J.S., Ketlewell P.S. The use of grain protein deviation for identifying wheat cultivars with high grain protein concentration and yield // Euphytica. –2001.–122. – pp. 309-317.
7. Brevis, J. C., and J. Dubcovsky. Effect of chromosome region including the Gpc-B1 locus on wheat protein and protein yield // Crop Science. –2010. – 50. –PP.93–104. doi:10.2135/cropsci2009.02.0057.
8. Kenzhebayeva S., Turasheva S., Doktyrbay G., Buestmayr H.,. Atabayeva S., Alybayeva R.. Screening of mutant wheat lines to resistance for Fusarium head blight and using SSR markers for detecting DNA polymorphism. In Mutagenesis: exploring genetic diversity of crops, edited by N. B. Tomlekova, M. I. Kozgar, and M. R. Wani, Wageningen Academic Publishers. – 2014. –PP. 253-264.
9. Gupta R. K., Gangoliya Sh.S and Singh N.K. Reduction of phytic acid and enhancement of bioavailable micronutrients in food grains // J. Food Sci. Technol.–2015. № 52(2). pp. 676–684.
10. Saule Kenzhebayeva, Saule Atabayeva, Fatma Sarsu, Alfiya Abekova, Sabina Shoinbekova, Nargul Omirbekova, Gulina Doktyrbay, Aizhan Beisenova and Yuri Shavrukov Organ-specific expression of genes involved in iron homeostasis in wheat mutant lines with increased grain iron and zinc content// PeerJ, 2022, – pp:1-25. · DOI: 10.7717/peerj.13515.
11. FAO. Statistical Pocket Book: World Food and Agriculture; FAO: Rome, Italy, 2015.
12. Campos-Bowers M. H., Wittenmyer B. F. Biofortification in China: policy and practice // Health Research Policy and Systems. – 2007. – Vol.5.–pp.1-7.
13. WHO, Malnutrition worldwide. World health organization, – Geneva. – 1999. – pp. 1-13.
14. Ramakrishnan U., Manjrekar R., Rivera J., Gonzales-Cossio T., Martorell R. Micronutrients and pregnancy outcome: a review of the literature // Nutrition Research. – 1999. –Vol.19. – pp. 103-159
15. Graham R.D., Welch R.M., Bouis H.E., Ad-dressing micronutrient malnutrition through enhancing the nutritional quality of staple foods: principles,

perspectives and knowledge gaps // *Advances in Agronomy*. – 2001. – Vol.70. – P. 77-142.

16. UNICEF/ Micronutrient Initiative. –2004.

17. Fan M.S., Zhao F.J., Fairweather. Tait S. J., Poulton P. R., Dunham S.J., McGrath S. P. Evidence of decreasing mineral density in wheat grain over the last 160 years // *J. Trace Elem Med Bio.*–2008. –Vol. 22. –pp.315-324. doi: 10.1016/j.jtemb.2008.07.002.

18. Zhao F.J., Su Y.H., Dunhama S.J., Rakszegi M., Bedo Z., McGrath S.P., Shewry P.R. Variation in mineral micronutrient concentrations in grain of wheat lines of diverse origin // *Journal of Cereal Science*. – 2009, 49, pp.290–295

19. Rawat N., Tiwari V.K., Singh N., Randhawa G.S and Singh K. Evaluation and utilization of Aegilops and wild Triticum species for enhancing iron and zinc content in wheat // *Genet. Resour Crop Evol.*–2009. Vol.56.–pp.53–64.

20. Suprasanna P., Vitthal S.B., Yadav P.V. In vitro Mutagenesis and Selection in Plant Tissue Cultures and Their Prospects for Crop Improvement. In book: *Bioremediat. Biodivers and Bioavailab.* – 2012, Edition: 6, Issue 1, – pp. 6–14.

21. Avivi L. Utilization of Triticum dicoccoides for the improvement of grain protein quantity and quality in cultivated wheat. Israel-Italian Joint Meet. *Genet. Breed // Crop Plants, Rom Mon. Genet. Agr.* – 1978. –pp.27-38.

22. Parry M. A. J., Madgwick P. J. C., Tearall B. K., Hernandez-Lopez A., Baudo M., Rakszegi M. Mutation discovery for crop improvement // *Journal of Experimental Botany*. –2009. –Vol.60. –pp. 2817- 2825. doi:10.1093/jxb/erp189

23. Ahloowalia B.S., Maluszynski M., Nichterlein K. Global impact if mutation-derived varities // *Euphytica* –2004. – Vol.135. – P. 187-204.

24. Jain S.M. Mutagenesis in crop improvement under the climate change // *Romanian Biotechnological Letters*. – 2010. – Vol.15. – №.2. – P.88-106.

25. Shu Q.E., Lagoda, P. L. Mutation techniques for gene discovery and crop improvement. *Molec // Plant Breeding*, – 2007. –V.5. –P.193-195.

26. Maluszynski M., Szarejko I., Bhatia C. R., Nichterlein K and Lagoda P. J. L. Methodologies for generating variability. In *Plant breeding and farmer participation. Food and agriculture organization of the United Nations*, ed. Ceccarelli S., Guimarães E. P., and Weltzien E.– Rome,– Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) – 2009. – P.159 - 94.

27. FAO/IAEA Database of Mutant Variety and Genetic Stock: Radiation Safety Manual: (<http://mvgs.iaea.org>).– 2009.

28. FAO/IAEA Mutant Variety Database. Mutation induction for breeding. International Atomic Energy Agency, Vienna; – 2011. Laboratory Protocols. (<http://mvgs.iaea.org/>).

29. Sakin M.A., Yildirim A and Gokmen S. Determining some yield and quality characteristics of mutants induced from a durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivar. *Turk // J. Agric.* –2005.–29. – pp. 61-67.

30. Ahloowalia B. S and Maluszynski M. Induced Mutations—A New Paradigm in Plant Breeding // *Euphytica*, –Vol.118, –No.2, –2001, –pp.167-173. doi:10.1023/A:1004162323428.

31. Shu Q.Y., Forster B.P., Nakagawa H. Plant Mutation Breeding and Biotechnology. International Atomic Energy Agency. –Vienna. –Austria. – 2012; pp. 1–595. DOI 10.1079/9781780640853.0000.
32. Breen A.P., Murphy J.A. Reactions of oxyl radicals with DNA // Free Radic. Biol.Med.–1995.–No.18.–P.1033–1077.
33. Stadler L.J., Mutations in barley induced by X-rays and radium // Science 68. –1928.–P.186–187.
34. Crowther J. A. Some considerations relative to the action of X-rays on tissue cells // Proceedings of the Royal Society London B96, –1924. –P. 207-211.
35. Stanford, W. L., Cohn, J. B. and Cordes, S. P. Genetrap mutagenesis: past, present and beyond // Nature reviews genetics, – 2011, –Vol.2. –No.10, – pp. 756-768.
36. National Research Council (US). Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR V). Washington (DC) // National Academies Press (US),– 1990. DOI: 10.17226/1224.
37. Obodovskiy I. Chapter 2-Nuclei and Nuclear Radiations. Radiation. – 2019, – pp. 41–62
38. Roychowdhury R., Tah J. Mutagenesis a potential approach for crop improvement. In: Hakeem K R., Ahmad P., Ozturk M. Crop improvement: new approaches and modern techniques// Springer. – New York. – 2013. – PP. 149-187.
39. Yusuff O., Mohd Y R., Norhani A., Ghazali H., Asfaliza R., Rahim H A., Gous M & Magaji U. Principle and application of plant mutagenesis in crop improvement: a review // Biotechnology & Biotechnological Equipment. –2016.– Vol. 30, – Issue 1.– pp. 1-16.
40. Mba. C., Afza. R., Shu. Q.Y. Mutagenic radiations: X-rays, ionizing particles and ultraviolet. In Plant Mutation Breeding and Biotechnology; Shu, Q.Y., Forster, B.F., Nakagawa, H., CAB International and FAO: Rome, – Italy, – 2012; pp. 83–106.
41. Esnault, M.A., Legue, F., Chenal, C. Ionizing Radiation: Advances in Plant Response. Environ // Exp. Bot. – 2010, № 68, –pp 231–237.
42. Issa Piri., Mehdi Babayan., Abolfazl Tavassoli and Mehdi Javaheri. The use of gamma irradiation in agriculture // African Journal of Microbiology Research. – 2011. – Vol. 5(32), – pp. 5806-5811.
43. Lupu M., Pădureanu V. Grinding grain, – Transilvania University of Brasov Publishing. –2012, ISBN 978-60619-0175-3.
44. Gegas V. C., Nazari A., Griffiths S., Simmonds J., Fish L., Orford S., Sayers L., Doonan J. H and Snape J. W. A genetic framework for grain size and shape variation in wheat // Plant Cell. – Issue 22. – 2010. –pp.1046-1056.
45. Ramya, P., Chaubal, A., Kulkarni, K., Gupta, L., Kadoo, N., Dhaliwal, H.S., Chhuneja, P., Lagu. M and Gupta. V. QTL mapping of 1000-kernel weight, kernel length, and kernel width in bread wheat (*Triticum aestivum L*) // J. Appl. Gen. –2010. 51(4). – pp.421-429.
46. Yoav Voichekand Detlef Weigel. Identifying genetic variants underlying phenotypic variation in plants without complete genomes//Nat Genet. -2020. – Vol.52(5). –pp.534–540.

47. Patil R.M., Tamhankar S.A., Oak M.D., Raut A.L., Honrao B.K., Rao V.S., and Misra S.C. Mapping of QTL for agronomic traits and kernel characters in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) // *Euphytica*. –2013. –Vol.190. –pp.117– 129.
48. Russo M.A., Ficco D.B.M., Laido G., Marone D., Papa R., Blanco A., Gadaleta A., De Vita P and Mastrangelo A.M. A dense durum wheat × *T. dicoccum* linkage map based on SNP markers for the study of seed morphology // *Mol. Breed.* – 2014. –Vol. 34. –pp.1579–1597.
49. Wu Q.H., Chen Y.X., Zhou S.H., Fu L., Chen J.J. High-Density Genetic Linkage Map Construction and QTL Mapping of Grain Shape and Size in the Wheat Population Yanda1817 × Beinong6 // *PLoS One*.–2015. –Vol. 12. – №10(2). –pp.118–144.
50. Breseghello F and Sorrells M.E. QTL analysis of kernel size and shape in two hexaploid wheat mapping populations // *Field Crops Res.* –2007. –Vol.101. –P.172–179. doi.org/10.1016/j.fcr.2006.11.008.
51. Echeverry-Solarte M., Kumar A., Kianian S., Simsek S., Alamri M.S., Mantovani E.E., McClean P.E., Deckard E.L., Elias E., Schatz B., Xu S.S., and Mergoum M. New QTL alleles for quality-related traits in spring wheat revealed by RIL population derived from supernumerary × nonsupernumerary spikelet genotypes // *Theor Appl Genet.* –2015. –Vol.128. – № 5. –pp.893-912. doi: 10.1007/s00122-015-2478-0.
52. Ramya P., Chaubal A.C., Kulkarni K.P., Gupta L., Kadoo N.Y., Dhaliwal H.S., Chhuneja P., Lagu M.D and Gupta V.S. QTL mapping of 1000-kernel weight, length, and width in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) // *J. Appl. Genet.* –2010. –Vol.51. – P.421-429. doi: 10.1007/BF03208872.
53. Zhang K., Wang J., Zhang L., Rong C., Zhao F., Peng T., Li H., Cheng D., Liu X., Qin H., Zhang A., Tong Y and Wang D. Association analysis of genomic loci important for grain weight control in elite common wheat varieties cultivated with variable water and fertiliser supply // *PLoS ONE*. –2013. –Vol.8. –P.57853. doi:10.1371/journal.pone.0057853.
54. Prashant R., Kadoo N., Desale C., Kore P., Dhaliwal H.S, Chhuneja P and Gupta V. Kernel morphometric traits in hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.) are modulated by intricate QTL × QTL and genotype × environment interactions // *J. Cereal Sci.* –2012. –Vol.56. –pp.432–439. doi.org/10.1016/j.jcs.2012.05.010.
55. Williams K and Sorrells M.E. Three-Dimensional seed size and shape QTL in hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L) populations // *Crop Sci.* –2013. –Vol. 54. –pp. 98–110.
56. Rasheed A., Xia X., Ogonnaya F., Mahmood T., Zhang Z., MujeebKazi A and He Z. Genome-wide association for grain morphology in synthetic hexaploid wheats using digital imaging analysis // *BMC Plant Biol.* –2014.–Vol. 14.–P.128.
57. Dubcovsky J., Dvorak J. Genome plasticity a key factor in the success of polyploid wheat under domestication // *Science*. –2007. –Vol. 316. –PP. 1862–1866.
58. Schofield D., Evers A. D. Grain size and morphology: Implications for quality. In *Wheat Structure, Biochemistry and Functionality*, Schofield D (London: Royal Society of Chemistry), –2000. –pp. 19–24

59. Кенжебаева С.С., Доктырбай Г., Атабаева С.Д., Алыбаева Р.А., Ташенев Д.К., Байболова Т., Асрандина С.Ш., Шоиынбекова С.А. Фенотипический скрининг М₅ мутантных линий яровой пшеницы, созданных на генетической основе сорта Женис, по площади зерна // Журнал «Хабаршы» эл-Фараби атындағы ҚазҰУ. – қ. Алматы. –2015. №1(63). –Ст.106-110

60. Каукаева Г.Ж, Доктырбай Г., Нармуратова Ж., Калдыбекқызы Г., Арынбекова Ж.Т. Бидайдың М4 Жаңа мутанты жеңіс линияларына құрылымдық скрининг жүргізілуі // International Conference of Students and Young Scientists “World of Science”. –Almaty, Kazakhstan. –2013.–P.208

61. Khan I.A., Procunier J.D., Humphreys D.G., Tranquilli G., Schlatter A.R., Mar-cucci-Poltri S., Frohberg R., Dubcov-sky J. Development of PCR–based markers for a high grain protein content gene from *Triticum turgidum ssp.dicocoides* transferred to bread wheat // Crop Sci. – 2000. – Vol. 40. – PP.518-524. doi.org/10.2135/cropsci2000.402518x.

62. Gonzalez-Hernandez J.L., Elias E.M., Kianian S.F. Mapping genes for grain protein concentration and grain yield on chromosome 5B of *Triticum turgidum* (L.) var. *dicocoides* // Euphytica. – 2004. – Vol. 139. – P.217-225

63. Daniel C., Triboi E. Effects of temperature and nitrogen nutrition on the grain composition of winter wheat: effects on gliadin content and composition // J. Cereal Sci. –2000. –Vol. 32. –P. 45-56. doi.org/10.1006/jcrs.2000.0313

64. Lopez-Bellido R.J., Lopez-Bellido L. Efficiency of nitrogen in wheat under Mediterranean conditions: effect of tillage, crop rotation and N fertilization // Crop. Res. –2001.–Vol.71.–P. 31-46. doi:10.1016/S0378-4290(01)00146-0

65. Tea I., Genter T., Naulet N., Boyer V., Lummerzheim M., Kleiber D. Effect of foliar sulfur and nitrogen fertilization on wheat storage protein composition and dough mixing properties // Cereal Chem. –2004. –Vol.81. –P.759-766. doi.org/10.1094/CCHEM.2004.81.6.759

66. Blanco A., Mangini G., Giancaspro A., Giove S., Colasuonno P., Simeone R., Signorile A., De Vita P., Mastrangelo A. M., Cattivelli L., Gadalet A. Relationships between grain protein content and grain yield components through quantitative trait locus analyses in a recombinant inbred line population derived from two elite durum wheat cultivars // Molecular Breeding. –2012. –Vol. 30, Issue 1, –P. 79–92.

67. Triboi E., Martre P., Girousse C., Ravel C., and Triboi Blondel A. M. Unravelling environmental and genetic relationships between grain yield and nitrogen concentration for wheat // European Journal of Agronomy. –2006. – Vol.25 (2). –P. 108-118. doi.org/10.1016/j.eja.2006.04.004.

68. Randhawa H. S., Asif M., Poznaik C., Clarke J. M., Graf R. J., Fox S. L., D Humphreys. G., Knox R. E., DePauw R. M., Singh A. K., Cuthbert R. D., Hucl P., and Spaner D. Application of molecular markers to wheat breeding in Canada // Plant Breed-ing. – 2013. –Vol. 132(5). –P. 458-471. doi.org/10.1111/pbr.12057

69. Bogard M., Aharil V., Brancourt-Hairnet M. Deviation from the grain protein concentration - grain yield negative relationship is highly correlated to post-anthesis N uptake in winter wheat // J. Exp. Bot. –2010. –Vol. 61. –P. 4303-4312. doi.org/10.1093/jxb/erq238.

70. Barbottin A., Lecomie C., Bouchard C., Jeuffroy M.H. Nitrogen remobilization during grain filling in wheat: Genotypic and environmental effect // *Crop Sci.* –2005. – Vol. 45. – P. 1141-1150. doi.org/10.2135/cropsci2003.0361
71. Shearman V.J., Sylvester-Bradley R., Scott R.K., Foulkes M.J. Physiological changes associated with wheat yield progress in the UK // *Crop Sci.* – 2005. – Vol. 45. – P. 175-178. https://doi.org/10.2135/cropsci2005.0175a.
72. Bertrand Hire., Jacques Le., Gouis Bertr and NeyAndré Gallais. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches // *Journal of Experimental Botany.* –2007. –Vol. 58, Issue 9. –P. 2369–2387. https://doi.org/10.1093/jxb/erm097.
73. World Health Organization. World health report. –Geneva. – The Organization. –2002.
74. WHO. Malnutrition worldwide. Switzerland: World Health Organization. http:// www.who.int/nut/malnutrition_worldwide.htm. –1999. –pp.1–13.
75. Caballero B. Global patterns of child health: the role of nutrition– *Annuals of Nutrition and Metabolism.* –2002. –Vol. 46. –P. 3-7. DOI: 10.1159/000066400.
76. World Bank. The challenge of dietary deficiencies of vitamins and minerals. In: *Enriching lives: overcoming vitamin and mineral malnutrition in developing countries.* – Washington DC. – World Bank. –1994. –PP. 6–13.
77. Prasad AS. Zinc: mechanisms of host defense // *J Nutr.* –2007. –Vol.137(5). – P.1345-9. DOI: 10.1093/jn/137.5.1345
78. Bouis H.E., Hotz C., McClafferty B., Meenakshi J.V., Pfeiffer W.H. Biofortification: a new tool to reduce micronutrient malnutrition // *Food Nutr. Bull.* – 2011. –Vol. 32. –P. 31S-40S. DOI: 10.1177/15648265110321S105
79. White P.J., Broadley M.R. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets -iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine // *New Phytol.* –2009. –Vol.182. –P. 49-84.
80. Rengel Z., Batten G. D., and Crowley D. E. Agronomic approaches for improving the micronutrient density in edible portions of field crops // *Field Crops Res.* –1999.–Vol.60.–pp.27-40. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(98)00131-2.
81. Hanaa Mahdy Abouzied., Samah M. M. Eldemery and Kamal Fouad Abdellatif. SSR- Based Genetic Diversity Assessment in Tetraploid and Hexaploid Wheat Populations // *British Biotechnology Journal.* –2013. –Vol. 3(3). –pp. 390-404. DOI: 10.9734/BBJ/2013/4340.
82. Tang J. W., Zou C. Q., He Z. H., Shi R and Ortiz-Monasterio, I. Mineral element distributions in milling fractions of Chinese wheats // *J. Cereal Sci.* -2008. - 48. –pp.821-828. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.06.008.
83. Pomeranz Y and Dikeman E. Minerals and protein contents in hard red winter wheat flours // *Cereal Chem.* -1983. -60. –pp. 80-82.
84. Peterson C. J., Johnson V. A Mattern P. J. Influence of cultivar and environment on mineral and protein concentrations of wheat flour, bran, and grain // *Cereal Chem.* -1986. -63. –pp. 183-186.

85. Graham R. D., Ascher J. S and Hynes, S. C. Selection of zinc-efficient cereal genotypes for soils of low zinc status // *Plant Soil*. –1992. – 146. -pp.241-250
86. Welch, R. M. Micronutrients, agriculture and nutrition; linkages for improved health and well being. in: *Perspectives on the Micronutrient Nutrition of Crops*. K. Singh, S. Mori, and R. M. Welch, eds. Scientific Publisher: Jodhpur, India. – 2001. – pp. 247-289.
87. Cakmak I., Torun A., Millet E., Feldman M., Fahima T., Korol A., Nevo E., Braun H. J and Ozkan H. *Triticum dicoccoides*: An important genetic resource for increasing zinc and iron concentration in modern cultivated wheat // *Soil Sci. Plant Nutr*. -2004. -50. –pp.1047-1054. <https://doi.org/10.1080/00380768.2004.10408573>.
88. Garvin D. F., Welch R. M and Finlay J. W. Historical shifts in the seed mineral micronutrient concentration of U.S. hard red winter wheat germplasm // *J. Sci. Food Agric*. -2006. -86. –pp.2213-2220. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2601>.
89. Qury F.X., Leenhardt F., Remesy C., Chanliaud E., Duperrier B., Balfourier F and Charmet G. Genetic variability and stability of grain magnesium, zinc and iron concentrations in bread wheat // *Eur J. Agron*.-2006.- 25. –pp. 177-185. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.04.011>.
90. Ficco D. B. M., Riefolo C., Nicasastro G., De Simone V., Di Gesù A. M., Beleggia R., Platani C., Cattivelli L and De Vita P. Phytate and mineral elements concentration in a collection of Italian durum wheat cultivars // *Field Crops Res*.-2009.- 111. – pp. 235-242. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.12.010>.
91. Cakmak I., Ozkan H., Braun H. J., Welch R. M and Romheld V. Zinc and iron concentrations in seeds of wild, primitive and modern wheats // *Food Nutr Bull*. -2000. -21. –pp. 401-403. <https://doi.org/10.1177/156482650002100411>.
92. Brian J. Alloway. *Zinc in Soils and Crop Nutrition*. Second edition, published by IZA and IFA Brussels, Belgium and Paris, – France, – 2008.
93. Peleg Z., Saranga Y., Yazici M. A., Fahima T., Ozturk. L and Cakmak I. Grain zinc, iron and protein concentrations and zinc-efficiency in wild emmer wheat under contrasting irrigation regimes // *Plant Soi*. – 2008. – 306. – pp. 57-67.
94. Gomez-Becerra H.F., Yazici A., Ozturk L., Budak H., Peleg Z., Morgounov A., Fahima T., Saranga Y., Cakmak I. Genetic variation and environmental stability of grain mineral nutrient concentrations in *Triticum dicoccoides* under five environments // *Eu-phytica*. – 2010. –Vol.171(1). –P.39–52.
95. Velu G., Ortiz-Monasterio I., Cakmak I., Hao Y., Singh R.P. Biofortification strategies to increase grain zinc and iron concentrations in wheat // *Journal of Cereal Sci-ence*. –2013. –Vol.59. –P.365-372. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.09.001>.
96. Kang M. S., and Banga S. S. Global agriculture and climate change // *Journal Crop Improvement*. –2013. –Vol.27.–P.667–92. DOI:10.1080/15427528.2013.845051.
97. Kenzhebayeva S., Доктырбай Г., Alybaeva R., Atabayeva S., Doktyrbay G., Kaldybekkyzy G., Asrandina S. A mutagenesis-derived broad-spectrum quality and quantity protein in spring wheat // *World Biotechnology Congress*, June 3-6. –2013. – Boston. – MA. –USA .

98. Khali M. F., Hussain M., Rehman A. U., Shahzad M. A., Sharif M., & Rahman Z. U. Broiler Performance in Response to Phytate and Supplemented Phytase // *Iranian Journal of Applied Animal Science*. –2013. – 3.pp. 1-12.
99. Feil B. Phytic acid // *J New Seeds*. –2001. –3. –pp.1–35. doi: 10.1300/J153v03n03_01.
100. Cowieson A. J., Acamovic T., & Bedford M. R. The effects of phytase and phytic acid on the loss of endogenous amino acids and minerals from broiler chickens//*British Poultry Science*. –2004. –45. –pp.101-108. <https://doi.org/10.1080/00071660410001668923>
101. Ravindran V., Bryden W. L., & Kornegay E. T. Phytates: occurrence, bioavailability and implications in poultry nutrition // *Poultry and Avian Biology Reviews*. –1995. – 6. – pp.125-143.
102. Urbano G, Lopez-Jurado M, Aranda P, Vidal-Valverde C, Tenorio E, Porres J. The role of phytic acid in legumes: antinutrient or beneficial function // *J Physiol Biochem*. – 2000.56. –pp.283–294. doi: 10.1007/BF03179796.
103. Jongbloed A. W., Kemme P. A., Mroz Z & Van D. H. Efficacy, use and application of microbial phytase in pig production: a review. In: Lyons, T.P.and K.A.Jacques (Eds) // *Biotechnology in the Feed Industry, Proc.Alltech's 16th Annu.Symp Nottingham Uni. Press*, –2000. – pp. 111-129.
104. McDonald P., Greenhalgh J. F. D & Morgan C. A // *Animal nutrition*. –Essex: Pearson Education Canada.–2011. –7th ed.–p. 712.
105. Rutherford S. M., Chung T. K., Morel P. C & Moughan P. J. Effect of microbial phytase on ileal digestibility of phytate phosphorus, total phosphorus and amino acids in a low-phosphorus diet for broilers // *Poultry Science*. – 2004. – 83. – pp.61-68. DOI: 10.1093/ps/83.1.61
106. Woyengo T. A., Cowieson A. J., Adeola O & Nyachoti C. M. Ileal digestibility and endogenous flow of minerals and amino acids: responses to dietary phytic acid in piglets // *British Journal of Nutrition*. –2009. –102. –pp.428-433.
107. Ravindran V., Morel P. C., Partridge G. G., Hruby M., & Sands J. S. Influence of an *Escherichia coli*-derived phytase on nutrient utilization in broiler starters fed diets containing varying concentrations of phytic acid // *Poultry Science*. –2006. – 85.–pp. 82-89. DOI: 10.1093/ps/85.1.82
108. Smits C. H., Veldman A., Verstegen M. W & Beynen A. C. Dietary carboxymethylcellulose with high instead of low viscosity reduces macronutrient digestion in broiler chickens // *The Journal of nutrition*. –1997. –127.–pp. 483-487. doi: 10.1093/jn/127.3.483.
109. Kumar V., Sinha A. K., Makkar H. P & Becker K. Dietary roles of phytate and phytase in human nutrition // A review. *Food Chemistry*. –2010. – 120. –pp.945-959. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.11.052>.
110. Ravindran V., Cabahug S., Ravindran G., Selle P. H & Bryden W. L. Response of broiler chickens to microbial phytase supplementation as influenced by dietary phytic acid and non-phytate phosphorous levels. II. Effects on apparent metabolisable energy, nutrient digestibility and nutrient retention // *British Poultry Science*.–2000. – 41.–pp.193-200. DOI: 10.1080/00071660050022263.

111. Liu N., Ru Y. J., Li F. D., Wang J. P & Lei X. Q. Effect of dietary phytate and phytase on proteolytic digestion and growth regulation of broilers // *Archives of Animal Nutrition*.–2009.– 63.–pp. 292-303. DOI: 10.1080/17450390903020422
112. Selle P. H., Cowieson A. J., Cowieson N. P & Ravindran V. Protein – phytate interactions in pig and poultry nutrition: a reappraisal // *Nutrition Research Reviews*.–2012.– 1.–pp.1-17. DOI: 10.1017/S0954422411000151
113. Maenz D. D., Engele-Schaan C. M., Newkirk R. W. and Classen H. L. The effect of minerals and mineral chelators on the formation of phytase-resistant and phytasesusceptible forms of phytic acid in solution and in a lurry of canola meal // *Anim. Feed Sci. Technol.*–1999.– 81.–pp. 177-192.
114. Connorton J M., Balk J. Iron biofortification of staple crops: lessons and challenges in plant genetics // *Plant Cell Physiol.* -2019. -60 (7). –pp.1447–1456. DOI: 10.1093/pcp/pcz079.
115. Wu H, Ling HQ. FIT-binding proteins and their functions in the regulation of Fe 877 homeostasis // *Front Plant Sci.* –2019. –10. –pp.844. DOI: 10.3389/fpls.2019.00844.
116. Ali MW, Borrill P. Applying genomic resources to accelerate wheat biofortification // *Heredity.* –2020. –125(6). – pp.1-10. DOI: 10.1038/s41437-020-0326-8.
117. Gao F, Dubos C. Transcriptional integration of the plant responses to iron availability // *J Exp Bot.* –2021. – 72(6). – pp.2056-2070. DOI: 10.1093/jxb/eraa556.
118. Takanori Kobayashi and Naoko K. Nishizawa. Iron Uptake, Translocation, and Regulation in Higher Plants//*Annual Review of Plant Biology.* – 2012. Vol. 63. - pp.131-152. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042811-105522>
119. Elliott G. Duncan, William A. Maher, Simon D. Foster, Frank Krikowa, Cathryn A. O'Sullivan, Margaret M. Roper. Dimethylarsenate (DMA) exposure influences germination rates, arsenic uptake and arsenic species formation in wheat//*Chemosphere.* Vol 181, –2017, PP. 44-54
120. Gupta P K, Balyan HS, Sharma S, Kumar R. Biofortification and bioavailability of Zn, Fe and Se in wheat: present status and future prospects // *Theor Appl Genet.* –2021. –134(1). –pp. 1–35. DOI: 10.1007/s00122-020-03709-7.
121. Curie C, Panaviene Z, Loulergue C, Dellaporta SL, Briat JF, Walker EL. Maize yellow stripe1 encodes a membrane protein directly involved in Fe (III) uptake // *Nature.* –2001. –409(6818). –PP.346–349. DOI: 10.1038/35053080.
122. Eagling T, Wawer AA, Shewry PR, Zhao F-J, Fairweather-Tait SJ. Iron Bioavailability in Two Commercial Cultivars of Wheat: Comparison between Wholegrain and White Flour and the Effects of Nicotianamine and 20 -Deoxymugineic Acid on Iron Uptake into Caco-2 Cells // *J Agric Food Chem.* –2014. – 62. –pp.10320–10325 <https://doi.org/10.1021/jf5026295> PMID: 25275535
123. Dey S, Regon P, Kar S, Panda SK. Chelators of iron and their role in plant's iron management // *Physiol Mol Biol Plants.* –2020. – 26(8). –PP.1541–1549. DOI: 10.1007/s12298-020- 746 00841-y
124. Tristan E., Anna A W., Peter R Sh., Fang-Jie Zh., Susan J F. Iron bioavailability in two commercial cultivars of wheat: comparison between wholegrain

and white flour and the effects of nicotianamine and 2'-deoxymugineic acid on iron uptake into Caco-2 cells // *J Agric Food Chem* 2014. –62(42). –pp.10320-5. doi: 10.1021/jf5026295.

125. Jesse T., Beasley., Julien P., Bonneau., Alexander A., Johnson T. Characterisation of the nicotianamine aminotransferase and deoxymugineic acid synthase genes essential to Strategy II iron uptake in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) // *PLoS ONE*. – 2017.12(5). – pp.1—18. DOI:10.1371/journal.pone.0177061

126. Connorton JM, Jones ER, Rodríguez-Ramiro I, Fairweather-Tait S, Uauy C, Balk J. Wheat vacuolar iron transporter TaVIT2 transports Fe and Mn and is effective for biofortification// *Plant Physiol*. –2017. №174. –pp. 2434–2444.

127. Kobayashi T, Nishizawa NK. Iron uptake, translocation, and regulation in higher plants// *Annu Rev Plant Biol*. – 2012. № 63. –PP.131–152.

128. Ludwig Y., Slamet-Loedin IH., Genetic biofortification to enrich rice and wheat grain iron: From genes to product// *Front Plant Sci*. – 2019.– Vol.10. –pp. 1–10.

129. Kumar A, Kaur G, Goel P, Bhati KK, Kaur M, Shukla V. Genome-wide analysis of oligopeptide transporters and detailed characterization of yellow stripe transporter genes in hexaploid wheat // *Funct Integr Genomics*. –2019. – 19. –PP.75–90. DOI: 10.1007/s10142-018-0629-5.

130. Sharma S., Kaur G., Kumar A., Meena V., Ram H., Kaur J. Gene expression pattern of vacuolar-iron transporter-like (VTL) genes in hexaploid wheat during metal stress // *Plants*. –2020. –9. –P. 229. DOI: 10.3390/plants9020229.

131. Meng Wang., Jiazhen Gong., Navreet K. Bhullar. Iron deficiency triggered transcriptome changes in bread wheat// *Computational and Structural Biotechnology Journal*. –2020. –18. –pp. 2709–2722

132. Ishimaru Y., Masuda H., Bashir K., Inoue H., Tsukamoto T., Takahashi M. Rice metal nicotianamine transporter, OsYSL2, is required for the long-distance transport of iron and manganese // *Plant J*. –2010. –62. –PP.379–390. DOI: 10.1111/j.1365-313X.2010.04158.x.

133. Kaur G., Shukla V., Kumar A., Kaur M., Goel P., Singh P. Integrative analysis of hexaploid wheat roots identifies signature components during Fe starvation // *J Exp Bot*. –2019. –70. –PP.6141–6161. DOI: 10.1101/539098.

134. Aoyama T., Kobayashi T., Takahashi M. OsYSL18 is a rice iron(III)-deoxymugineic acid transporter specifically expressed in reproductive organs and phloem of lamina joints// *Plant Mol Biol*. –2009. –Vol.70. –pp.681–692.

135. Borg S., Brinch-Pedersen H., Tauris B, Madsen LH., Darbani B., Noeparvar S. Wheat ferritins: improving the iron content of the wheat grain // *J Cereal Sci*. –2012. –56. –PP.204–213. DOI: 10.1016/j.plaphy.2016.03.023.

136. Nozoye T., Nagasaka S., Kobayashi T., Takahashi M., Sato Y., Nishizawa NK. Phytosiderophore efflux transporters are crucial for iron acquisition in graminaceous plants // *J Biol Chem*. –Vol. 286. –pp. 5446–5454. <https://doi.org/10.1074/jbc.M110.180026>

137. Yang T., Hao L., Yao S., Zhao Y., Lu W., Xiao K., TabHLH. a bHLH-type transcription factor gene in wheat, improves plant tolerance to Pi and N deprivation

via regulation of nutrient transporter gene transcription and ROS homeostasis//*Plant Physiol Biochem.* –2016. –104. –PP.881 99–113. DOI: 10.1016/j.plaphy.2016.03.023.

138. Briat JF, Duc C, Ravet K, Gaymard F. Ferritins and iron storage in plants // *Biochem Biophys Acta.* –2010. – 1800(8). –PP.806–814. DOI: 10.1016/j.bbagen.2009.12.003.

139. Harrison PM, Arosio P. The ferritins: molecular properties, iron storage function and cellular regulation// *Biochem Biophys Acta.* – 1996. – 1275.–pp.161-203.

140. Marschner. H. Zinc Uptake from Soils. In: Robson, A.D., Ed., *Zinc in Soils and Plants*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, –1993. –PP.59-78. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-011-0878-2_5

141. Kumar J., Parveen A., Kumar A., Kaur G. Identification of temporally distributed candidate genes for high iron (Fe) and zinc (Zn) content in wheat (*Triticum aestivum* L.) // *J Cereal Sci.* –2023. Vol [109](#). P.103602. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2022.103602>

142. Gupta PK., Balyan HS., Sharma S., Kumar R. Biofortification and bioavailability of Zn, Fe and Se in wheat: present status and future prospects//*Theoretical and Applied Genetics.* –2021. 134(1). P.19 DOI 10.1007/s00122-020-03709-7.

143. Viana VE., Pegoraro C., Busanello C., Costa de Oliveira A. Mutagenesis in rice: the basis for breeding a new super plant // *Front Plant Sci.* – 2019. –10. –P.1326. DOI: 10.3389/fpls.2019.01326.

144. Ahumada-Flores S., Gómez Pando LR., Parra Cota FI., Sarsu F., de los Santos Villalobos S. Technical note: Gamma irradiation induces changes of phenotypic and agronomic traits in wheat (*Triticum turgidum* ssp. *durum*) // *Appl Radiat Isotop.* – 2021. –167. –P 109490. DOI. 688 10.1016/j.apradiso.2020.109490.

145. Kenzhebayeva, S., Turasheva S., Doktyrbay G., Buestmayr H., Atabayeva S., and Alybayeva R. Screening of mutant wheat lines to resistance for Fusarium head blight and using SSR markers for detecting DNA polymorphism. In *Mutagenesis: – 2014. Exploring genetic diversity of crops*, ed. N. B. Tomlekova, M. I. Kozgar, and M. R. Wani, 253–64. Wageningen, The Netherlands: Academic Publishers.

146. Tejada-Jiménez M., Castro-Rodríguez R., Kryvoruchko I., Lucas MM., Udvardi M., Imperial J., González-Guerrero M. *Medicago truncatula* natural resistance-associated macrophage protein 1 is required for Fe uptake by rhizobia-infected nodule cells//*Plant Physiology.* – 2015. –Vol. 168(1). –PP. 258–272 DOI 10.1104/pp.114.254672.

147. Huang Y., Kong Z., Wu X., Cheng R., Yu D., and Ma Z. Characterization of three wheat grain weight QTL that differentially affect kernel dimensions // *Theoretical and Applied Genetics.* – 2015, –Vol. 128. –pp. 2437–45. doi:[10.1007/s00122-015-2598-6](https://doi.org/10.1007/s00122-015-2598-6).

148. Gelman Andrew. "Analysis of variance? Why it is more important than ever"// *The Annals of Statistics.* –2005. –Vol.33. –pp.1–53.

149. Renée H, Nynke K. Grain size and grain shape analysis of fault rocks // *Tectonophysics.* Vol 427, Issues 1–4, – 2006, Pp. 199-216.

150. Junhua Peng., Zhiyong Liu., Xionglun Liu., Jun Yan., Dongfa Sun., Eviatar Nevo. Chapter 8 - Evolutionary agriculture domestication of wild emmer wheat// *New Horizons in Evolution*. – 2021, Pp. 193-255. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90752-1.00007-9>
151. Blanco A., Pasqualone A., Troccoli N., Di Fonzo., Simeone R. Detection of grain protein content QTLs across environments in tetraploid wheats // *Plant Mol. Biol.* – 2002. –48. –pp.615–623.
152. Kenzhebayeva S.S., Doktyrbay G., Capstaff N.M., Sarsu F., Omirbekova N.Zh., Eilam T., Tashenev D.K., Miller A.J. Searching a spring wheat mutation resource for correlations between yield, grain size, and quality parameters // *Crop Improvement*. –2017. –Vol.31. –P.208-228.
153. Bonfil DJ., Kafkafi U. Wild wheat adaptation in different soil ecosystems as expressed in the mineral concentration of the seeds// *Euphytica*. –2000. 114. –pp.123–134
154. Graham R., Senadhira D., Beebe S., Iglesias C and Monasterio I. Breeding for micronutrient density in edible portions of staple food crops: Conventional approaches // *Field Crop Researcher*. –1999. – 60. –pp.57–80. doi:[10.1016/S0378-4290\(98\)00133-6](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(98)00133-6).
155. Oury F. X., Leenhardt F., Remesy C., Chanliaud E., Chanliaud E., Duperrier B., Balfourier F and Charmet G. Genetic variability and stability of grain magnesium, zinc and iron concentrations in bread wheat//*European Journal Agronomic*. –2006. – 25. –pp.177–85. doi:[10.1016/j.eja.2006.04.011](https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.04.011).
156. Tiwari V. K., Rawat N., Chhuneja P., Neelam K., Aggarwal R., Randhawa G. S., Dhaliwal H. S. Mapping of quantitative trait loci for grain iron and zinc concentration in diploid A genome wheat // *Journal Heredity*. –2009.– 100.–pp.771–76. doi:[10.1093/jhered/esp030](https://doi.org/10.1093/jhered/esp030).
157. Liu Z. H., Wang H. Y., Wang X. E., Zhang G. P., Chen P. D and Liu D. J. Genotypic and spike positional difference in grain phytase activity, phytate, inorganic phosphorus, iron, and zinc contents in wheat (*Triticum aestivum* L.) // *Journal Cereal Sciences*. – 2006. – 44. –pp.212–219. doi:[10.1016/j.jcs.2006.06.001](https://doi.org/10.1016/j.jcs.2006.06.001).
158. Velu G., Singh R. P., Huerta-Espino J., Pena J and Ortiz-Monasterio I. Breeding for enhanced zinc and iron concentration in CIMMYT spring wheat germplasm // *Czech Journal Genetics Plant Breeder*. – 2011.– 47. Pp.174–177.
159. Choi I., Kang C. S., Hyun J.N., Lee C.K and Park K. G. Mineral compositions of Korean wheat cultivars // *Preventive Nutrition and Food Science*. – 2013. – 18. – pp.214–217. doi:[10.3746/pnf.2013.18.3.214](https://doi.org/10.3746/pnf.2013.18.3.214).
160. Brinch-Pedersen H., Borg S., Tauri B., Holm PB. Molecular genetic approaches to increasing mineral availability and vitamin content of cereals // *Journal of Cereal Science*. – 2007. –Vol. 46(3). –PP.308–326. DOI [10.1016/j.jcs.2007.02.004](https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.02.004).
161. Saule Kenzhebayeva., Saule Atabayeva., Fatma Sarsu., Alfiya Abekova., Sabina Shoinbekova., Nargul Omirbekova., Gulina Doktyrbay., Aizhan Beisenova and Yuri Shavrukov. Organ-specific expression of genes involved in iron homeostasis in wheat mutant lines with increased grain iron and zinc content // *PeerJ*. – 2022. –10.– e13515. –PP.1-25. DOI [10.7717/peerj.13515](https://doi.org/10.7717/peerj.13515)

162. Connorton J.M., Jones E.R., Rodríguez-Ramiro I., Fairweather-Tait S., Uauy C., Balk J. Wheat vacuolar iron transporter TaVIT2 transports Fe and Mn and is effective for biofortification // *Plant Physiology*. –2017. –Vol. 174(4). –PP. 2434–44. DOI 10.1104/pp.17.00672.
163. Krishnan S., Datta K., Baisakh N., de Vasconcelos M., Datta SK. Tissue-specific localization of β -carotene and iron in transgenic indica rice (*Oryza sativa L.*) // *Current Science*. – 2003. –Vol. 84(9). –PP.1232–1234.
164. Ozturk L., Yazici MA., Yucel C., Torun A., Cekic C., Bagci A., Ozkan H., Braun H-J., Sayers Z., Cakmak I. Concentration and localization of zinc during seed development and germination in wheat // *Physiologia Plantarum*. – 2006. –Vol. 128
165. Shahzad Z., Rouached H and Rakha A. Combating mineral malnutrition through iron and zinc biofortification of cereals // *Compr. Rev. Food Sci. Food Safety*, –2014. –13. –pp. 329-346. DOI: 10.1111/1541-4337.12063
166. Zhao H.J., Liu Q.L., H.W. Fu and Q.Y. Shu. Effect of non-lethal low phytic acid mutations on grain yield and seed viability in rice // *Field Crops Res*. –2008. – 108. –pp. 206-211. DOI:10.1016/j.fcr.2008.05.006
167. Frontela C., Ros G and C. Martinez. Phytic acid content and “*in vitro*” iron, calcium and zinc bioavailability in bakery products: The effect of processing // *J. Cereal Sci*. – 2011. – 54. – pp. 173-179. DOI: 10.1016/j.jcs.2011.02.015.
168. Yenagi S.N and Basarkar P.W. Antioxidant contents of whole grain cereals of North Karnataka // *Karnataka J. Agric. Sci*. – 2008. – 21. – pp.602-603.
169. Garcia-Esteba R.M., Guerra-Hernandez E and Garcia-Villanova B. Phytic acid content in milled cereal products and breads // *Food Res. Int*. – 1999. – 32. –pp. 217-221. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(99\)00092-7](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(99)00092-7).
170. Abdul jabbar khan., akhtar ali., farooq-i-azam and aurang zeb. Identification and isolation of low phytic acid wheat (*triticum aestivum l.*) inbred lines / mutants // *Pak. J. Bot*. – 2007. – VOL.39(6). – PP. 2051-2058.
171. Mohammad F. A., Zeb I., Noorka R and Farhatullah. Determination and inheritance of phytic acid as marker in diverse genetic group of bread wheat. *Am // J. Mol. Biol*. –2013. –3. –pp. 158-164. DOI: 10.4236/ajmb.2013.33021.
172. Tavajjoh, M., Yasrebi J., Karimian N and Olama V. Phytic acid concentration and phytic acid: Zinc molar ratio in wheat cultivars and bread flours, Fars Province // *Iran. J. Agric. Sci. Tech*. –2011. – 13. –pp. 743-755.
173. Gibson R.S., Bailey K.B., Gibbs M and E.L. Ferguson. A review of phytate, iron, zinc and calcium concentrations in plant-based complementary foods used in low-income countries and implications for bioavailability // *Food Nutr. Bull*. – 2010. – 31. –pp. 134-146. DOI: 10.1177/15648265100312S206
174. Lin L., Ockenden I & Lot J. N. The concentrations and distribution of phytic acid-phosphorus and other mineral nutrients in wildtype and low phytic acid 1-1 (*lpa 1-1*) corn (*Zea mays L.*) grains and grain parts // *Canadian journal of botany*.–2005. – 83.–pp. 131-141. <https://doi.org/10.1139/b04-14>
175. Amjad H., Muhammad A., Muhammad R and Muhammad A. Development and Molecular Characterization of Low Phytate Basmati Rice Through Induced

Mutagenesis, Hybridization, Backcross, and Marker Assisted Breeding // *Front. Plant Sci.*–2019. Vol.10.–p1525. doi:10.3389/fpls.2019.01525.

176. Rathan ND., Krishna H., Ellur RK. Genome-wide association study identifies loci and candidate genes for grain micronutrients and quality traits in wheat (*Triticum aestivum* L.)// *Sci Rep.*–2022. –Vol.12(1). –pp.1-15

177. Kumar J., Mishra A., Kumar A., Kaur G. Whole genome re-sequencing of Indian wheat genotypes for identification of genomic variants for grain iron and zinc content//*Mol Biol Rep.* –2022, Vol.49(7), –pp.7123-7133.

178. Regon P., Kar S., Panda SK. Chelators of iron and their role in plant's iron management// *Physiology and Molecular Biology of Plants.* – 2020.– 26(8). –PP.1541–1549. DOI 10.1007/s12298-020-00841-y.

179. Sangita Dey., Preetom Regon., Saradia Kar and Sanjib Kumar Panda. Chelators of iron and their role in plant's iron management // *Physiol Mol Biol Plants.* 2020. – 26(8): 1541–1549.doi: 10.1007/s12298-020-00841-y

180. Bashir K., Inoue H., Nagasaka S., Takahashi M., Nakanishi H., Mori S., Nishizawa NK. Cloning and characterization of deoxymugineic acid synthase genes in graminaceous plants// *Journal of Biological Chemistry.* –2006.– 281(43).–pp. 32395–32402 DOI 10.1074/jbc.M604133200.

181. Grillet L., Schmidt W. Iron acquisition strategies in land plants: not so different after all // *New Phytologist.* – 2019. 224(1). – pp.11–18 DOI 10.1111/nph.16005.

182. Curie C., Cassin Gëlle., Couch D., Divol F., Higuchi K., Le Jean M., Misson J., Schikora A., Czernic P., Mari S. Metal movement within the plant: contribution of nicotianamine and YELLOW STRIPE 1-LIKE transporters// *Annals of Botany.* –2009. – 103(1). – pp.1–11.

183. Clemens S., Deinlein U., Ahmadi H., Höreth S., Uraguchi S. Nicotianamine is a major player in plant Zn homeostasis// *BioMetals.* –2013. 26(4). – pp. 623–632 DOI 10.1007/s10534-013-9643-1.

184. Bonneau J., Baumann U., Beasley J., Li Y., Johnson AAT. Identification and molecular characterization of the nicotianamine synthase gene family in bread wheat//*Plant Biotechnology Journal.* –2016. – 14(12). – pp. 2228–2239 DOI 10.1111/pbi.12577.

185. Takahashi M., Terada Y., Nakai I., Nakanishi H., Yoshimura E., Mori S., Nishizawa NK. Role of nicotianamine in the intracellular delivery of metals and plant reproductive development // *Plant Cell.* –2003. – 15(6). –pp. 1263–1280.

186. Ma JF., Taketa S., Chang YC., Takeda K., Matsumoto H. Biosynthesis of phytosiderophores in several Triticeae species with different genomes// *Journal of Experimental Botany.* –1999. – 50(334). – pp.723–726 DOI 10.1093/jxb/50.334.723.

187. Nozoye T., Nakanishi H., Nishizawa NK. Characterizing the crucial components of iron homeostasis in the maize mutants *ys1* and *ys3*// *PLOS ONE.* – 2013. – 8(5). –p. e62567. DOI 10.1371/journal.pone.0062567.

188. Hao Y., Zong X., Ren P., Qian Y., Fu A. Basic helix-loop-helix (bHLH) transcription factors regulate a wide range of functions in *Arabidopsis* // *International Journal of Molecular Sciences.* –2021. – 22(13). –p.7152 DOI 10.3390/ijms22137152.

189. Wang M., Kawakami Y., Bhullar NK. Molecular analysis of iron deficiency response in hexaploid wheat // *Frontiers in Sustainable Food Systems*. – 2019. – 3.–p. 67 DOI [10.3389/fsufs.2019.00067](https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00067)
190. Kenzhebayeva SS., Atabayeva CD., Sarsu F. New iron-deficiency response and differential expression of iron homeostasis related genes in spring wheat (*Triticum aestivum*) mutant lines with increased grain iron content // *Crop and Pasture Science*. –2021. – 73(2). – pp.127–137. DOI [10.1071/CP21136](https://doi.org/10.1071/CP21136).
191. Yordem BK., Conte SS., Ma JF., Yokosho K., Vasques KA., Gopalsamy SN., Walker EL. *Brachypodium distachyon* as a new model system for understanding iron homeostasis in grasses: phylogenetic and expression analysis of yellow stripe-like (YSL) transporters // *Ann Bot.* –2011. –108. – PP.821–833. <https://doi.org/10.1093/aob/mcr200>
192. Md Ashraful I., Jia G., Huan P., Shuxin T., Xingxuan B., Haochuan Zh., Zhensheng K and Jun G. *TaYSL1A*, a Yellow Stripe-Like Transporter Gene, Is Required for Wheat Resistance to *Puccinia striiformis* f. sp. *Tritici* // *Genes (Basel)*. –2020. 11(12): –P.1452.doi: [10.3390/genes11121452](https://doi.org/10.3390/genes11121452)
193. Zheng L., Yamaji N., Yokosho K., Ma JF. YSL16 is a phloem-localized transporter of the copper-nicotianamine complex that is responsible for copper distribution in rice // *Plant Cell*. – 2012. – 24. – pp.3767–3782.
194. Hell R., Stephan UW. Iron uptake, trafficking and homeostasis in plants// *Planta*. –2003. – 216. –pp.541-51.
195. James M Connorton., Eleanor R Jones., Ildefonso Rodríguez-Ramiro., Susan Fairweather-Tait., Cristobal Uauy., Janneke Balk. Wheat Vacuolar Iron Transporter TaVIT2 Transports Fe and Mn and Is Effective for Biofortification // *Plant Physiology* Vol 174, Issue 4, – 2017, pp. 2434–2444, <https://doi.org/10.1104/pp.17.00672>
196. Qin L., Han P., Chen L., Walk TC., Li Y., Hu X. Genome-wide identification and expression analysis of NRAMP family genes in soybean (*Glycine Max* L.) // *Frontiers in Plant Science*. –2017. – 8.– p.1436 DOI [10.3389/fpls.2017.01436](https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01436)
197. Gao H., Xie W., Yang C., Xu J., Li J., Wang H., Chen X., Huang C-F. NRAMP2, a trans-Golgi network-localized manganese transporter, is required for *Arabidopsis* root growth under manganese deficiency// *New Phytologist*. – 2018. 17(1). –pp. 179–193 DOI [10.1111/nph.14783](https://doi.org/10.1111/nph.14783).
198. Yaniv Nevo., Nathan Nelson. The NRAMP family of metal-ion transporters// *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular Cell Research*. – 2006. Vol 1763. Issue 7, PP. 609-620.
199. Søren Borg., Henrik Brinch-Pedersen., Birgitte Tauris., Lene Heegaard Madsen b., Behrooz Darbani., Shahin Noeparvar., Preben Bach Holm. Wheat ferritins: Improving the iron content of the wheat grain// *Journal of Cereal Science*.–2012. - Vol 56, Issue 2, –pp. 204-213. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.03.005>
200. Jean-François Briat., Céline Duc., Karl Ravet., Frédéric Gaymard. Ferritins and iron storage in plants// *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects*. –2010. – Vol 1800, Issue 8, – Pp. 806-814

ҚОСЫМША “А”



АКТ
О внедрении полученных по результатам научно-исследовательской работы
Доктырбай Г.

12 новых, генетически стабильных, продуктивных мутантных линий яровой пшеницы, полученных при выполнении докторантом факультета биологии и биотехнологии КазНУ им. аль-Фараби Доктырбай Г. диссертационной работы на тему: «Создание новых продуктивных мутантных линий пшеницы и их биохимически-молекулярное изучение» передаются в селекционный процесс в качестве исходного материала для создания мутантных сортов.

Данные линии (M₅ поколение) были получены на основе индуцированного физического мутагенеза сортов яровой пшеницы Женис, Алмакен и Эритроспермум-35, приспособленных к местным условиям с использованием различных доз гамма радиации (100 и 200 Gy). Все линии по различным показателям элементов продуктивности. (таблица 1 и таблица 2).

Таблица 1- Элементы структуры урожая, M₅ мутантной популяции яровой пшеницы на генетической основе сорта Женис, Алмакен и Эритроспермум-35, доза 100 γ

Линия	Кол-во зерен в главном колосе	Масса главного колоса, г	Масса зерен одного растения, г	Масса 1000зерен, г	Биолог. урожайность, ц/г
сорт Женис	40.64±9.27	1.57±0.44	2.25±0.81	38.08±3.67	37.51±3.40
18(5)	34.02±8.19	1.36±0.57	7.39±3.90	39.69±1.85	47.80±2.59
26(7)	47.38±10.64	2.06±0.50	4.65±1.05	39.57±1.51	49.35±3.57
сорт Алмакен	32.56±2.12	2.26±0.32	2.81±1.04	41.27±1.91	42.20±4.80
76(2)	49.9±7.94	2.39±0.45	5.26±1.51	44.00±1.85	78.95±4.65
76(3)	54.00±9.07	2.74±0.33	4.86±0.84	39.77±1.29	73.00±3.12
сорт Эритроспермум-35	30,33±8,21	1,97±0,52	1,51±0,21	34.12±1.17	32.65±4.40
118(3)	46.33±6,25	2.70±0.47	3.61±0.72	49.88±0.58	54.10±2.86
135(1)	56.33±4.47	2.64±0.45	6.53±0.52	58.54±1.49	77.90±3.73

Таблица 2- Элементы структуры урожая, М₅ мутантной популяции яровой пшеницы на генетической основе сорта Женис, Алмакен и Эритроспермум-35, доза 200 γ

Линия	Кол-во зерен в главном колосе	Масса главного колоса, г	Масса зерен одного растения, г	Масса 1000зерен, г	Биолог. урожайность. ц/г
сорт Женис	40.64±9.27	1.57±0.44	2.25±0.81	38.08±3.67	37.51±3.40
45(1)	37.33±6.22	1.93±0.25	5.01±0.28	39.43±1.59	54.60±2.11
49(4)	54.13±9.98	2.35±0.50	14.74±5.69	47.66±2.51	48.47±3.80
сорт Алмакен	32.56±2.12	2.26±0.32	2.81±1.04	41.27±1.91	42.20±4.80
98(2)	44.20±6.46	1.46±0.59	3.44±0.96	53.18±2.64	51.55±4.98
101(3)	52.20±7.32	2.85±0.39	3.98±0.52	48.97±2.70	59.70±2.91
сорт Эритроспермум -35	30,33±8,21	1,97±0,52	1,51±0,21	34,12±1,17	32,65±4,40
149(2)	55.34±2.31	2.63±0.04	5.37±0.64	57.18±1.23	80.50±3.58
150(7)	52.34±3.65	2.29±0.38	3.01±0.23	49.89±1.24	45.20±3.42

Заведующий отделом
селекции яровой пшеницы,
ТОО «КазНИИЗиР»
д.б.н., профессор

Нурпеисов И.А.

Д.б.н., профессор, факультет
биологии и биотехнологии
КазНУ им. аль-Фараби

Кенжебаева С.С.

PhD докторант КазНУ им. аль-
Фараби

Доктырбай Г.

Главный ученый секретарь,
к.с.х.н.

Хидиров А.Э.

ҚОСЫМША “Ә”

Жеңіс сорты және оның М₅ мутантты линияларының өнімділік компоненттері арасындағы корреляция мәндері

Генотиптер/	НМДС/ НМДС,г	НМДС/ ӨЖДС,г	НМДС/ 1000ДС,г	НМДС,г/ ӨЖДС,г	НМДС,г/ 1000ДС,г	ӨЖДС,г/1000ДС,г	
Жеңіс сорты	0,35	-0,81	-0,93	-0,19	-0,93	0,22	
100 Гр- сәулесімен дозаланған М ₅ мутантты линиялар	5(4)	0,55	0,39	0,37	0,65	0,21	0,31
	6(4)	0,65	0,47	0,08	0,78	-0,18	-0,25
	6(5)	0,70	0,39	-0,28	0,97	-0,94	-0,39
	6(13)	0,69	0,31	-0,19	0,33	-0,24	-0,26
	13(3)	0,21	-0,23	-0,13	0,39	0,13	0,16
	18(5)	0,29	-0,63	0,09	-0,16	0,39	-0,69
	24(1)	-0,55	0,01	-0,98	0,01	-0,38	-0,31
	24(2)	-0,52	0,11	0,46	-0,13	0,54	-0,38
	25(2)	0,90	0,51	0,51	0,52	0,47	0,14
	26(6)	0,60	-0,11	0,24	0,20	0,33	0,22
	26(7)	0,55	-0,35	0,29	0,25	0,29	0,27
	26(9)	-0,41	-0,06	0,15	0,16	0,25	0,29
	26(10)	0,55	-0,56	0,25	0,29	0,33	0,26
	30(1)	-0,95	0,07	-0,25	0,08	-0,23	-0,39
	36(1)	-0,81	-0,92	-0,23	-0,21	0,16	-0,17
200 Гр- сәулесімен дозаланған М ₅ мутантты линиялар	43(1)	0,36	0,07	0,15	0,13	0,27	0,68
	43(3)	-0,60	- 0,48	0,08	0,15	-0,26	0,28
	43(4)	0,12	0,19	0,78	-0,14	0,34	-0,33
	45(1)	-0,02	0,27	-0,04	0,33	0,46	-0,24
	45(2)	-0,29	-0,36	-0,02	0,21	-0,92	-0,19
	45(3)	0,09	-0,14	-0,09	0,12	-0,99	-0,21
	48(3)	0,91	0,71	0,83	0,35	0,59	0,34
	49(2)	0,91	0,89	0,93	0,87	0,68	0,44
	49(4)	0,66	0,88	0,91	0,93	-0,36	0,36
	49(6)	-0,61	-0,78	0,22	0,04	0,44	-0,61
	50(7)	-0,16	-0,22	-0,53	-0,12	0,61	-0,79
	51(1)	0,61	0,31	-0,27	0,59	-0,36	-0,37
	51(2)	0,21	0,15	0,19	0,24	0,41	0,13
	51(8)	0,71	0,43	0,18	0,62	0,12	0,25
	53(2)	0,07	0,05	0,03	-0,12	0,21	0,05

Ескерту – әрбір қайталаудың орташа мәні ретінде үш дана масақтар/өсімдіктер таңдалып алынды. Бастапқы ата-аналық сорттан айтарлықтай жоғары линиялар *, **, және *** белгілерімен ерекшеленді, мәні тиісінше 0,05, 0,1 және 0,01 ықтималдық деңгейлерінде белгіленді.

ҚОСЫМША “Б”

Алмакен сорты және оның М₅ мутантты линияларының өнімділік компоненттері арасындағы корреляция мәндері

Генотиптер/	НМДС/ НМДС,г	НМДС/ ӨЖДС,г	НМДС/ 1000ДС,г	НМДС,г/ ӨЖДС,г	НМДС,г/ 1000ДС,г	ӨЖДС,г/1000ДС,г
Алмакен сорты	-0,56	0,74	-0,79	-0,62	0,37	-0,36
100 Гр- сәулесімен дозаланған М ₅ мутантты линиялар	75(2)	-0,20	-0,43	-0,12	0,27	-0,47
	76(2)	0,37	0,72	-0,43	0,83	-0,53
	76(3)	0,75	0,65	0,67	0,94	0,46
	79(1)	0,51	0,60	-0,58	0,51	0,50
	79(5)	-0,35	0,19	0,58	0,25	-0,27
	81(1)	0,59	0,88	0,41	0,50	-0,58
	82(2)	0,31	0,68	0,75	-0,69	-0,60
	82(4)	0,67	-0,52	0,81	0,26	0,32
	82(5)	0,41	-0,25	0,87	0,54	0,23
	84(2)	0,88	0,85	-0,85	0,42	0,23
	84(4)	0,63	-0,25	-0,41	-0,25	-0,41
	89(5)	0,23	0,59	0,41	0,49	-0,48
	89(8)	0,34	-0,29	0,46	0,20	-0,59
	91(1)	-0,25	-0,34	-0,49	0,14	0,32
	91(2)	0,39	-0,82	-0,58	-0,47	-0,15
200 Гр- сәулесімен дозаланған М ₅ мутантты линиялар	94(2)	-0,27	-0,92	-0,66	-0,99	-0,62
	94(4)	-0,26	-0,22	0,17	0,15	-0,35
	95(2)	-0,31	-0,10	0,23	0,00	-0,19
	95(3)	-0,15	-0,51	-0,05	0,25	0,39
	95(5)	-0,36	-0,39	0,03	0,13	-0,30
	95(7)	-0,25	-0,29	0,17	0,29	-0,54
	95(8)	-0,32	-0,57	-0,34	0,27	0,26
	98(1)	-0,44	-0,27	-0,74	-0,49	0,47
	98(2)	0,24	-0,09	0,17	0,27	0,42
	98(4)	0,16	-0,13	0,55	0,26	-0,25
	98(6)	0,19	-0,58	-0,35	-0,67	-0,45
	101(1)	0,31	0,77	0,21	0,34	-0,28
	101(3)	0,92	0,14	0,17	0,20	0,29
	101(5)	1,00	0,59	-0,21	-0,42	-0,18
	101(6)	0,32	0,31	-1,00	0,22	-0,47

Ескерту – әрбір қайталаудың орташа мәні ретінде үш дана масақтар/өсімдіктер таңдалып алынды. Бастапқы ата-аналық сорттан айтарлықтай жоғары линиялар *, **, және *** белгілерімен ерекшеленді, мәні тиісінше 0,05, 0,1 және 0,01 ықтималдық деңгейлерінде белгіленді.

ҚОСЫМША “В”

Эритросперум-35 сорты және оның M₅ мутантты линияларының өнімділік компоненттері арасындағы корреляция мәндері

Генотиптер/		НМДС/ НМДС,г	НМДС/ ӨЖДС,г	НМДС/ 1000ДС,г	НМДС,г/ ӨЖДС,г	НМДС,г/ 1000ДС,г	ӨЖДС,г/1000ДС,г
Эритросперум-35 сорты		0,00	0,06	0,55	-0,09	-0,58	0,06
100 Гр- сәулесімен дозаланған M ₅ мутантты линиялар	105(1)	0,20	-0,17	-0,49	-0,13	0,28	-0,17
	108(1)	0,29	0,28	0,53	-0,24	-0,42	-0,48
	113(1)	0,97	0,36	-0,68	-0,36	-0,56	-0,46
	113(5)	0,99	0,42	0,27	0,29	0,78	0,42
	118(1)	0,26	0,50	-0,70	-0,25	-0,71	0,08
	118(2)	0,74	-0,53	-0,77	-0,43	0,75	-0,43
	118(3)	-0,28	-0,36	0,15	0,30	0,18	-0,36
	135(1)	0,97	0,87	-0,38	0,26	-0,29	0,87
	136(1)	-0,78	0,86	-0,72	-0,89	-0,25	0,86
	138(6)	1,00	0,74	-1,00	-0,70	-0,49	0,74
	140(2)	0,99	0,50	0,80	-0,99	-0,30	0,60
	140(3)	-0,56	-0,73	-0,48	-0,15	-0,25	-0,73
	140(4)	-0,49	-0,49	0,01	-0,70	-0,62	-0,79
	232(1)	-0,38	-0,31	0,15	0,18	-0,47	-0,31
	242(2)	0,96	-0,59	-0,43	-0,73	-0,02	0,29
200 Гр- сәулесімен дозаланған M ₅ мутантты линиялар	144(1)	0,98	-0,57	-0,66	-0,80	0,71	0,37
	144(2)	-0,31	0,44	0,19	0,14	0,88	0,14
	149(2)	0,61	0,78	-0,64	0,44	-0,78	0,98
	150(7)	1,00	0,61	-0,87	0,18	-0,30	0,51
	152(1)	0,95	0,72	-0,75	0,20	-0,42	0,52
	152(4)	0,19	-0,59	0,07	-0,48	-0,53	-0,29
	152(5)	0,99	0,15	-0,69	0,03	0,61	0,55
	152(6)	0,97	0,31	0,89	0,22	0,80	0,61
	152(7)	0,32	-0,66	0,82	-0,92	-0,11	0,31
	152(8)	0,26	-0,59	-0,91	-0,92	-0,37	0,29
	153(4)	0,11	0,30	-0,99	-0,91	-0,21	0,30
	153(5)	0,98	-0,87	-0,87	-0,74	0,42	0,87
	153(6)	0,80	-0,75	0,31	-0,82	-0,77	0,81
	153(7)	0,98	-0,75	0,76	-0,87	-0,92	0,85
	153(8)	0,98	-0,55	0,35	-0,39	0,59	0,55

Ескерту – әрбір қайталаудың орташа мәні ретінде үш дана масақтар/өсімдіктер таңдалып алынды. Бастапқы ата-аналық сорттан айтарлықтай жоғары линиялар *, **, және *** белгілерімен ерекшеленді, мәні тиісінше 0,05, 0,1 және 0,01 ықтималдық деңгейлерінде белгіленді.

