

Красимира Костадинова Танева

**Проучване на сортимент от генотипове твърда
пшеница и тетраплоидни родствени видове по
показатели свързани с качеството на зърното**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

НА ДИСЕРТАЦИЯ

за присъждане на образователна и научна степен „ДОКТОР“
по научна специалност „Селекция и семепроизводство на културните растения“

Научни ръководители:

проф. д-р Виолета Златева Божанова

доц. д-р Иванка Димитрова Петрова

ЧИРПАН, 2019 г.

Красимира Костадинова Танева

**Проучване на сортимент от генотипове твърда
пшеница и тетраплоидни родствени видове по
показатели свързани с качеството на зърното**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

НА ДИСЕРТАЦИЯ

за присъждане на образователна и научна степен „ДОКТОР“
по научна специалност „Селекция и семепроизводство на културните растения“

Научни ръководители:

проф. д-р Виолета Златева Божанова

доц. д-р Иванка Димитрова Петрова

ЧИРПАН, 2019 г.

Дисертационният труд е написан на 191 страници и съдържа 33 таблици и 18 фигури. Списъкът на използваната литература включва 336 заглавия.

Защитата на дисертацията ще се състои на от часа в на заседание на Специализирано научно жури към ССА.

Материалите по защитата са на разположение на интересувашите се в библиотеката на ИПК-Чирпан.

Моля, отзивите и бележките си изпращайте на адрес:
Институт по полски култури
Бул. Г. Димитров N 2
6200 гр. Чирпан

1. УВОД

Твърдата пшеница (*Triticum turgidum* L. var. durum) е единственият тетраплоиден вид пшеница с важно търговско значение. Широкото и разпространение е свързано с уникалните качества на зърното, които я правят предпочитана суровина за получаване на макаронени изделия със здрава текстура и приятен жълт цвят, високо ценени от потребителите.

Съдържанието на протеин и глютенната сила като фактори за кулинарното качество, както и цветът на макаронените изделия като първостепенна маркетингова характеристика са най-важните качествени приоритети в съвременната концепция за технологичното качество на твърдата пшеница.

Подобряването на глютенната сила и повишаването на концентрацията на жълти пигменти в зърното продължава да е основна цел в селекционните програми в отговор на непрекъснато покачващите се изисквания на индустрията към качеството на суровината и очакванията на потребителите.

Повишаването на качеството на твърдата пшеница не е лесна задача, а по-скоро сложна концепция. Работата на селекционерите по отношение на подобряване на качеството на зърното е свързана с редица трудности. Малките различия във варирането на гените, контролиращи основни качествени показатели в съвременните сортове твърда пшеница са съществено ограничение при селекционното им подобряване.

Това налага в програмите по селекция да се включват голям брой генотипове с различен еколого-географски произход. Изучаването на съществуващото генетично разнообразие и включването му в хибридизационните програми е важно за по-нататъшното подобряване на добива и качеството. Експресията на много качествени показатели зависи до голяма степен от условията на средата или от взаимодействието между генотипа и средата, което затруднява отбора. Наличието на отрицателни корелации между някои агрономически и качествени показатели може допълнително да затрудни селекционната работа.

Провеждането на задълбочени изследвания във връзка с установяване на варирането, корелативните връзки и наследяването при нашите условия на всички показатели, свързани с качеството на зърното и крайният продукт е актуално и важно във връзка с изграждане на правилна селекционна стратегия за подобряване на качеството на българските сортове твърда пшеница.

Гореизложените проблеми при селекционното подобряване на качеството на зърното на твърдата пшеница, свързани с ниското ниво на генетично вариране, наличие на неблагоприятни корелации или неизяснени корелации при нашите условия и нестабилна експресия на някои показатели ни мотивираха да предприемем настоящето проучване.

Основната цел на изследването е да бъде проучено варирането и наследяването по важни показатели, свързани с качеството на зърното в богат сортимент от генотипове твърда пшеница с различен произход и образци двузърнест лемец и да бъдат установени взаимовръзки между основни агрономически и качествени показатели.

За достигане на поставената цел ще се работи по следните по-важни задачи:

1. Изследване върху варирането на различни групи показатели, свързани с качеството на зърното и взаимовръзките между тях.

1.1. Показатели свързани с млевното качество

1.2. Показатели свързани с кулинарното качество

1.2.1. Показатели свързани с количеството на протеина/глутена

1.2.2. Показатели свързани с качеството на протеина/ глутена

1.2.3. Реологична характеристика на макаронените теста

1.2.4. Кулинарно качество на сварения макаронен продукт

1.3. Показатели свързани с цветовия потенциал на зърното

1.4. Класификация на генотиповете твърда пшеница по цвят и кулинарно качество на макаронените продукти.

2. Изследване върху варирането на основни агрономически признаци и взаимовръзките между тях

3. Изследвания на взаимовръзките между качествени и агрономически признаци.
4. Генетични изследвания на основни показатели, свързани с качеството на зърното
 - 4.1. Наследяване и генетичен напредък
 - 4.2. Молекулярен анализ на полиморфизма в един от гените, свързан със съдържание на жълти пигменти.
5. Изследване на варирането по агрономически показатели и показатели, свързани с качеството на зърното при образци от *Triticum dicoccum*.

2. МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

2.1. Материали за изследването

В изследването са включени 24 генотипа твърда пшеница - сортове и селекционни линии с различен произход (таблица 1). Всички генотипове са отглеждани при полски условия в конкурсен сортов опит в три повторения през три реколтни години - 2014/2016 г. по рандомизирана блокова схема при големина на реколтната парцелка 15 m² по стандартна технология за отглеждане на селекционни материали в опитното поле на ИПК – Чирпан.

В изследването са включени и 15 генотипа двузърнест лемец (*Triticum dicoccum* (Schrack) Shuebl.) с произход от генната банка на ICARDA-Сирия. Генотиповете са отглеждани в три реколтни години (2010-2012) в опитното поле на ИПК-Чирпан. Образците от двузърнестия лемец и стандартният сорт Предел са отглеждани при полски условия в селекционен питомник. От всеки генотип са засявани парцелки по 2 m² (пет реда в парцелка) в две повторения. Дължината на всеки ред е по 2 m, междуредовото разстояние 20 cm, а разстоянието между растенията 5 cm. Двадесет растения от всяко повторение са изследвани за признаци свързани с продуктивността на класа: дата на изкласяването, дължина на класа, брой класчета в клас, брой зърна в клас, тегло на зърната в класа и признаци свързани с качеството на зърното: маса на 1000 зърна, стъкловидност, съдържание на протеин и мокър глютен.

2.2. Методи за анализ

2.2.1. Методи за оценка на качеството на зърното, гриса и МП

- Влага, % - БДС EN ISO 712: 2010
- Маса на 1000 зърна, g с.в. – БДС EN ISO 520: 2010
- Хектолитрова маса, kg/hl – БДС EN ISO 7971- 1: 2009
- Стъкловидност, % - БДС EN 15585: 2008
- Съдържание на повредено от житна дървеница зърно, % - БДС 15335: 1990
- Съдържанието на протеин (N x 5,7),% с.в. - БДС EN ISO 20483: 2014
- Добив на мокър глютен,% за 14% влага - БДС 13375: 1988/. Изменение 1: 1990
- Компресибилитет на мокър глютен, ИДК ед. – БДС 13375: 1988/. Изменение 1: 1990
- Отпускане на мокър глютен, mm - БДС 13375: 1988/Изменение 1: 1990
- SDS-седиментационна стойност, cm³ – ICC 151: 1990
- Съдържание на жълти пигменти, ppm с.в. - БДС EN ISO 11052: 2006

Експерименталното смилане на зърното до грис - с адаптирана за грисово смилане лабораторна мелница QC-109 Labor Mim в комплект с лабораторен планзихтер с набор от сита за пресяване на гриса

- Добив на грис, % на база зърно с 14% влага и коригиран за влага на гриса също 14%;
- Реологични свойства на грисови теста с фаринограф Brabender - Irvine et al. (1961)
- Число на кулинарно качество, 1-8 - микрометод на Alause (1977)

2.2.4. Молекулярен анализ

За изследване на полиморфизма в един от гените за фитоеен синтаза върху хромозома 7A, показващ асоциация със съдържанието на каротен при 6х пшеница (He et al., 2008) е проведен молекулярен анализ на генотиповете, включените в този дисертационен труд с помощта на STS (функционални) маркер.

- Изолиране на геномна ДНК

- Определяне количеството и качеството на изолираната ДНК чрез гел-електрофореза
- Провеждане на Полимеразна Верижна Реакция (PCR – Polymerase Chain Reaction)
- Електрофореза на PCR продуктите

2.2.5. Генетичен анализ

- Общата наследяемост (H^2) за изследваните признаци е изчислена чрез метода на вариансните компоненти въз основа на резултатите от трите години на отглеждане. Първичните данни са обработени с анализ на варианса (ANOVA). Вариансните компоненти са изчислени съгласно Snedecor and Cochran (1980).

2.2.6. Статистическа обработка на резултатите

Получените резултати са обработени статистически чрез вариационен и корелационен анализ, двуфакторен анализ на варианса (ANOVA), множествен тест за достоверност на разликите по Duncan и принципен компонентен анализ (PCA).

Всички статистически анализи са извършени с помощта на програмата Statistica 13.0 (TIBCO, Software, 2018).

3. РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

3.1. Изследване върху варирането на показатели свързани с качеството на зърното и взаимовръзките между тях

Генетичното разнообразие е основен ресурс в селекцията, особено при променящите се климатични условия. Оценяването на генетичното разнообразие и включването му в хибридизационните програми е важно за по-нататъшното подобряване на качеството на зърното.

Познанията за зависимостта на експресията на качествените показатели от генотипа, условията на средата или от взаимодействието между тях може да улесни отбора. Скоростта на селекционният процес по даден количествен признак зависи от наличието и размера на взаимодействието генотип-среда.

Изучаването на взаимовръзките между основни групи признаци, свързани с качеството на зърното също е важно условие за тяхното подобряване и може да се изплзва за повишаване ефективността на селекцията.

До този момент в нашата страна подобни изследвания са ограничени и са фокусирани върху някои по-основни качествени показатели, като липсва информация за признаците, определящи силата на глутена и съдържанието на каротиноиди на твърдата пшеница.

3.1.1. Показатели свързани с млевното качество

Физичната кондиция на твърдата пшеница е важен фактор за нейния млевен потенциал и качеството на крайните продукти. Общоприетите класификационни косвени показатели за млевно качество са хектолитрова маса, маса на 1000 зърна и стъкловидност на зърното.

Установено е статистически достоверно влияние на генотипа, условията на средата (годините) и взаимодействието между тях върху експресията на признаците хектолитрова маса, маса на 1000 зърна и стъкловидност. Варирането на хектолитровата маса и стъкловидността се определя в най-голяма степен от условията на средата, докато варирането на масата на 1000 зърна – от генотипа.

Таблица 1. Анализ на варианса на косвените показатели за млевно качество на изследваните генотипове твърда пшеница

Признак	Източник на вариране, % от общото вариране								
	Генотип			Година			Взаимодействие		
	SS	MS	η^2 %	SS	MS	η^2 %	SS	MS	η^2 %
Хектолитрова маса	219.7	9.6**	26.81	403.9	201.9**	49.28	190.5	4.1**	23.24
Маса на 1000 зърна	1330.9	57.9***	46.37	981.0	490.5***	34.18	543.7	11.8***	18.94
Стъкловидност	4677.0	203.3**	12.75	25505.4	12752.7**	69.56	5842.3	127.0**	15.93

*** Significant at $p < 0.001$, ** Significant at $p < 0.01$, * Significant at $p < 0.05$, ns – not significant

На Фиг. 1 и 2 са показани резултатите от трите години на изследване и средните стойности за тези години на признаците хектолитрова маса, маса на 1000 зърна, стъкловидност и добив грис на изследваните генотипове.

Най-високи стойности по показателя хектолитрова маса средно за трите години на изследване са отчетени за линия Д-8367 (83,9 kg/hl), която надвишава стандартния сорт Предел (83,80 kg/hl), линия Д-8362 (83,3 kg/hl) и румънския генотип DF-009114002 (83,5 kg/hl). Най-ниска хектолитрова маса средно за трите реколтни години е отчетена за линия Д-7724 (79,5 kg/hl). Тази линия се характеризира с ниска хектолитрова маса (76,8 kg/hl) през първата година на изследването, което е под желаното минимално ниво 77-78 kg/hl. Хектолитровата маса на изучаваната извадка от генотипове се повлиява от условията на средата особено през първата година на изследване, но в общото вариране за трите реколтни години запазва сравнително стабилни високи стойности.

Средно за трите години на изследване по показателя маса на 1000 зърна три селекционни линии: Д-7864 (45,7 g), Д-7557 (45,0 g) и Д-8308 (44,9 g) превишават по едрина на зърното сорт Предел (44,1 g), отличаващ се с най-високи стойности по този показател сред всички изследвани сортове.

Стъкловидността на изследваните генотипове средно от три години варира между 62,8 и 87,3 %. С най-висока стъкловидност средно за трите реколтни години се характеризират чуждестранните сортове Superdur (87,3%) и Auradur (87,3%), а с най-ниска линията Д-7724 (62,8%).

По-голяма част от анализиранияте генотипове се характеризират с добър млевен потенциал - висока хектолитрова маса, едро зърно, добра стъкловидност и с добро ниво по отношение на добива на грис. С най-висок добив грис за трите години на изследване се характеризира линията Д-8362 (64,4%).

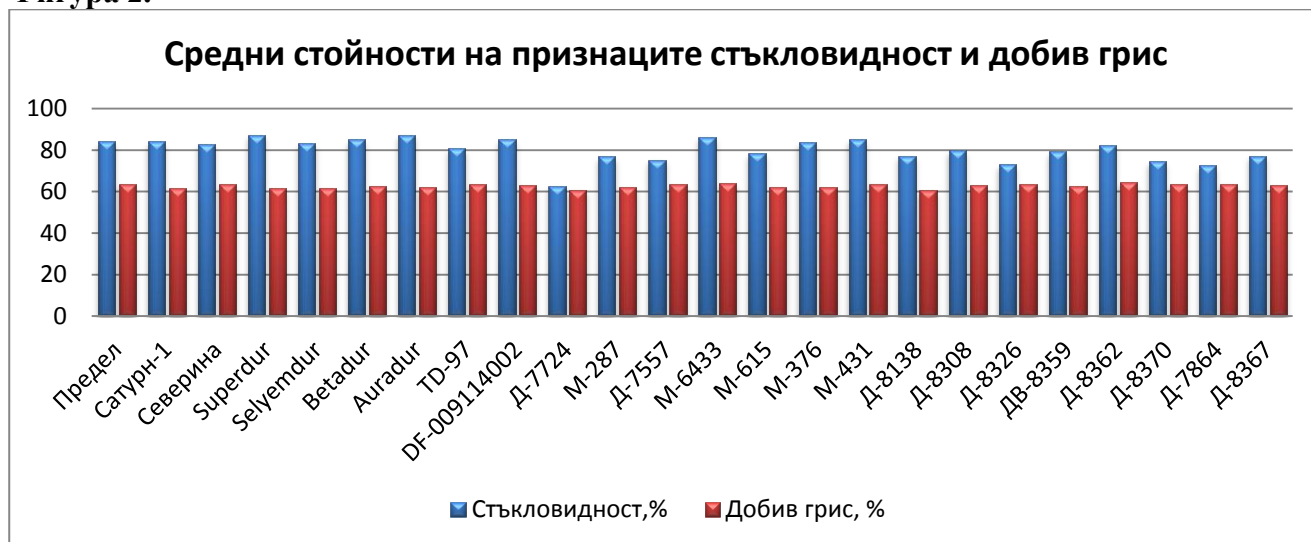
Най-голямо вариране на признаците в извадката от изучаваните генотипове, определено на базата на вариационните коефициенти е установено за масата на 1000 зърна (CV-9,03%) и стъкловидността (CV-10,79%).

Фигура 1.



Статистически параметри	Хектолитрова маса, kg/hl	Маса на 1000 зърна, g
Mean x	81,82	40,23
Min/Max	79,48-83,93	35,0-45,7
Variance	1,59	9,65
Std. dev.	1,26	3,11
CV	2,05	9,03

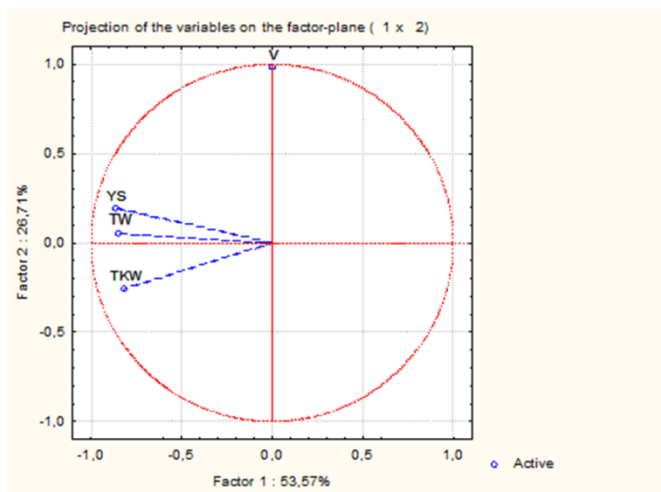
Фигура 2.



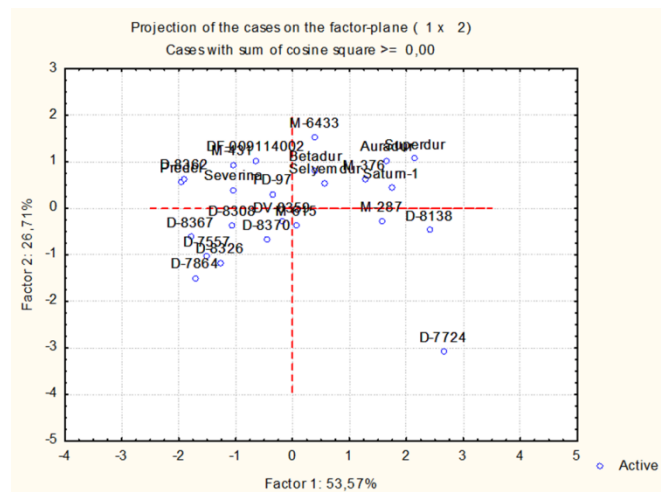
Статистически параметри	Стъкловидност, %	Добив грис, %
Mean x	80,20	62,71
Min/Max	62,83-87,33	60,7-64,37
Variance	33,89	0,97
Std. dev.	5,82	0,98
CV	10,79	2,39

Въз основа на изследваните признаци, свързани с млевното качество на зърното е извършен факторен анализ по метода на главните компоненти в колекцията от 24 броя подобрени генотипове твърда пшеница (Фиг. 3). Както се вижда от над 80 % от общото вариране на фенотипното изражение на генотиповете по изучаваните признаци се дължи на първите два главни компонента – PC₁ и PC₂. Ъглите между векторите на признаците маса на 1000 зърна, хектолитрова маса и добив грис са остри, което показва положителна корелативна връзка между тях. Корелативната връзка между стъкловидността и добива на гриса, макар и положителна е незначителна.

Между признаците маса на 1000 зърна и стъкловидност се образува тъп ъгъл, което показва отрицателна корелативна връзка между двата признака. Наличието на отрицателна корелативна връзка между стъкловидността и масата на 1000 зърна е докладвана и от Rharrabti et al. (2003) при генотипове твърда пшеница, отглеждани при Средиземноморски условия.



Фигура 3. РС анализ на признаци, свързани с млевното качество на зърното



Фигура 4. РС анализ на сортове и линии твърда пшеница

Легенда: YS - Добив грис; TW – Хектолитрова маса; TKW – Маса на 1000 зърна

На Фиг. 4 е представено разположението на генотиповете според техните стойности за главните компоненти PC_1 и PC_2 . При съпоставянето на двете фигури (Фиг. 3 и 4) може да бъде преценено свързването на генотиповете в групи по определени признаци. Колкото точките на генотиповете от Фигура 4 са разположени по-близо до векторите на съответните признаци от Фигура 3, толкова този признак е определящ в групирането им. В групата с най-високи стойности по признаците хектолитрова маса и добив грис попадат 6 генотипа - сортовете Предел и Северина, нашите линии Д-8362, М-431 и два чужди генотипа TD-97 и DF-009114002. Признакът стъкловидност доминира в две от групите. В тях попадат 13 генотипа: изброените в групата доминирана от признаците хектолитрова маса и добив грис и 4-те чужди сорта: Betadur, Auradur, Selyemdur, Superdur; българския сорт Сатурн-1 и две наши линии- М-376 и М-6433. Трета група не е доминирана от нито един от признаците. В нея попадат 4 наши линии: М-615, М-287, Д-7724 и Д-8138. Последната група е доминирана от признака маса на 1000 зърна. В нея се намират 7 линии: Д-7864, Д-8326, Д-7557, Д-8367, Д-8370, Д-8308 и ДВ-8359.

3.1.2. Показатели свързани с кулинарното качество

3.1.2.1. Количество на протеина/глутена в зърното и гриса

Според анализа на варианса (Табл. 2) върху варирането на признаците съдържание на протеин и мокър глутен в зърното и гриса достоверно влияние оказват генотипа, годините на отглеждане и взаимодействието между тях. Варирането в съдържанието на протеин в зърното се дължи в най-голяма степен на условията на средата (51,20%), докато варирането на съдържанието на мокър глутен в зърното (37,09%) на генотипа. Варирането на съдържанието на протеин (50,66%) и на мокър глутен (42,46%) в гриса се дължи в най-голяма степен на условията на средата.

Установеното голямо влияние на условията на средата и взаимодействието между генотипа и средата по отношение варирането на признаците съдържание на протеин и мокър глутен налага изпитването на селекционните материали да се провежда в няколко поредни години за по-точен отбор на генотипове по тези признаци.

Таблица 2. Анализ на варианса на съдържанието на протеин и мокър глютен на генотипове твърда пшеница

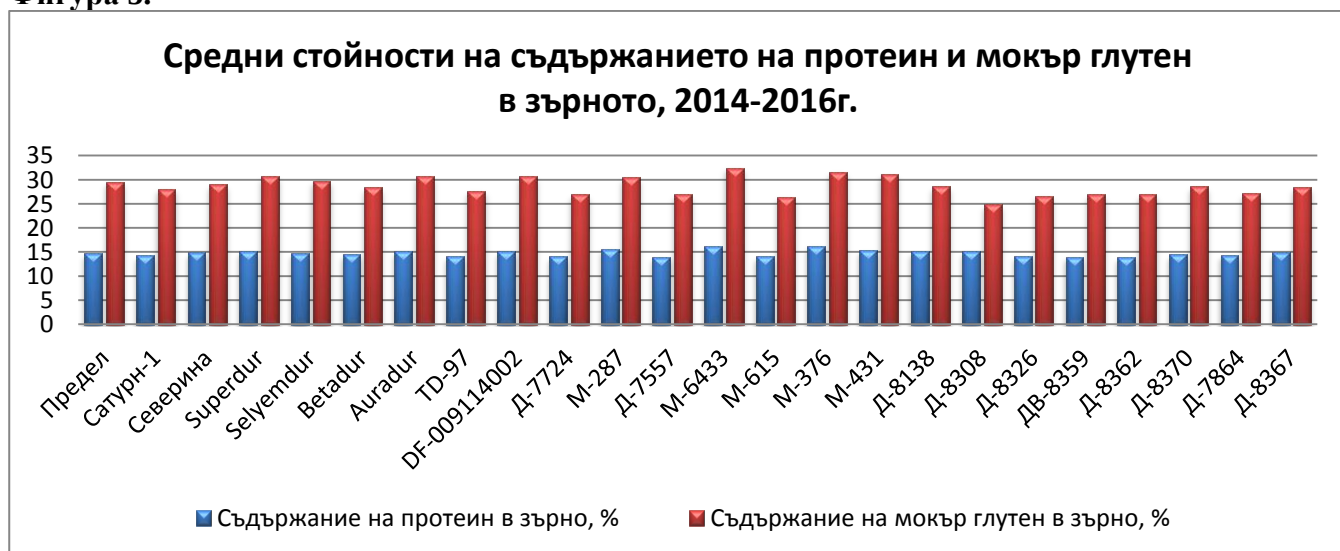
Признак	Източник на вариране, % от общото вариране								
	Генотип			Година			Взаимодействие		
	SS	MS	η^2 %	SS	MS	η^2 %	SS	MS	η^2 %
Съдържание на протеин в зърното, % с.в.	59.18	2.57***	32,54	93.11	46.56***	51,20	28.90	0.63***	15,89
Съдържание на протеин в грис, % с.в.	59,10	2,57***	32,13	93,19	46,59***	50,66	31,16	0,68***	16,94
Съдържание на мокър глютен в зърното, % с.в.	514,5	22,4***	37,09	473,9	237,0***	34,16	388,4	8,4***	28,0
Съдържание на мокър глютен в грис, % с.в.	403,3	17,5**	33,88	505,4	252,7**	42,46	263,7	5,7**	22,15

*** Significant at $p < 0.001$, ** Significant at $p < 0.01$, * Significant at $p < 0.05$, ns – not significant

Съдържанието на протеин и мокър глютен средно за трите години на изследване варира от 13,96 до 16,26% протеин и съответно 24,9-32,5% мокър глютен. Най-високи стойности средно за трите години на показателите съдържание на протеин и мокър глютен в зърното се установяват за линиите М-376 (16,26% протеин и 31,6% мокър глютен) и М-6433 (16,19% протеин и 32,5% мокър глютен). От чуждестранните сортове с най-високо съдържание на протеин и глютен в зърното средно за 3 години се отличават Superdur (15,20 % протеин и 30,6 % мокър глютен), Auradur (15,22 % протеин и 30,6 % мокър глютен) и DF-009114002 (15,06 % протеин и 30,6 % мокър глютен). Те превишават двата стандарта, но отстъпват на най-добрите наши селекционни линии.

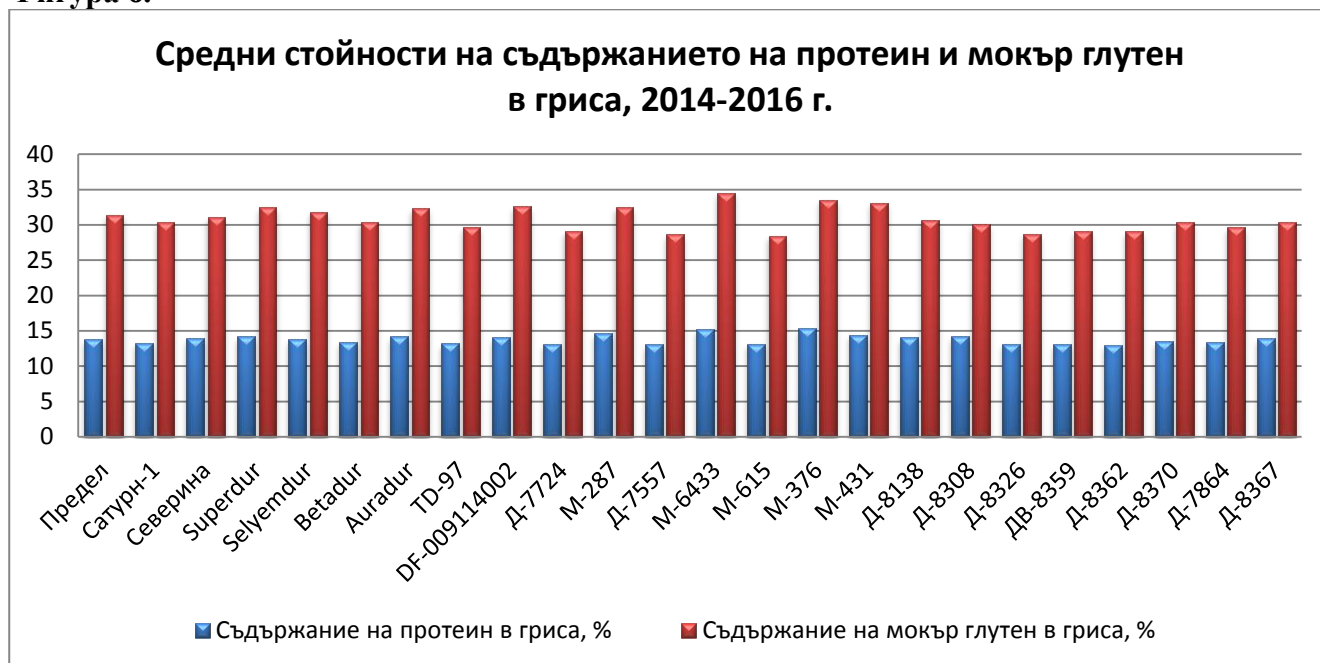
Най-голямо вариране в извадката от изучаваните генотипове, определено на базата на вариационните коефициенти е установено за признака съдържание на мокър глютен в зърното (CV-8,66%). Най-малко вариране е установено за признаците съдържание на протеин в зърното (CV-5,37%) и в гриса (CV-5,84%). Най-голямо вариране през отделните години е установено за признака съдържание на мокър глютен в зърното през реколта 2014 г. (CV-11,08%), което вероятно се дължи на високите нива на повреда от житна дървеница през тази година.

Фигура 5.



Статистически параметри	Съдържание на протеин в зърното, %	Съдържание на мокър глютен в зърното, %
Mean x	13,96-16,26	28,68
Min/Max	0,43	24,9-32,5
Variance	0,66	3,73
Std. dev.	5,37	1,93
CV	13,96-16,26	8,66

Фигура 6.



Статистически параметри	Съдържание на протеин в гриса, %	Съдържание на мокър глютен в гриса, %
Mean x	13,77	30,80
Min/Max	12,98-15,31	28,4-34,47
Variance	0,43	2,92
Std. dev.	0,65	1,71
CV	5,84	7,06

Приложеният РС анализ, представен на Фиг. 7 дава информация за наличието на корелативни връзки между признаците съдържание на протеин и мокър глютен в зърно и грис. Както се вижда значителен процент от общото вариране (99,34 %) на фенотипната изява на генотиповете по изучаваните признаци се дължи на първите два главни компонента – PC_1 и PC_2 . Ъглите между векторите на признаците съдържание на протеин и съдържание на мокър глютен в зърно и грис са остри, което потвърждава общоприетата положителна корелативна връзка между тях. Векторите на признаците съдържание на протеин в зърно и грис съвпадат, което свидетелства за много висока положителна корелативна връзка между тях.

На Фиг. 8 е представено разположението на генотиповете според техните стойности за главните компоненти PC_1 и PC_2 . При съпоставянето на двете фигури (Фигура 7 и 8) може да бъде преценено отделянето на генотиповете в групи по определени признаци. В групата доминирана от признаците съдържание на мокър глютен в зърно и грис попадат 8 генотипа: четирите чужди генотипове Superdur, Auradur, Selyemdur и DF-009114002, българските сортове Предел и Северина и линии М-431 и М- 6433. В групата доминирана от признаците съдържание на протеин в зърно и грис попадат 4 линии: М-376, М-287, Д-8138, Д-8367.

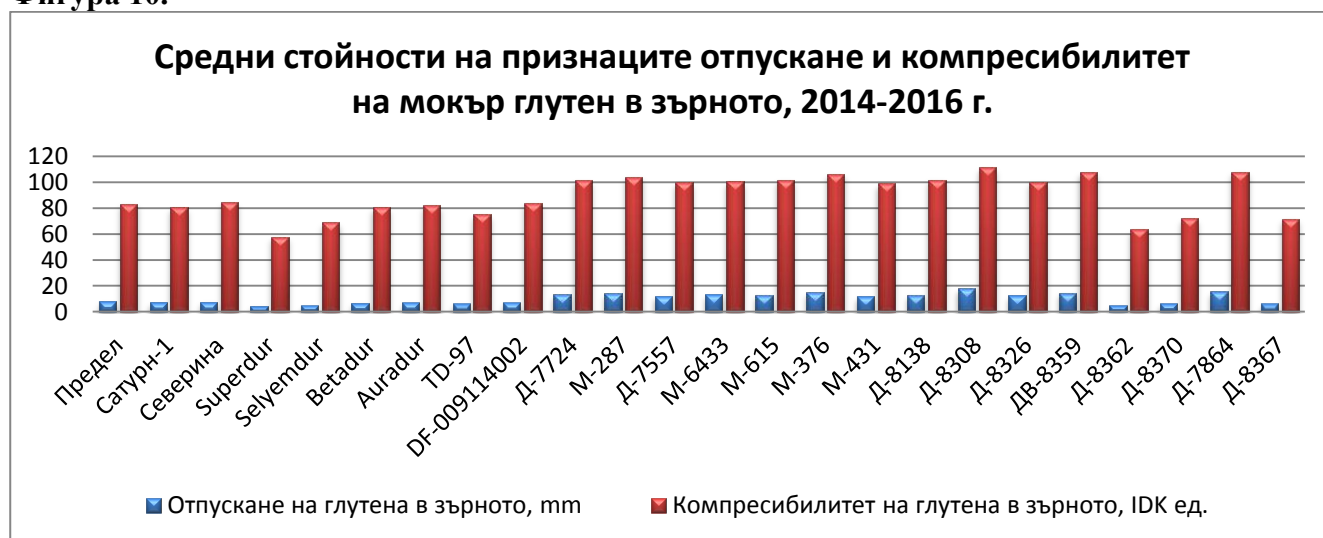
сорт Северина и стандартите Предел и Сатурн-1. SDS-седиментационният обем на тези генотипове средно за трите години на изследване варира от 45 до 74 cm³ (фиг. 9). Показателите за реологичните свойства отпускане и компресибилитет на мокрия глутен в зърното и гриса на тези генотипове са в обхват съответно 4,6-8,1 и 4,7-9,1 mm (фиг. 10 и 11) и 57,8-84,6 и 60,4-87,7 ИДК единици. Останалите линии се характеризират с по-слаб глутен по SDS-обем (19-32 cm³), отпускане (12-15,5 mm за зърно и 15,8-21,4 mm за грис) и компресибилитет (99,4-108,3 ИДК ед. за зърното и 108,7-116,8 ИДК ед. за гриса).

Повредата на зърното от житна дървеница средно за трите години на изследване е в диапазон 1,7-6,0 (фиг. 9), като най-висока е повредата през 2014 (средно 5%), следвана от повредата през 2016 (3,9%), а най - ниска през 2014 (0,4%).

Фигура 9.

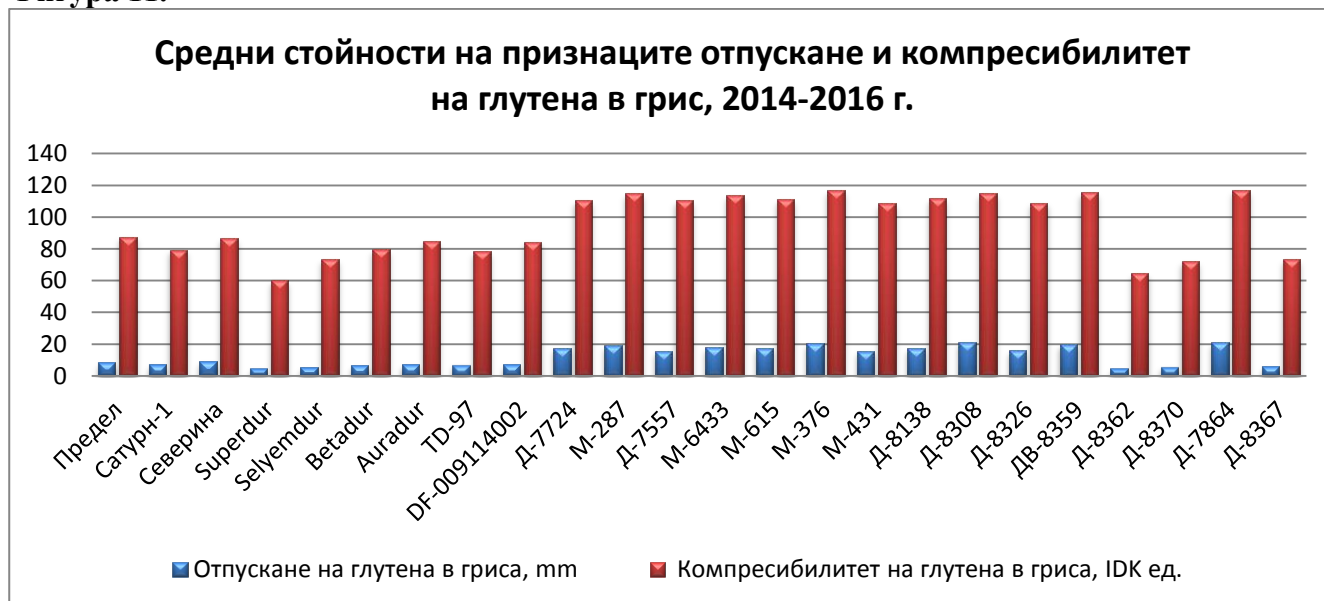


Фигура 10.



Статистически параметри	Отпускане на глутена в зърното, mm	Компресибилитет на глутена в зърното, IDK ед.
Mean x	10,25	89,59
Min/Max	4,6-18,2	57,8-111,3
Variance	16,53	250,54
Std. dev.	4,07	15,83
CV	43,11	18,66

Фигура 11.



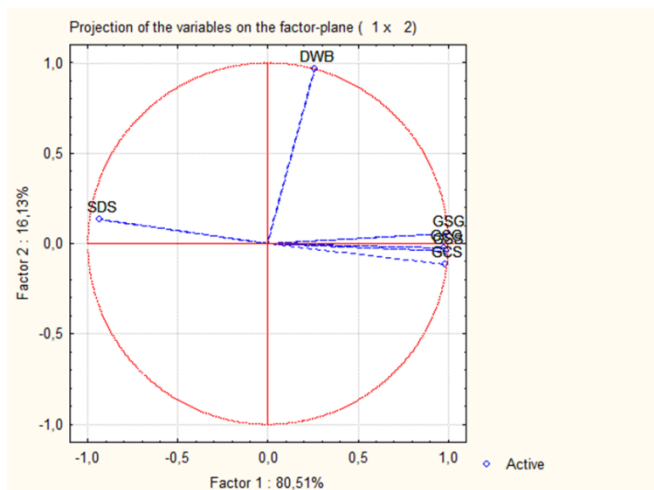
Статистически параметри	Отпускане на глутена в гриса, mm	Компресибилитет на глутена в гриса, IDK ед.
Mean x	12,51	94,97
Min/Max	4,7-21,4	60,4-116,8
Variance	38,52	373,85
Std. dev.	6,21	19,33
CV	52,37	21,18

Най-голямо вариране в общото вариране на признаците в извадката от изучаваните генотипове, определено на базата на вариационните коефициенти е установено за признаците отпускане на глутен за грис (52,37%), отпускане на глутен за зърно (43,11%), повреда от житна дървеница (55,96%) и SDS-седиментационен обем (45,54%). Високите вариационни коефициенти и резултатите от анализа на варианса, показващи незначителното влияние на условията на средата (годините) върху варирането на отпускането на глутена в зърното и SDS-седиментационния обем демонстрират, че в изучаваната извадка от селекционни материали е налице голямо генетично разнообразие по отношение на тези признаци.

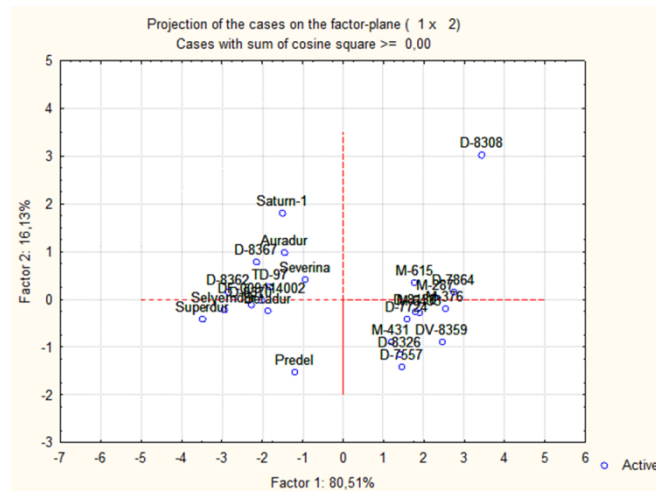
Приложеният РС анализ, представен на Фиг. 12 дава информация за наличието на корелативни връзки между признаците SDS-седиментационен обем, повреда на зърното от житна дървеница, отпускане на глутена за зърно и грис и компресибилитет на глутена за зърно и грис. Както се вижда от фигурата значителен процент от общото вариране (96,64%) на фенотипното изражение на генотиповете по изучаваните признаци се дължи на първите два главни компонента – PC₁ и PC₂.

Векторите на признаците: отпускане на глутена за зърно и грис, компресибилитет на глутена за грис и повреда от житна дървеница са разположени близко един до друг, което свидетелства за положителни корелативни връзки между тези признаци. Острите ъгли между векторите на признаците отпускане на глутен за зърно и грис, компресибилитет на глутен за зърно и грис потвърждават общоприетата корелация между тях. Наличието на тъпи ъгли на вектора на признака SDS-седиментационен обем с всички останали признаци свидетелства за отрицателни корелативни връзки между тях.

На Фиг. 13 е представено разположението на генотиповете според техните стойности за главните компоненти PC₁ и PC₂. При съпоставянето на двете фигури (Фигури 12 и 13) може да бъде преценено свързването на генотиповете в групи по определени признаци. В групата доминирана от признака SDS-седиментационен обем попадат 6 генотипове: 2 чужди - сорт Auradur и линията TD-97, българските сортове Сатурн-1 и Северина и линиите Д-8367 и Д-8362. В групата доминирана от признака компресибицитет на глутена на зърно и грис и отпускане на глутена на зърно се намират 8 генотипа: М-6433, М-376, М-431, Д-8138, Д-7724, Д-8326, Д-7557 и ДВ-8359. В групата доминирана от признаците повреда от житна дървеница, отпускане на глутен в грис попадат 4 от изследваните генотипове. Това са линиите: М-287, М-615, Д-8308 и Д-7864.



Фигура 12. PC анализ на признаците SDS-седиментационен обем, повреда от житна дървеница, компресибицитет и отпускане на глутена в зърно и грис



Фигура 13. PC анализ на сортове и линии твърда пшеница

Легенда: SDS – SDS-седиментационен обем; GSG – Отпускане на мокър глутен в зърно; GSS – Отпускане на мокър глутен в грис; GCG – Компресибицитет на мокър глутен в зърно; GCS – Компресибицитет на мокър глутен в грис.

3.1.2.3. Кулинарно качество на сварения макаронен продукт

Данните от кулинарната оценка на сварените макаронени продукти показват, че кулинарното качество по показателя число на кулинарно качество зависи от комбинацията между силата на глутена и количеството на протеин (фиг. 14). Генотипове със слаб тип глутен, съдържание на протеин 14% с.в. и повреда на зърното от житна дървеница 2-3% дават изделия със средно кулинарно качество (ЧКК=5). Такива са шест селекционни линии: Д-7724 (14.15% протеин), М-615 (14.15%), ДВ-8359 (14.03%), Д-7864-14.37 %), Д-7557 (14.04%) и Д-8326 (14.19%). Със средно кулинарно качество е и макароненият продукт на генотип Д-8308 със слаб тип глутен с протеиново съдържание 15.17% и високо ниво на повреда на зърното от житна дървеница – 6.0%. От два генотипа със слаб тип глутен, но по-високо протеиново съдържание М-287 (15.65%) и Д-8138 (15.10%) и ПЖД 3% се получават макаронени изделия с по-добро кулинарно качество (ЧКК=6). Седем генотипа в зависимост от комбинацията на силата на глутена с протеиновото съдържание (13.96-16.26% с.в.) дават изделия с много добро кулинарно качество (ЧКК=7). Сред тях са двете селекционни линии М-376 и М-6433 със слаб глутен и ПЖД 3%, но с високо протеиново съдържание – 16%. Останалите пет генотипове Сатурн-1, Северина, TD-97, Д-8362, Д-8370 с много добро кулинарно качество (ЧКК=7) са със силен тип глутен (SDS в обхват 45-55 cm³), но с по-ниско протеиново съдържание – 14-14.5% и ПЖД около 4%. Генотиповете, характеризиращи се със силен глутен (SDS в обхват 46-74 cm³), високо

количество протеин (15%) и по-ниска повреда от житна дървеница (средно 2,5%) изявяват отлично кулинарно качество (ЧКК=8). Такива са стандартният български сорт Предел, чуждестранните сортове Selyemdur, Superdur, Betadur, Auradur и селекционните линии DF - 0091114002 и Д-8367. Отделен случай е линия М-431 с ниво на протеин в зърното 15,37% с.в., която е със слаб тип глютен, но показва високо кулинарно качество и през трите години на изпитване (средно ЧКК=7,7).

Фигура 14.



3.1.3. Показатели свързани с цветовото качество

Според анализа на варианса (Табл. 4) върху варирането на изучаваните признаци достоверно влияние оказват генотипа, годините на отглеждане и взаимодействието между тях. Варирането на показателите съдържание на жълти пигменти в зърното (66,10%), гриса (74,78%) и макаронения диск (67,43%) се дължи в най-голяма степен на генотипа. Нашите резултати са в съответствие с установеното от други автори (Braaten et al., 1962; Rharrabti et al., 2003; Santra, 2005), които също докладват значително влияние на генотипа и слабо влияние на средата при варирането на този признак. Информацията за влиянието на взаимодействието между генотипа и средата върху фенотипната изява на този признак е противоречива. Lee et al. (1976) докладват за наличие на статистически значимо влияние на това взаимодействие върху фенотипното вариране на съдържанието на жълти пигменти в зърното, докато Clarke et al. (2006) докладват за незначително взаимодействие между генотипа и средата.

Независимо, че влиянията на условията на отглеждане (година) и взаимодействието между годината и генотипа в това изследване са много по-малки в сравнение с влиянието на генотипа върху варирането на съдържанието на жълти пигменти, те са статистически значими и следва да се вземат под внимание. Взаимодействието между генотипа и годината може да се обясни с различията в силата на индивидуалния отговор на всеки генотип към всяка една отделна година на отглеждане.

Таблица 4. Анализ на варианса на признака съдържание на жълти пигменти във веригата зърно-грис-макаронен диск на генотипове твърда пшеница

Признак	Източник на вариране, % от общото вариране								
	Генотип			Година			Взаимодействие		
	SS	MS	η^2 %	SS	MS	η^2 %	SS	MS	η^2 %
Жълти пигменти в зърно	193.030	8.393***	66.10	79.541	39.770***	27.24	19.233	0.418***	6.59
Жълти пигменти в грис	229,802	9,991***	74,78	59,394	29,697***	19,33	17,975	0,391***	5,85
Жълти пигменти в диск	164,129	7,136***	67,43	64,233	32,117***	26,39	14,878	0,323***	6,11

*** Significant at $p < 0.001$, ** Significant at $p < 0.01$, * Significant at $p < 0.05$, ns – not significant

Средно за трите години на изследването с най-високо съдържание на жълти пигменти в зърно и в грис се характеризират линиите М-431 (10,71 ppm в зърно и 10,42 ppm в грис), TD-97 (9,83 ppm в зърно и 9,58 ppm в грис), М-615 (9,21 ppm в зърно и 8,92 ppm в грис), чуждите сортове Superdur (9,09 ppm в зърно и 8,76 ppm в грис) и Selyemdur (9,01 ppm в зърно и 8,74 ppm в грис) и стандартния сорт Предел (9,25 ppm в зърно и 8,87 ppm в грис)(фиг. 15).

Загубата на жълти пигменти при смилане на зърното до грис средно за трите години на изследване е в диапазон 2,6-14,4%, а при преработването на гриса до макаронен продукт - 11,0-24,2% (фиг. 16). Общите загуби варират в границите 13,6-28,9%, при 22,3% за стандартния сорт Предел и 28,9% за стандартния сорт Сатурн-1. С най-високи пигментни загуби при смилане на зърното до грис се характеризира линията Д-8138 (14,4%), а при преработването до макаронен диск и с най-големи общи загуби се характеризират сорт Selyemdur (24,2% и 27,2%), стандартите Сатурн-1 (21,7% и 28,9%) и Предел (18,3% и 22,3%), линиите: Д-7724 (17,9% и 26,2%), Д-8138 (13% и 27,4%), Д-8326 (18,8% и 23,2%), М-615 (20,1% и 23,3%). Въпреки големите пигментни загуби (23,3%) от линия М-615 се получават изделия с много добър цвят (7,14 ppm), поради високото съдържание на жълти пигменти в зърното (9,21 ppm) и гриса (8,92 ppm).

В резюме най-добър е цветовият потенциал на линия М-431, при която съдържанието на жълти пигменти във веригата зърно-грис-макаронен продукт е средно за трите години 10,71-10,42-9,38 ppm и общи пигментни загуби 16,9%. Следва линия TD-97 със съдържание на жълти пигменти 9,83-9,58-8,52 ppm и пигментни загуби 13,6%.

Най-голямо вариране в общото вариране на признаците в извадката от изучаваните генотипове, определено на базата на вариационните коефициенти е установено за признаците пигментни загуби при смилане на зърното до грис (CV-56,29%) (фиг. 16) и пигментни загуби при преработването на гриса до макаронен продукт (CV-26,16%) (фиг.16), а най-малко за признака съдържание на жълти пигменти в зърното (CV-15,46%) (фиг. 15).

Фигура 15.

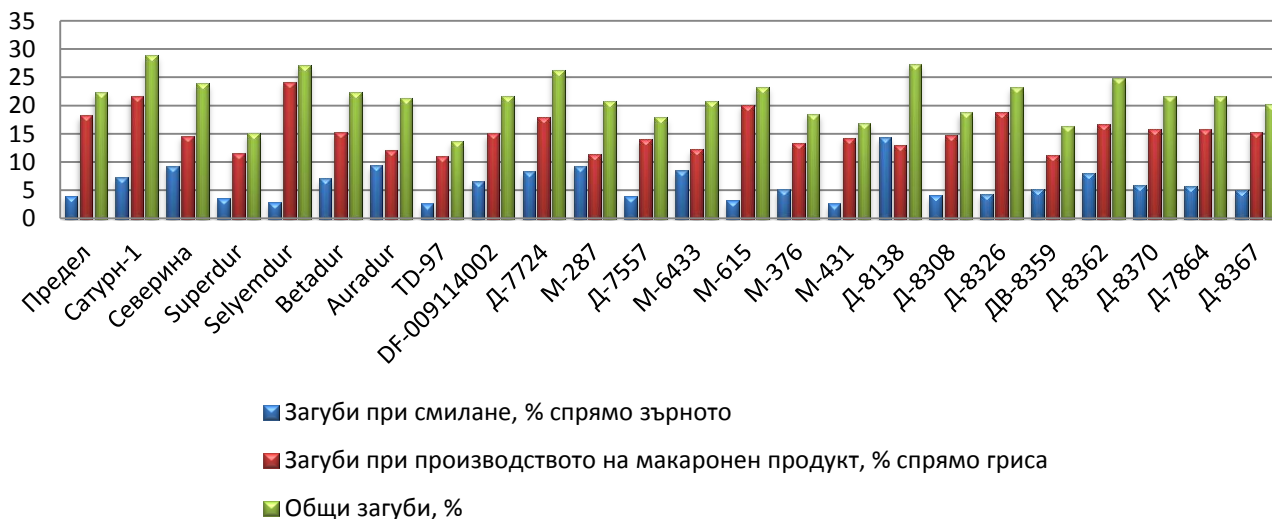
Средни стойности на признаците съдържание на жълти пигменти в зърно, грис и макаронен продукт, 2014-2016 г.



Статистически параметри	Съдържание на жълти пигменти в зърно, ppm	Съдържание на жълти пигменти в грис, ppm	Съдържание на жълти пигменти в макаронен диск, ppm
Mean x	8,06	7,58	6,42
Min/Max	6,04-10,71	5,52-10,42	4,84-8,96
Variance	1,40	1,66	1,19
Std. dev.	1,18	1,29	1,09
CV	15,46	17,68	17,76

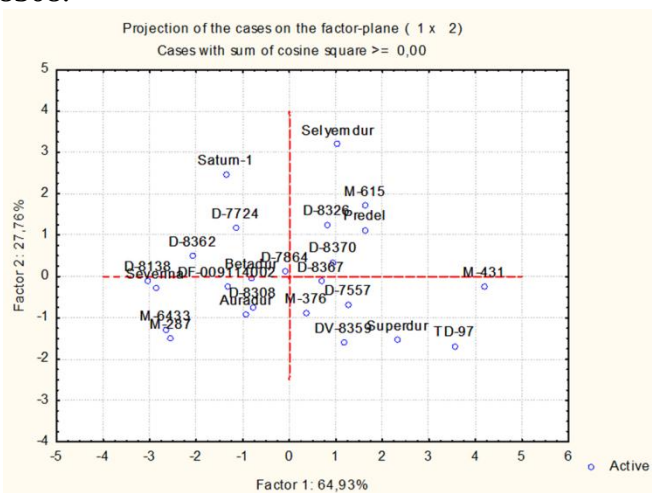
Фигура 16.

Средни стойности на пигментните загуби, 2014-2016 г.



Статистически параметри	Загуби при смилане, % спрямо зърното	Загуби при производството на макаронен продукт, % спрямо гриса	Общи загуби, %
Mean x	6,10	15,35	21,45
Min/Max	2,6-14,4	11,0-24,2	13,6-28,9
Variance	8,08	11,75	15,23
Std. dev.	2,84	3,43	3,9
CV	56,29	26,16	23,18

На Фиг. 18 е представено разположението на генотиповете според техните стойности за главните компоненти PC₁ и PC₂. В групата доминирана от признака общи загуби попадат 4 генотипа: стандартния сорт Сатурн-1 и линиите: Д-7724, Д-8362, Д-7864. В групата доминирана от признаците пигментни загуби при преработването на грис до макаронен продукт и съдържание на жълти пигменти в зърно и грис попадат 5 генотипа: стандартният сорт Предел, чуждия сорт Selyemdur и линиите: М-615, Д-8326, Д-8370. В третата група доминирана от признака съдържание на жълти пигменти в грис попадат 7 генотипове: двата чужди генотипа сорт Superdur и линията TD-97 и нашите линии: М-431, М-376, Д-8367, Д-7557, ДВ-8359. В последната група доминирана от признака пигментни загуби при смилане на зърното до грис попадат 8 генотипове: чуждите генотипове Betadur, Auradur, DF-009114002, българският сорт Северина и линиите: М-287, М-6433, Д-8138, Д-8308.



Фигура 18. РС анализ на сортове и линии твърда пшеница

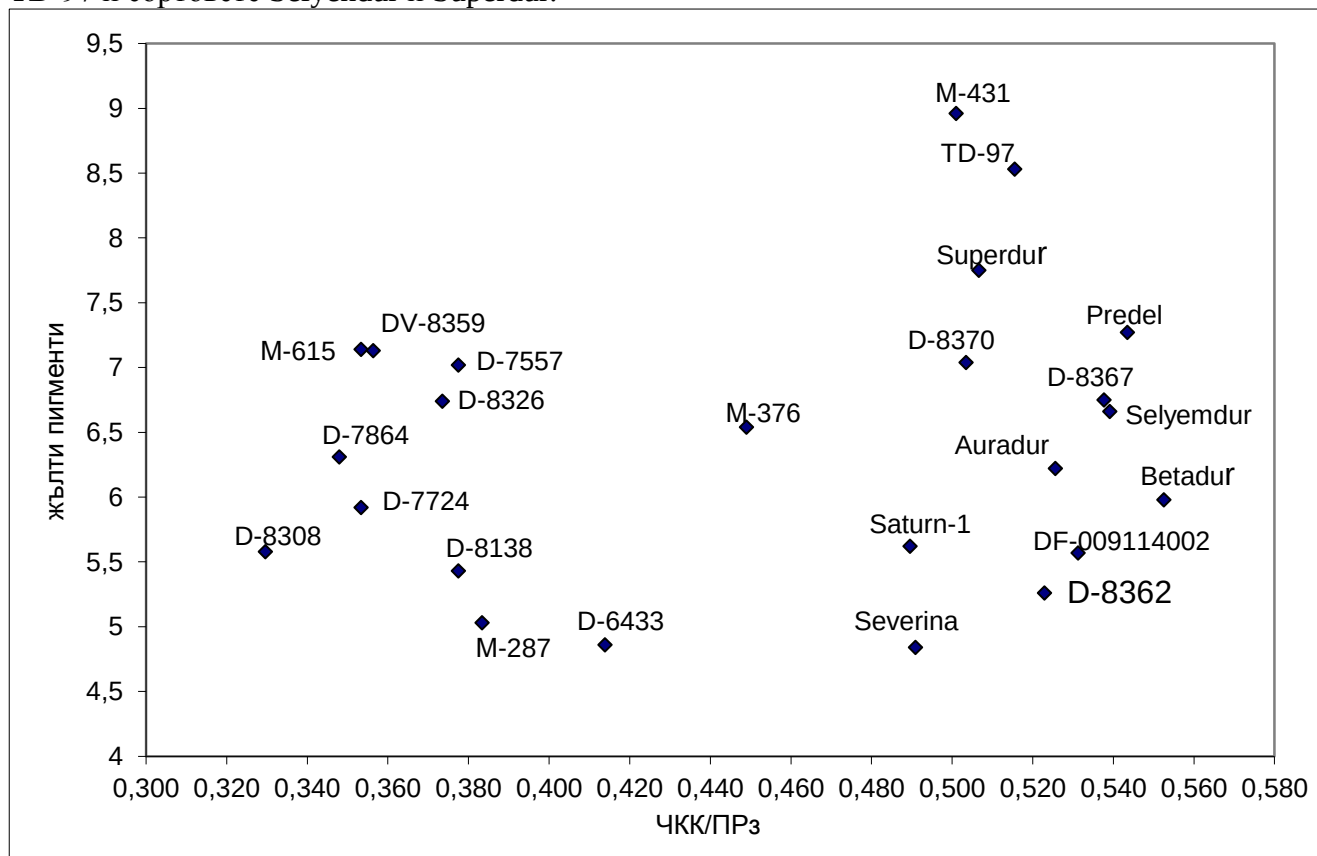
3.1.4. Класификация на генотиповете твърда пшеница по цвят и кулинарно качество на макаронените продукти

16

протеиновото съдържание е отчасти елиминирано, като кулинарният резултат е изразен на единица протеин в зърното (ЧКК/ПРз).

Твърдите пшеници с по-добро кулинарно качество се намират в дясната част на графиката, а линиите с повече жълти пигменти – в горната част на графиката. Генотиповете с висока позиция по кулинарно качество се характеризират с протеиново съдържание в зърното в обхват 13,69-15,22% с.в. и силен глютен по показателите SDS-обем (45-74 cm³), отпускане (5-8 mm) и компресибилитет (59-85 ИДК ед.). Генотиповете с висока позиция по цвят на макаронения продукт са със съдържание на жълти пигменти в зърното в диапазон 8,38-10,71 ppm с.в.

Най-висока позиция по цвят заема линия М-431, следвана от TD-97 и Superdur, а по кулинарно качество Betadur, Selyemdur и Д-8367. Твърди пшеници, които подобно на Предел комбинират силен глютен и високо съдържание на жълти пигменти са линиите Д-8367, Д-8370, TD-97 и сортовете Selyendur и Superdur.



Фиг. 19. Технологична класификация на генотиповете твърда пшеница по качество на макаронените продукти

Самостоятелен случай е линия М-431 с много високо съдържание на жълти пигменти в зърното (10,71 ppm с.в), ниво на протеин в зърно 15,37% с.в., която независимо от това, че показателите на glutena й като средни стойности от трите реколти съответстват на слаб тип глютен, притежава високо кулинарно качество и през трите години на изпитване (средно ЧКК=7,7).

3.2. Изследване върху варирането на основни агрономически признаци и взаимовръзките между тях

Подобряването на качеството на зърното не е лесна задача, поради това че основните селекционни критерии за отбор във всяка селекционна програма са добивът и свързаните с него агрономически признаци. Обикновено, показателите свързани с качеството се оценяват на много по-късен етап в отбрани високодобивни линии, поради което ефективността на селекцията по тези признаци е ниска.

Наличието на някои неблагоприятни корелации между важни качествени признаци и свързани с добива признаци (Rharrabti, Y., et al., 2000; Bilgin, O., et al., 2010) е друг важен фактор, ограничаващ успеха на селекционната работа по отношение на качеството на зърното.

От друга страна отборът на високодобивни генотипове по отделни признаци също е затруднен, поради наличието на различни взаимодействия и компенсационни механизми между отделните компоненти на добива, в зависимост от взаимодействията между генотипа и околната среда (Slafer et al., 2014).

Преди да бъдат включени в хибридационна програма генотиповете, за които има информация, че са носители на ценни качествени показатели на зърното, трябва да бъдат оценени и по отношение на добива и основни агрономически признаци.

В настоящото изследване извадката от 24 генотипа е анализирана по следните агрономически признаци: братимост, височина на растенията, дължина на класа, брой класчета в клас, брой зърна в клас, тегло на зърната в клас и добив.

Според анализа на варианса (таблица 5) върху варирането на изучаваните признаци достоверно влияние оказват генотипа, годините на отглеждане и взаимодействието между тях. Варирането на признаците брой зърна в клас (68,59%), тегло на зърната в клас (43,52%), височина на растението (68,9%), дължина на класа (73,48%) и брой класчета в клас (62,85%) се дължи в най-голяма степен на генотипа. За варирането на тези признаци най-малко е значението на средата (годината) с изключение на признака тегло на зърната в клас, при който влиянието на средата е по-голямо, отколкото взаимодействието.

Най-голямо е значението на генотип-среда взаимодействието при варирането на признака братимост (36,97%), а влиянието на генотипа и средата е почти еднакво.

Показателят добив на зърно се влияе в най-голяма степен от средата (52,04%). Значително по-слабо е влиянието на взаимодействието (23,19%) и генотипа (18,21%) върху варирането на този признак.

Установеното голямо влияние на условията на средата и средно по сила взаимодействие между генотипа и средата по отношение на добива на зърно налага изпитването на селекционните материали да се провежда в няколко поредни години за по-точен отбор на високодобивни генотипове.

Таблица 5. Анализ на варианса на изучавани агрономически признаци на генотипове твърда пшеница

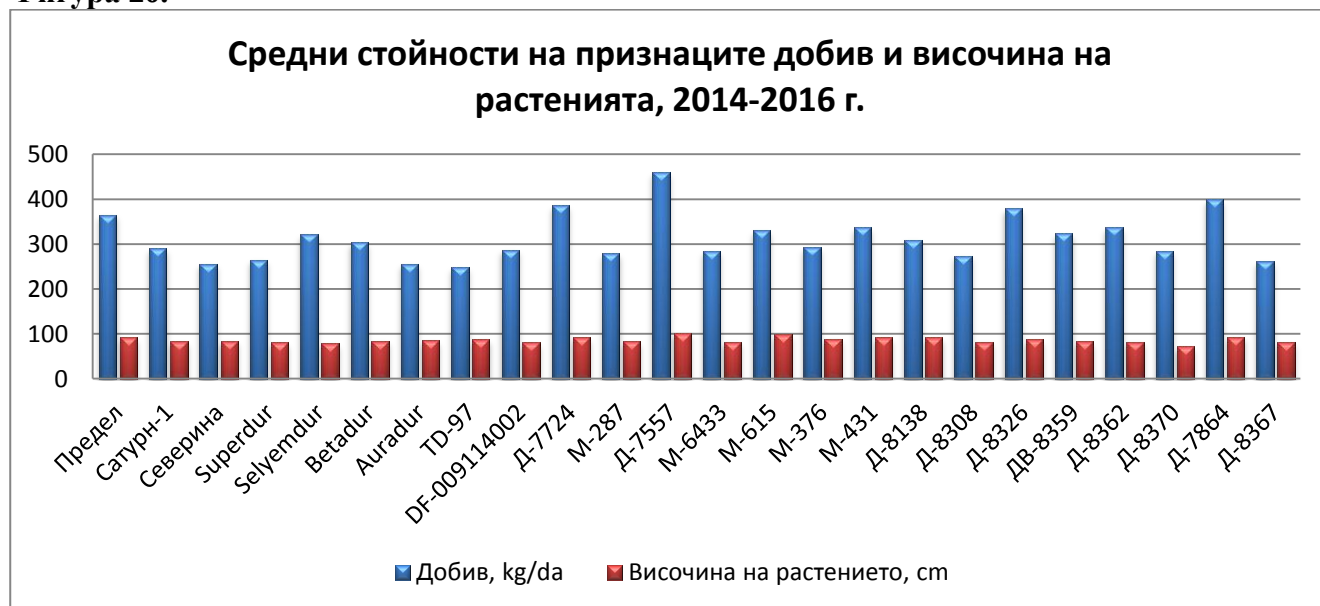
Признак	Source of variation, % from the total variation								
	Генотип			Година			Взаимодействие		
	SS	MS	η^2 %	SS	MS	η^2 %	SS	MS	η^2 %
Добив	584722	25423**	18,21	1671230	835615**	52,04	744600	16187**	23,19
Братимост	76,670	3,333**	24,97	72,085	36,042**	23,48	113,500	2,467**	36,97
Брой зърна в клас	10899,8	473,9***	68,59	7,4	3,7ns	0,05	3479,9	75,6***	21,90
Тегло на зърната в клас	27,112	1,179**	43,52	16,750	8,375**	26,89	12,987	0,282**	20,85
Височина на растение	9232	401**	68,9	1260	630**	9,40	2353	51**	17,56
Дължина на класа	147,86	6,43***	73,48	4,61	2,31***	2,29	31,47	0,68***	15,64
Брой класчета в клас	487,9	21,2**	62,85	58,9	29,5**	7,59	153,1	3,3**	19,72

*** Significant at $p < 0.001$, ** Significant at $p < 0.01$, * Significant at $p < 0.05$, ns – not significant

Направен е вариационен анализ на агрономически признаци свързани с добива средно за трите реколтни години 2014-2016 и за всяка година по отделно (фигури 20, 21, 22, 23). Най-голям вариационен коефициент средно за трите реколтни години е отчетен за признаците добив (CV=26,64%) (фиг. 20), тегло на зърната в клас (CV=19,46%) (фиг. 23) и брой зърна в клас

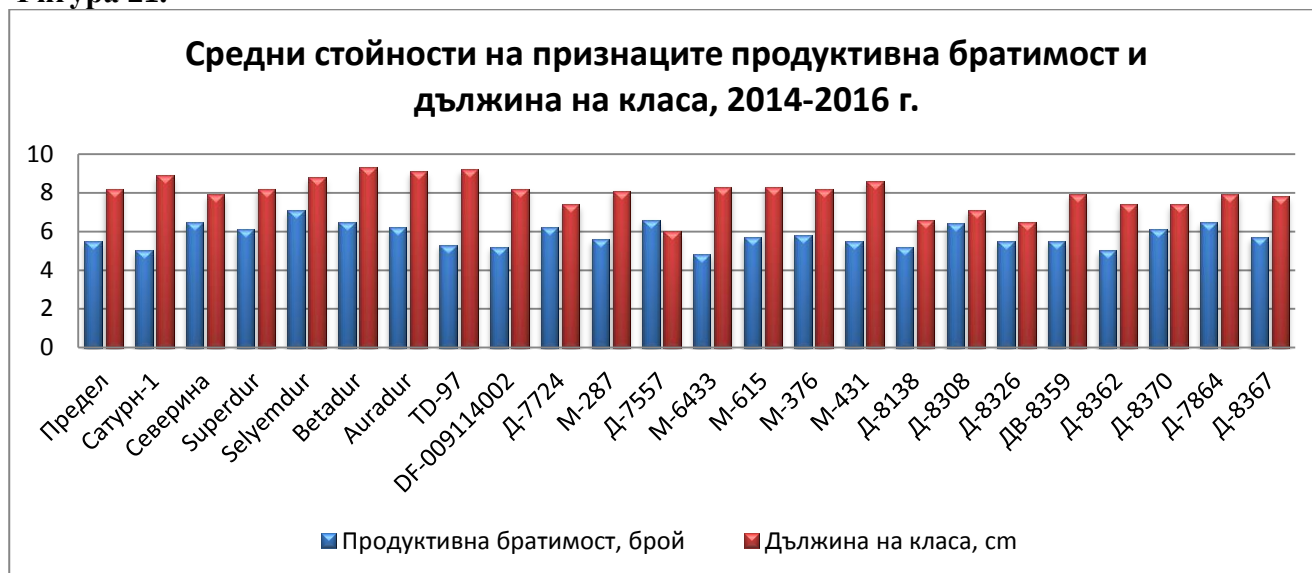
(CV=14,94%) (фиг. 22). Най-висок коефициент на вариране е изчислен през първата реколтна година за признака добив на зърно (CV=36,76%), която се характеризира с най-ниски добиви. Средно за трите години на изпитване добивът варира в границите от 249-460 kg/da, като с най-висок добив и за трите реколтни години се характеризират линиите: Д-7557 (460 kg/da), Д-7864 (400 kg/da), Д-8326 (380 kg/da) и Д-7724 (386 kg/da), които надвишават стандартния сорт Предел (365 kg/da). Всички чуждестранни сортове и линии показват по-ниски добиви в сравнение със стандартния сорт Предел, като сортовете Selyemdur и Betadur са реализирали най-високи добиви сред тях. По отношение на братимостта варирането средно за трите години на изследване е в границите от 4,8-7,1. С най-висока братимост за периода на изследване се характеризира сорт Selyemdur (7,1 броя), а с най-ниска линията М-6433 (4,8 броя) (фиг. 21). Значително вариране се наблюдава по отношение на признака височина на растението и за трите години на изследване средно от 72,4-102,5 cm (фиг. 20). С най-ниско стъбло се характеризира линията Д-8370 (72,4 cm), а с най-високо линията Д-7557 (102,5 cm). Дължината на класа варира значително от 6-9,3 cm (фиг. 21). С най-дълъг клас се характеризират чуждите сортове: Betadur (9,3 cm), Auradur (9,1 cm), линията TD-97 (9,2 cm) и стандартният сорт Сатурн-1 (8,9 cm). По показателя брой класчета в клас варирането е в границите от 20,2-25,6 броя (фиг. 22). С най-висок брой класчета в клас се характеризират линиите Д-8326 (25,6 броя) и М-615 (25,3 броя). С най-малък брой класчета в клас е линията Д-8138 (20,2 броя). Значително вариране се наблюдава по отношение на броя на зърната в класа (фиг. 22). Този показател варира в границите от 45,5-69,1 брой зърна. С най-голям брой зърна средно за трите години се характеризират стандартния сорт Сатурн-1 (69,1 броя) и линиите Д-8367 (67,9 броя) и Д-8370 (67,2 броя), а с най-нисък линията М-615 (45,5 броя). Теглото на зърната в класа варира от 1,77-3,43 g (фиг. 23). С най-високо тегло на зърната в клас и през трите реколтни години е линията Д-8367 (3,43 g), а с най-ниско линията М-6433 (1,77 g).

Фигура 20.



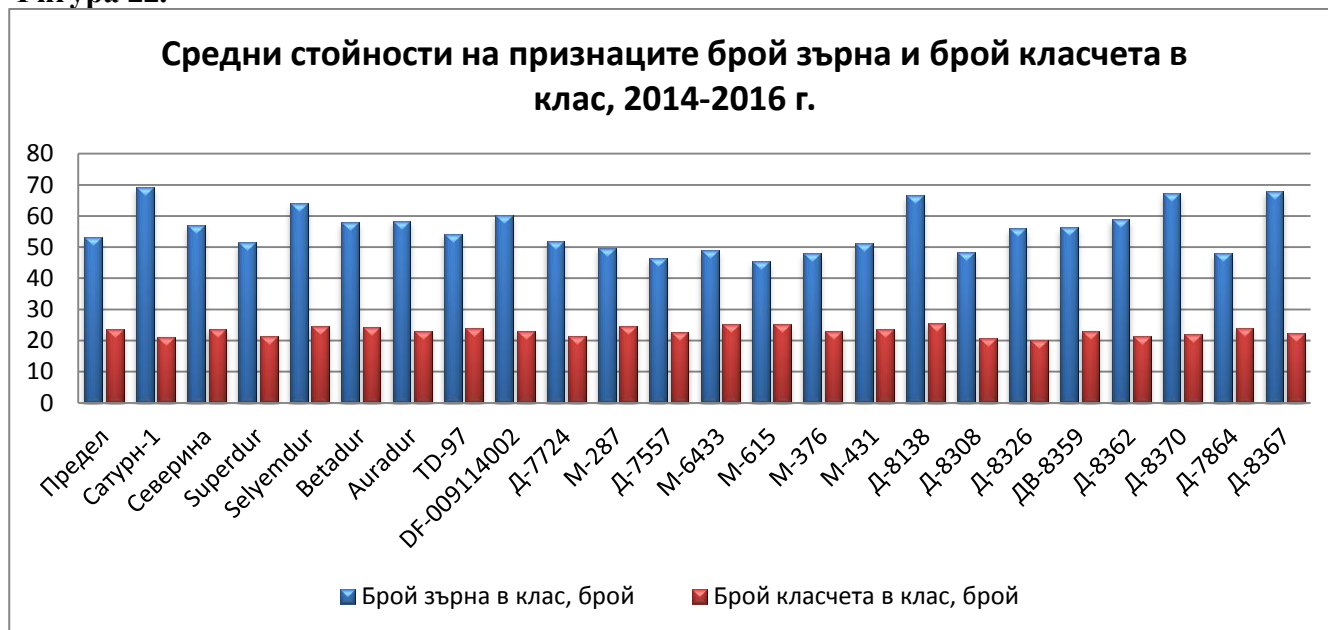
Статистически параметри	Добив, kg/da	Височина на растението, cm
Mean x	314,04	86,23
Min/Max	249-460	72,4-102,5
Variance	2824,824	44,55
Std. dev.	53,15	6,67
CV	26,64	8,64

Фигура 21.



Статистически параметри	Продуктивна братимост, брой	Дължина на класа, cm
Mean x	5,81	7,97
Min/Max	4,8-7,1	6,0-9,3
Variance	0,36	0,72
Std. dev.	0,60	0,85
CV	14,33	8,25

Фигура 22.



Статистически параметри	Брой зърна в клас, брой	Брой класчета в клас, брой
Mean x	55,7	23,10
Min/Max	45,5-69,1	20,2-25,6
Variance	52,5	2,36
Std. dev.	7,25	1,54
CV	14,94	7,38

Фигура 23.



Приложеният РС анализ, представен на фигура 24 дава информация за наличието на корелативни връзки между добива и останалите агрономически признаци. На първите два главни компонента – PC_1 и PC_2 се дължи около 62 % от общото вариране на фенотипното изражение на генотиповете по изучаваните признаци. Този процент не е много висок и свидетелства за значително разнообразие на изучаваните генотипове по агрономическите признаци.

Векторът на признака добив е разположен между векторите на признаците височина и братимост, а всички те се намират близо един до друг, което свидетелства за положителни корелативни връзки между тях. Положителни корелативни връзки са налице и между броя и теглото на зърната в клас и между дължината на класа и броя на класчетата в клас.

Наличието на тъпи ъгли между вектора на добива и векторите на признаците брой класчета в клас, дължина на класа и брой зърна в клас показва отрицателни корелативни връзки между тях. Освен това е налице отрицателна корелативна връзка и между броя на класчетата в клас и теглото на зърната в клас и между височината и броя на зърната в клас.

Липсата на взаимовръзка между броя на класчетата и добива в съвременните сортове пшеница е установена и от други автори и може да бъде обяснена с факта, че по-големият брой класчета е свързан с по-дълъг вегетационен период, което не е било селекционна цел при подобряването на пшеницата (Rawson et al., 1970). Според Philipp et al. (2018) по-големият брой зърна в клас в съвременните сортове пшеница се дължи по-скоро на повишената фертилност на класчетата, отколкото на повишаването на броя на класчетата в клас, което обяснява и установената в това изследване отрицателна корелация между тези два признака.

На фигура 25 е представено разположението на генотиповете според техните стойности за главните компоненти PC_1 и PC_2 . При съпоставянето на двете фигури (фиг. 24 и 25) може да бъде преценено свързването на генотиповете в групи по определени признаци. В групата доминирана от признака дължина на класа попадат 7 генотипа: чуждите сортове-Auradur, Betadur, Superdur, Selyemdur; двете чужди линии-TD-97 и DF-009114002, както и българският сорт Северина. В групата доминирана от признака брой класчета в класа попадат също 7 генотипа: линиите М-6433, М-287, М-615, М-376, М-431, Д-8138 и стандартният сорт Предел. В третата група доминирана от признаците: добив, братимост и височина на растенията попадат 4 от изследваните генотипове. Това са най-високодобивните линии: Д-7864, Д-7724, Д-7557 и Д-8326. Четвъртата група е доминирана от признаците тегло на зърната в клас и брой зърна в

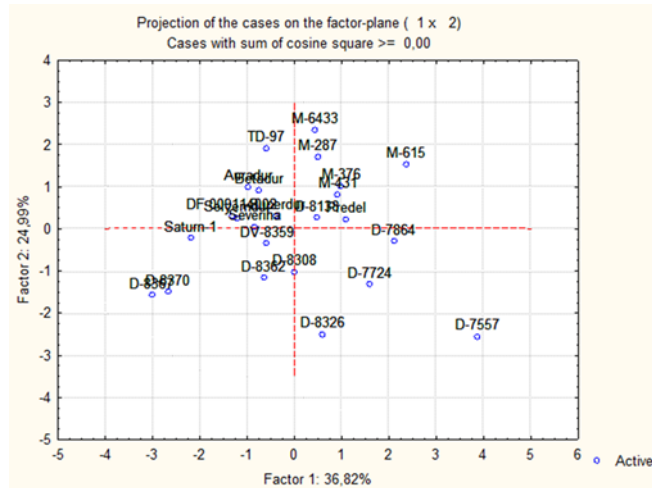
Projection of the variables on the factor-plane (1 x 2)

Factor 2 : 24.99%

Factor 1 : 36.82%

Active

Легенда: Y – Добив; T – Братимост; PH – Височина на растението; SPS – Брой класчета в клас; SPL – Дължина на класа; KNS – Брой зърна в клас; KWS – Тегло на зърната в клас



на на растението; SPS – Брой класчета в клас;
KWS – Тегло на зърната в клас

Познанията за взаимовръзките между признаците, които характеризират добива и качеството са от важно значение за отбора на подходящи генотипове в селекционните програми. Анализът на корелационните коефициенти е един от най-широко използваните методи за тази цел.

С цел откриване на взаимовръзки между качествени и агрономически признаци в изучавания набор от генотипове е извършен корелационен анализ въз основа на средните данни от трите години (таблица 6).

Между агрономическите признаци и качествените показатели са налице както положителни, така и отрицателни взаимовръзки. Височината на растенията корелира положително с компресибилитета ($r=0.58$) и с отпускането ($r=0.54$) на мокрия глутен в зърното и отрицателно с SDS ($r=-0.53$) и кулинарното качество ($r=-0.47$). Анализът показва позитивни взаимовръзки на признака дължина на класа със стъкловидността ($r=0.59$), мокрия глутен в зърното ($r=0.41$), SDS седиментационния обем ($r=0.50$) и числото на кулинарно качество ($r=0.60$). Броят зърна в клас корелира положително с SDS-обема ($r=0.60$) и числото на кулинарно качество ($r=0.45$) и отрицателно с компресибилитета ($r=-0.51$) и с отпускането ($r=-0.56$) на мокрия глутен в зърното. Установена е положителна корелативна връзка на теглото на зърната в клас с хектолитровата маса ($r=0.45$), масата на 1000 зърна ($r=0.45$), SDS-обема

($r=0.44$) и отрицателна с компресибилитета ($r=-0.45$) и с отпускането ($r=-0.50$) на мокрия глютен в зърното.

Между показателите от различни групи, свързани с качеството на зърното са установени както положителни, така и отрицателни взаимовръзки. Някои от тях в рамките на една и съща група от качествени показатели са установени и чрез РС анализите, резултатите от които са представени в предните глави и се потвърждават и от корелационния анализ. Хектолитровата маса корелира положително с масата на 1000 зърна ($r=0.53$) и добива на грис ($r=0.62$), а масата на 1000 зърна – положително с добива на грис ($r=0.57$) и отрицателно със съдържанието на протеин ($r=-0.48$) и глютен в зърното ($r=-0.49$). Резултатите показват положителна корелативна връзка на стъкловидността със съдържанието на протеин ($r=0.45$) и глютен в зърното ($r=0.63$), с SDS-обема ($r=0.45$) и с кулинарното качество ($r=0.68$) и отрицателна с отпускането ($r=-0.46$). Налице е отрицателна корелативна връзка между повредата от житна дървеница със съдържанието на жълти пигменти в зърното ($r=-0.41$). Мокрият глютен корелира положително с протеина ($r=0.92$) и числото на кулинарно качество ($r=0.56$).

SDS-обемът е в силна отрицателна корелация с компресибилитета $r=(-0.84)$ и отпускането ($r=-0.90$) и в силна положителна - с числото на кулинарно качество ($r=0.79$). Компресибилитетът се намира в силна положителна взаимовръзка с отпускането ($r=0.97$) и в отрицателна с числото на кулинарно качество ($r=-0.70$). Отпускането е в силна отрицателна корелация с числото на кулинарно качество ($r=-0.75$).

Отрицателната взаимовръзка между добива и съдържанието на протеин, установена в нашето изследване е общоприета и докладвана от много автори (Chung et al., 2003; Würschum et al., 2016). Тя е един от основните фактори, затрудняващи отбора на генотипове с високо протеиново съдържание (Blanco et al., 2006). Тази отрицателна корелация илюстрира взаимовръзката между метаболизма на въглерода и азота (N) в растенията (Lam et al., 1996). Във връзка с преодоляване на тази негативна корелация и създаването на високодобивни и високопротеинови генотипове е препоръчително да започне прилагането на селекционни индекси и в нашата селекционна програма, а също така и да продължи работата по отдалечена хибридизация.

Взаимовръзката между добива и масата на 1000 зърна (TKW) е отбелязвана досега от много автори (Li et al., 2006; Akram et al., 2008) и се счита, че TKW е един от основните компоненти на добива, който се използва за отбор на високодобивни генотипове в селекционните програми (Torral et al., 2004). Освен това, поради установената положителна корелация между TKW и добива на грис ($r=0.57$), може да се предположи, че при нашите условия селектирането на генотипове с по-висока маса на 1000 зърна допринася и за подобряване на едно от най-важните млевни качества. От друга страна трябва да се има предвид, че поради наличието на отрицателна корелация на TKW със съдържанието на протеин ($r=-0.47$) и мокрия глютен в зърното ($r=-0.48$), отборът на генотипове с по-едри зърна ще води до получаване на по-нископротеинови селекционни линии.

Установените от нас много силни взаимовръзки между трите показателя, чрез които се измерва силата на glutena - SDS – обема, компресибилитета (GCG) и отпускането (GSG) ще позволи оптимизиране на отбора чрез използване само на SDS – обема, който се измерва значително по-лесно и по-бързо и е необходим много по-малко материал.

Наличието на силна положителна взаимовръзка между SDS – обема и кулинарното качество на готовите макаронени изделия ще позволи в нашата селекционна програма да бъдат отбирани генотипове, от които да бъдат получавани макарони с високо кулинарно качество, без да се прави специализирана оценка по време на селекционния процес, която изисква допълнително оборудване, време и средства.

Таблица 6. Статистически достоверни коефициенти на корелации (средно за реколтни години 2014-2016) при $r > 0.404^*$; $r \geq 0.515^{**}$; $r \geq 0.670^{***}$

	KNS	TW	TKW	V	PH	SPL	YS	TL	PCG	WGG	SDS	GCG	GSG	DWB	CS
Y			0.43	-	0.67	-			-0.47	-0.48	-	0.44	0.44	-0.44	-
PH				0.52		0.53					0.41				0.50
SPL															
SPS															
KNS								0.49				0.60	-0.51	-0.56	0.45
KWS	0.69	0.45	0.45									0.44	-0.45	-0.50	
TW			0.53				0.62								
TKW							0.57		-0.48	-0.49					
V									0.45	0.63	0.45		-0.46		0.68
YPG														-0.41	
WGG									0.92						0.56
SDS												-0.84	-0.90		0.79
GCG													0.97		-
GSG															0.70
															-
															0.75

Легенда на таблица 6: Y- Добив; KWS – Тегло на зърната в клас; KNS – Брой зърна в клас; PH – Височина на растението; SPL – Дължина на класа; SPS – Брой класчета в клас; TW – Хектолитрова маса; TKW – Маса на 1000 зърна; V – Стъкловидност; YS – Добив грис; TL – Общи загуби; PCG – Съдържание на протеин в зърното; WGG – Съдържание на мокър глютен в зърното; GCG – Компресибилитет на мокър глютен в зърно; GSG – Отпускане на мокър глютен в зърно; SDS – седиментационен обем; DWB – Повреда от житна дървеница; CS – Число на кулинарно качество

3.4. Генетични изследвания на основни показатели, свързани с качеството на зърното

3.4.1 Наследяване и генетичен напредък

Наследяемостта е показател за фенотипното вариране, което се дължи на генетични причини и има прогнозна функция в растителната селекция (Eid, 2009). Според Khan et al. (2009) колкото е по-висок коефициентът на наследяване, толкова по-прости са процедурите за отбор. Наследяемостта в широк смисъл показва само дали има достатъчно генетично вариране в популацията и как популацията ще отговори на селекционния натиск (Gatti et al., 2005; Milatovic et al., 2010).

Въз основа на натрупаните данни от проведения 3 годишен експеримент с набора от 24 генотипове с разнообразен произход е определено варирането, наследяването в широк смисъл и генетичният напредък за някои от по важните признаци, свързани с качеството на зърното: съдържание на протеин, мокър глютен, жълти пигменти, SDS –седиментация, маса на 1000 зърна, хектолитрова маса, стъкловидност и добив зърно.

Извършеният анализ на варианса показва, че средните квадрати, годините на отглеждане и взаимодействието между тях са статистически значими за всички изследвани признаци (таблица7).

Средните стойности, размахът на вариране и фенотипните и генотипни коефициенти на вариране на всички изследвани признаци за 24-те генотипове твърда пшеница за годините на отглеждане са показани в таблица 8. Фенотипният коефициент на вариране (PCV) е по-висок от генотипния коефициент на вариране (GCV) за всички изследвани признаци и отразява влиянието на условията на средата (годината на отглеждане) върху варирането на тези признаци.

Таблица 7. Средни квадрати на признаци свързани с качеството на зърното и добива при изследваните генотипове твърда пшеница - 2014-2016г.

Traits Признаци	Година/Среда Year/Environments	Генотип Genotype	Генотип-среда взаимодействие GxE	Грешка Error
Добив/Yield	835615**	25423**	16187**	1464
Съдържание на протеин/PC	46,56***	2,57***	0,63***	0,01
Съдържание на мокър глутен/Wet gluten	237,0***	22,4***	8,4***	0,1
SDS-седиментационен обем/SDS	133,3***	1848,7***	60,8***	2,5
Съдържание на жълти пигменти в зърното/YPG	39,770***	8,393***	0,418***	0,003
Стъкловидност/V	12752,7*	203,3*	127,0*	9,0
Хектолитрова маса/TW	201,9**	9,6**	4,1**	0,1
Маса на 1000 зърна/TKW	490,5***	57,9***	11,8***	0,2

*** Significant at $p < 0.001$, ** Significant at $p < 0.01$, * Significant at $p < 0.05$, ns – not significant

Най-висок фенотипен коефициент на вариране (PCV) е установен за седиментационния обем (SDS - 44,54%) и количеството на жълти пигменти в зърното (YPG - 14,8%). Най-високите генотипни коефициенти на вариране (GCV) са установени за същите признаци – SDS (43,45%) и YPG (14,3%) По-малка разлика между фенотипния и генотипния коефициент се наблюдава за признаците – SDS, YPG, PC и TW, което е показател за по-малко влияние на средата върху фенотипната експресия на съответния признак.

Таблица 8. Средна стойност, размах на вариране и коефициенти на вариране на признаци свързани с качеството и добива на зърното на генотипове твърдата пшеница за трите реколтни години

Признаци Traits	Мин-макс Min-Max	Средно Mean	Коефициент на вариране CV	
			Фенотипен коефициент на вариране PCV	Генотипен коефициент на вариране GCV
Добив/Yield	249-460	314,04	16.92	10.2
Съдържание на протеин/PC	13,96-16,26	14,79	4.66	3.8
Съдържание на мокър глутен/Wet gluten	24,9-32,5	28,68	7,32	5,32
SDS-обем/SDS	19,00-74,33	39,72	44.54	43.45
Съдържание на жълти пигменти в зърното/YPG	6,04-10,71	8,06	14.8	14.3
Стъкловидност/V	62,83-87,33	80,20	8.24	4.44
Хектолитрова маса/TW	79,48-83,93	81,82	1.69	1.17
Маса на 1000 зърна/TKW	35,03-45,7	40,23	8.10	6.89

Най-голяма разлика между фенотипния и генотипния коефициент на вариране е установена за признаците WG, V и TKW, което е показател за по-голямо влияние на средата, отколкото на генотипа върху варирането на тези признаци. От друга страна коефициентът на

вариране се използва за определяне на разнообразието, което съществува в дадена популация. Счита се, че коефициент на вариране (CV) над 20% е показател за голямо разнообразие, стойност на CV между 10 и 20% - умерено разнообразие и по-малко от 10% - ниско разнообразие (Deshmukh et al., 1986). В нашето изследване се наблюдава голямо разнообразие за признака SDS (SDS - седиментационен обем) – CV% - 44,54%, следвано от умерено разнообразие за признака YPG (съдържание на жълти пигменти) – CV – 14,8%. Най-нисък PCV се установява за хектолитровата маса (TW – 1,69%), съдържанието на протеин (PC – 4,66%), съдържание на мокър глутен (7.32 %), масата на 1000 зърна (TKW – 8,10 %) и стъкловидността (V – 8,24%).

Фенотипният вариант на всички изследвани признаци и неговите два основни компонента: генотипен вариант и варианта, дължащ се на условията на средата са представени в таблица 9. Големината на генотипният вариант е по-висока от тази на варианта на средата (годините на отглеждане) за признаците: PC%, SDS, YP и TKW. Съотношението между генотипния вариант и варианта на средата е в обхват от 1,03 за съдържанието на протеин (PC) до 10,22 за седиментационния обем (SDS). Това показва, че генотипният компонент на варирането е основен фактор, допринасящ за цялостното фенотипно вариране на по-горе изброените признаци. Вариантът на средата е по-висок от генотипния вариант за признаците: WG, V и TW и съответно означава, че средата има основен принос за цялото фенотипно вариране на тези признаци.

В нашето изследване е установен най-висок коефициент на наследяемост (H^2) за признаците SDS – седиментационен обем - 95% и съдържание на жълти пигменти - YPC – 92% (таблица 9), умерено висок за признаците: маса на 1000 зърна - TKW - 72% и съдържание на протеин – PC - 67% и съдържание на глутен – 52%. Най-ниските коефициенти на наследяемост са установени за признаците добив на зърно (YG) – 36% и стъкловидност (V) – 29%. Генетичният напредък е важен параметър за отбор в допълнение към наследяемостта, чрез който може да се предвиди степента на подобрене на желаните признаци (Shukla et al., 2004). Генетичният напредък, изразен като процент се категоризира като нисък (0-10%), умерен (10-20%) и висок ($\geq 20\%$) (Johnson et al., 1955 and Falconer and Mackay, 1996).

Висок генетичен напредък е изчислен за признака SDS- седиментационен обем - 87% и за съдържанието на жълти пигменти в зърното – 28,22%. За всички останали изучавани признаци се установява нисък генетичен напредък (GA) от 1,64 за TW до 12,61 за добив на зърно. Счита се, че високата наследяемост в съчетание с висок генетичен напредък показва наличието на адитивни генни ефекти, докато висока наследяемост в съчетание с нисък генетичен напредък е индикатор за неадитивни генни ефекти върху контрола на съответния признак. В настоящето изследване са намерени адитивни генни ефекти за признаците SDS – седиментационен обем, като показател за силата на глутена и за съдържанието на жълти пигменти в зърното. Това показва възможност за провеждане на ефективен отбор на генотипове по фенотип в ранните поколения и постигане на бърз селекционен напредък по тези важни качества на зърното от твърда пшеница в условията на Института по полски култури в гр. Чирпан.

Най-нисък коефициент на наследяемост в съчетание с най-нисък генетичен напредък в нашето изследване е установен за признаците: добив на зърно и стъкловидност. Това показва, че при наследяването на тези признаци преобладават неадитивни генни действия и ефективен отбор на генотип по фенотип в ранните поколения не би бил възможен при нашите условия.

Представените резултати разкриват възможността за постигане на бърз селекционен напредък при подобряването на един важен качествен признак на зърното – SDS, като показател за силата на глутена, поради наличието на: високо генетично разнообразие между изучаваните генотипове, по-големият генотипен вариант и високите стойности на наследяемостта и генетичният напредък.

За съдържанието на каротеноиди изчислените генотипен вариант и наследяемост също са високи, но генетичният напредък е много по-нисък, поради което ефективният отбор по този признак в нашите условия може да бъде усложнен. За признаците съдържание на протеин и маса на 1000 зърна умерено високите коефициенти на наследяемост в съчетание с нисък до

умерен генетичен напредък показват наличието и на неадитивно генно действие. Най-нисък коефициент на наследяемост в съчетание с най-нисък генетичен напредък се установява за признаците: добив на зърно и стъкловидност, което предполага преобладаващи неадитивни генни действия. Следователно за тези признаци в ранните поколения ефективен отбор няма да бъде възможен при нашите условия.

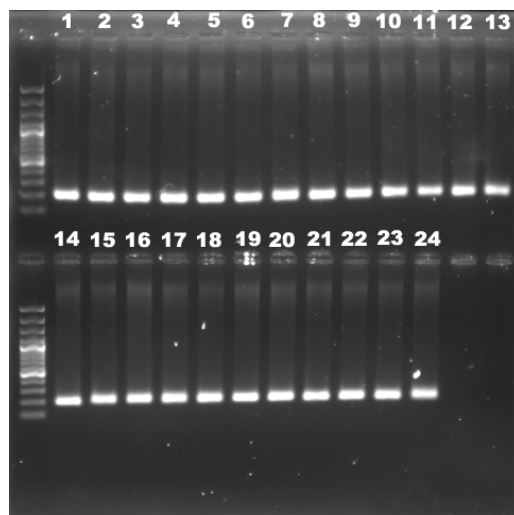
Таблица 9. Компоненти на вариране (σ^2), наследяемост в широк смисъл (H^2) и генетичен напредък (GA)

Признаци Traits	Варианс Variance				$H^2_{BS} \%$	Генетичен напредък GA
	σ^2_{ph}	σ^2_g	σ^2_y	σ^2_g / σ^2_y		
Добив/Yield	2824,77	1026,22	4907,66	0,21	36	12,61
Съдържание на протеин/PC	0,476	0,32	0,31	1,03	67	6,44
Съдържание на мокър глютен/Wet gluten	4,421	2,33	4,15	0,56	52	7,85
SDS-седиментационен обем/SDS	313	297,98	29,15	10,22	95	87,24
Съдържание на жълти пигменти в зърното/YPG	1,44	1,33	0,21	6,33	92	28,22
Стъкловидност/V	43,72	12,72	59	0,22	29	4,94
Хектолитрова маса/TW	1,932	0,916	2	0,46	47	1,64
Маса на 1000 зърна/TKW	10,613	7,68	5,8	1,32	72	12,04

3.4.2. Молекулярен анализ на полиморфизма в един от гените, свързан със съдържание на жълти пигменти.

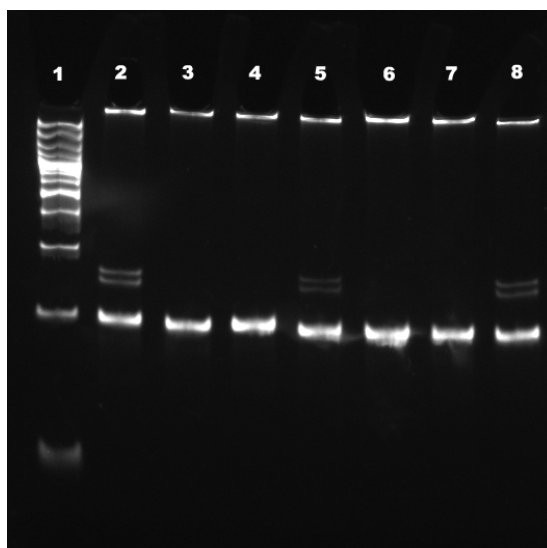
Налице са данни, че някои от алелите на гените за фитоен-синтазата върху 7- ма хомеоложна група са асоциирани с по-високо съдържание на каротен в хексаплоидната пшеница (He et al., 2008; He et al., 2009) и по този начин повлияват качеството на крайния продукт. За изследване на полиморфизма в един от гените за фитоен синтаза върху хромозома 7A, показващ асоциация със съдържанието на каротен при хексаплоидната пшеница, е извършен молекулярен анализ на включените в дисертацията 24 генотипа твърда пшеница.

Проведена е амплификация на гена за фитоен-синтаза върху 7A хромозома - Psy-A1(7A) с STS праймери, амплифициращи район, локализиран в интрон 2 на този ген. Използваните праймери са конструирани така, че да позволят детекция на два алела Psy-A1a и Psy-A1b, различаващи се по дължина поради присъствие/отсъствие на 37 бд инсерция в този участък на гена. Получените PCR продукти са тествани на 2% агарозен гел и е установено наличие на фрагмент с дължина около 200 бд във всички анализирани 24 генотипа твърда пшеница (фигура 26).



Фигура 26. Легенда – 1. Ladder 100bp, 2. Predel, 3. Saturn – 1, 4. Severina, 5. Superdur, 6. Selyemdur, 7. Betadur, 8. Auradur, 9. M-287, 10. M-6433, 11. D-7557, 12. M-615, 13. D-8138, 14. M-431, 15. M-376, 16. D-8308, 17. D-7724, 18. D-8362, 19. D-8367, 20. D-8326, 21. DV-8359, 22. D-8370, 23. TD-97, 24. DF-009114002, 25. D-7864.

За коректно определяне дължината на амплифицираните фрагменти е проведена електрофореза на PCR продуктите от няколко генотипа с различно съдържание на каротен: М-431(10,71), ТД 97 (9,83), Предел (9,25), Superdur (9,09), Северина (6,25), М-287(6,27), М-376 (7,95) на 6% ПААГ.



Фигура 27. 6% Полиакриламидна гел електрофореза

Легенда – 1. Ladder 100bp, 2. М-431, 3. TD-97, 4. Predel, 5. Severina, 6. М-287, 7. М-376, 8. Superdur.

На фигура 27 са показани установените алелни варианти в изучавания ген. Кодоминантният маркер Psy-A1, базиран на 37 бд инсерция в 5' края на интрон 2 на PsyA1 гена, амплифицира два фрагмента. Първият фрагмент е с дължина 194 бд и съответства на алел Psy-A1a, който се свързва с по-високо съдържание на каротен. Вторият фрагмент е с дължина 231 бд и съответства на алел Psy-A1b при 6 х пшеници, свързан с по-ниско съдържание на каротен (He et al., 2008). Алелът Psy-A1a с дължина 194 бд фрагмент се наблюдава във всички 7 анализирани сортове и линии твърда пшеница. Алелът Psy-A1b с дължина 231 бд, макар и с доста по-ниска интензивност се открива в 3 генотипа: линия М-431, българския сорт Северина и чуждия сорт Superdur. Линия М-431 се характеризира с най-високо съдържание на жълти пигменти, сорт Superdur - със сравнително високо, а сорт Северина – със средно високо. Наличието на този алел в 3-те разнообразни по съдържание на жълти пигменти генотипове най-

вероятно се дължи на известен примес или остатъчна сегрегация на този ген в популацията на анализираниите генотипове.

Получените първи резултати от анализирането на полиморфизма в един от гените за фитоен синтаза върху хромозома 7A не могат да бъдат асоциирани с фенотипните различия в съдържанието на жълти пигменти в изследваните генотипове.

Нашите изследванията в тази насока трябва да продължат с анализиране на полиморфизма и по отношение на другите локуси като Psy-B1(7B), Psy-A2(2A), за които съществува информация, че също са отговорни за синтеза на каротен в зърното от твърда пшеница.

3.5. Изследване на варирането по агрономически показатели и показатели, свързани с качеството на зърното при образци от *Triticum dicoccum*

Triticum dicoccum (Schränk) Schuebl. ($2n = 4x = 28$), или култивиран двузърнест лемец е един от най-старите житни видове и прародител на културната пшеница. Счита се, че той е потенциален източник на гени за важни агрономически признаци в.т.ч. и качество на зърното и може да осигури голямо разнообразие по отношение на тези признаци (Zaharieva et al., 2010). Важна предпоставка за ефективно използване на колекциите със зародишна плазма в селекционните програми е тяхното характеризиране по морфологични, агрономически и качествени показатели.

Проведеният анализ на варианса за признаците дължина на класа, брой класчета от клас, брой зърна от клас, тегло на зърната от клас, маса на 1000 зърна и съдържание на суров протеин показва достоверно влияние на генотипа, условията на средата (годините) и взаимодействието между двата фактора върху варирането им (Табл. 10). Недоказано влияние на взаимодействието на факторите ($G \times E$) е намерено единствено за признака брой зърна от клас.

Таблица 10. Анализ на варианса на някои изследвани признаци в генотипове двузърнест лемец и сорт Предел

Признаци	Източник на вариране, % от общото вариране								
	Генотип			Години/Среда			Взаимодействие		
	SS	MS	η^2 %	SS	MS	η^2 %	SS	MS	η^2 %
Дължина на класа	31.92	2.13***	40.38	18.68	9.34***	23.63	15.33	0.51**	19.4
Брой класчета в клас	347.73	23.18***	32.28	518.66	259.33***	48.15	124.78	4.16**	11.58
Брой зърна в клас	2574.3	171.6***	48.83	1783.5	891.7***	33.83	404.9	13.5 NS	7.68
Тегло на зърната в класа	11.57	0.77***	65	3.68	1.84***	20.67	1.41	0.05*	7.92
Маса на 1000 зърна	2928.4	195.2***	70.59	291.1	145.5***	7.02	523.0	17.4*	12.61
Съдържание на протеин	138.68	9.25***	51.01	46.7	23.35***	17.18	81.87	2.73***	30.11

*** Significant at $p < 0.001$, ** Significant at $p < 0.01$, * Significant at $p < 0.05$ NS – not significant

Варирането на повечето от признаците се дължи в най-голяма степен на генотипа. Най-голямо е значението на генотипа за признаците маса на 1000 зърна (70.59 %) и тегло на зърната от клас (65 %), а най-малко за признака брой класчета от клас (32.28 %). Значително е и влиянието на генотипа за признака съдържание на суров протеин (51.01 %). Условията на годините при повечето от изследваните признаци оказват по-голямо влияние във формирането на признаците в сравнение с $G \times E$ взаимодействието. Най-голямо е влиянието на средата върху признака брой класчета от клас (48.15%). Взаимодействието между генотипа и средата е незначително в сравнение с ефекта на генотипа за повечето изследвани признаци. $G \times E$ взаимодействието има по-голямо значение от условията на средата за два от признаците : маса

на 1000 зърна (12.6 %) и съдържание на протеин (30.11 %). Най-малко е взаимодействието за признаците брой зърна от клас (7.68 %) и тегло на зърната от клас (7.92 %).

В таблица 11 са дадени средните стойности за 3 години на признаците свързани с продуктивността на класа: дни до изкласяване, дължина на класа, брой класчета от клас, брой зърна в клас и тегло на зърната в клас.

Таблица 11. Средни стойности за три реколтни години на признаци свързани с продуктивността на класа при генотипове двузърнест лемец и сорт Предел

Генотип	Дни до изкласяване	Дължина на класа	Класчета/ клас	Зърна/ клас	Тегло на зърна/ клас
45337	59	8,62 ^{abcd}	24.57 ^{ab}	39.92 ^b	1.25 ^{cde}
45356	57	8,3 ^{bcde}	20.82 ^{bc}	33.77 ^{bcd}	1.13 ^e
45357	55	9,05 ^{ab}	22.63 ^{bc}	37.92 ^{bc}	1.33 ^{cde}
45360	59	7,80 ^{de}	20.20 ^{bc}	34.97 ^{bcd}	1.20 ^{de}
45362	59	9,2 ^{ab}	21.15 ^{bc}	36.12 ^{bcd}	1.29 ^{cde}
45364	52	9,3 ^a	27.00 ^a	48.22 ^a	1.59 ^c
45367	56	8,18 ^{cde}	21.17 ^{bc}	39.32 ^{bc}	1.95 ^b
45368	55	7,8 ^{de}	20.33 ^c	31.62 ^{cd}	1.11 ^e
45369	53	7,92 ^{de}	20.90 ^{bc}	33.47 ^{bcd}	1.20 ^{de}
45377	56	7,8 ^{de}	20.38 ^c	33.95 ^{bcd}	1.18 ^{de}
45379	52	8,9 ^{abc}	18.55 ^c	35.85 ^{bcd}	1.50 ^{cd}
45382	52	7,72 ^e	21.15 ^{bc}	32.05 ^{bcd}	0.98 ^e
45383	52	7,43 ^e	20.28 ^c	29.53 ^d	1.06 ^e
45384	58	8,22 ^{cde}	21.10 ^b	34.67 ^{bcd}	1.12 ^e
45391	52	8,03 ^{de}	22.52 ^b	34.9b ^{cd}	1.13 ^e
Tr.durum Predel	42	7,68 ^e	21.10 ^b	48.58 ^a	2.34 ^a

Всички изследвани генотипове двузърнест лемец са по-къснозрели и изкласяват с от 10 до 17 дни по-късно от твърдата пшеница сорт Предел. С най-къс вегетационен период са генотиповете двузърнест лемец с номера: 45364, 45379, 45382, 45383, 45391. Най-късно изкласяват генотиповете: 45337, 45360, 45362 и 45384. Според Pagnotta et al. (2008) всички плевести пшеници са по-къснозрели. Образците от двузърнестия лемец, включени в нашето изследване не правят изключение.

С най-дълъг клас се характеризират генотиповете : 45364 (9.3 cm), 45362 (9.2 cm) и 45357 (9.05 cm). Най-ниска стойност по този показател е намерена за генотип 45383 (7.43 cm). Като цяло повечето образци от двузърнест лемец се отличават с по-дълъг клас в сравнение със стандарта твърда пшеница сорт Предел (7.68 cm). Damania et al. (1992) също докладват, че изследваните от тях генотипове двузърнест лемец се характеризират с дълги класове, вариращи между 9.9 и 12 cm.

По показателя брой класчета в клас с най-висока стойност се характеризират генотиповете: 45364 (27.00 класчета в клас) и 45337 (24.57 класчета в клас), с което значително превъзхождат стандарта сорт Предел (21.10 класчета в клас). Най-ниска стойност е намерена за генотип 45379 (18.55 класчета в клас).

По показателя брой зърна от клас с най-висока стойност се характеризира стандартният сорт Предел (48.58 бр.), но образец 45364 (48.22 бр.) почти се изравнява с него.

По показателя тегло на зърната от клас с най-висока стойност отново се характеризира сорт Предел (2.34 g) и значително превъзхожда образците от двузърнест лемец. Най-високо тегло на зърната от клас измежду образците от двузърнест лемец е намерено за образец 45367 (1.95 g), а най-ниска стойност е намерена за образец 45382 (0.98 g).

В таблица 12 са дадени резултатите от средните стойности за 3 години на параметри свързани с качеството на зърното: маса на 1000 зърна, съдържание на суров протеин, съдържание на мокър глютен и стъкловидност. Масата на 1000 зърна е качествен показател, който влияе върху млевните свойства на пшеницата. Приемливо ниво за масата на 1000 зърна на твърдата пшеница е 30-35 g с.в. С най-високи стойности по този показател се отличават

образците: 45367 (49.51 g), 45379 (41.54 g) и стандарта сорт Предел (49.25 g). Най-ниска маса на 1000 зърна е намерена за образец 45382 (30.82 g).

По съдържание на суров протеин всички образци от двузърнест лимец надвишават значително стандартния сорт твърда пшеница Предел (15.44 %), като с най-високо съдържание на суров протеин се отличава образец 45367 (21.41 %). Най-ниска стойност за признака съдържание на суров протеин е установена за образец 45383 (17.15 %).

По отношение на съдържанието на мокър глютен почти всички генотипове двузърнест лимец надвишават стандарта Предел (32.0 %), като единствено образец 45383 (31.5 %) се изравнява по този показател с него. Най-високо количество мокър глютен е установено за образец 45360 (43.55 %).

Таблица 12. Средни стойности за три реколтни години на признаци свързани с качеството на зърното в генотипове двузърнест лимец и стандартния сорт Предел

Генотип	Маса на 1000 зърна g	Съдържание на суров протеин	Съдържание на мокър глютен	Стъкловидност %
45337	31.32 ^c	18.95 ^{ab}	38.4	94
45356	33.43 ^c	19.94 ^a	40.6	97
45357	34.92 ^c	18.75 ^{ab}	40.45	99
45360	34.18 ^c	19.40 ^{ab}	43.55	98
45362	35.80 ^c	19.48 ^a	42.8	96
45364	32.68 ^c	19.17 ^{ab}	42.0	85
45367	49.51 ^a	20.41 ^a	41.9	99
45368	34.93 ^c	17.69 ^{bc}	37.2	93
45369	35.91 ^c	19.6 ^a	42.4	93
45377	34.73 ^c	18.83 ^{ab}	39.8	97
45379	41.54 ^b	19.75 ^a	39.35	79
45382	30.82 ^c	19.20 ^{ab}	40.85	97
45383	35.82 ^c	17.15 ^c	31.5	92
45384	32.35 ^c	20.02 ^a	40.75	98
45391	32.39 ^c	18.84 ^{ab}	37.55	95
Tr.durum Predel	49.25 ^a	15.44 ^d	32.0	87.6

Нашите резултати потвърждават установеното от други автори много високо съдържание на протеин и глютен в двузърнестия лимец в сравнение с твърдата пшеница (Ciaffi et al., 1991; Blanco and De Giovanni, 1995, Marconi and Cubada, 2005). Това обяснява и интереса към включването му в селекционните програми за повишаване на протеиновото съдържание на твърдата пшеница.

Изследваните генотипове двузърнест лимец се отличават с много висока стъкловидност, като почти всички надвишават стандартния сорт Предел (87.6 %). С най-висока стъкловидност са образците: 45357 (99 %), 45367 (99 %), 45360 (98 %) и 45384 (98 %). Те се отличават и с най-високо протеиново съдържание. С по-ниска стъкловидност от стандарта са образците: 45379 (79 %) и 45364 (85 %).

Образците с най-високо съдържание на протеин и с най-висока стъкловидност 45367, 45384, 45360, 45356, 45382, 5362 and 45357 и образците с най-добра комбинация от показатели, свързани с продуктивността на класа и качеството на зърното: 45337; 45367; 45357; 45364 могат да бъдат включени като родители в програмата по отдалечена хибридизация на ИПК- Чирпан с цел селекционно подобряване на твърдата пшеница. Нещо повече, вече са получени и първите положителни резултати от тази хибридизация в института. Установено е, че беккросна линия твърда пшеница, носеща различни хромозомни сегменти от *Tr.dicoccum* се отличава с по-високо съдържание на протеин и глютен в сравнение с рекурентния родител твърда пшеница (Todorovska et al., 2013).

Освен това хибридизацията между твърдата пшеница и двузърнестия лимец може да бъде от полза за селекционното подобряване на реологичните качества на лимеца (De Vita et al., 2006), който през последните години е предпочитана култура за биологичното земеделие.

4. ИЗВОДИ

1. Установено е статистически достоверно влияние на генотипа, условията на средата (годините) и взаимодействието между тях върху експресията на всички изследвани признаци.

2. Варирането на хектолитровата маса, стъкловидността, съдържанието на протеин и мокър глютен в зърното, повредата от житна дървеница и добив зърно се определя в най-голяма степен от условията на средата.

3. Варирането на признаците, свързани с качеството на зърното: маса на 1000 зърна, компресибилитет на глутена в зърно и грис, отпускане на глутена в зърно и грис, SDS-седиментационен обем, съдържание на жълти пигменти в: зърното, семолината и макаронения диск и всички елементи на добива: брой зърна в клас, тегло на зърната в клас, дължина на класа, брой класчета в клас и височината на растението се определя в най-голяма степен от генотипа.

4. Най-голямо вариране в извадката от изучаваните генотипове е установено за признаците, свързани с качеството на глутена (SDS-седиментационен обем, повредата от житна дървеница, отпускане на глутена, компресибилитет на глутена), кулинарното качество на макаронените изделия и загубата на жълти пигменти при смилане на зърното до грис.

5. По-голяма част от анализиранияте генотипове се характеризират с добър млевен потенциал - висока хектолитрова маса, едро зърно, добра стъкловидност и с добро ниво по отношение на добива на грис.

6. Най-високи стойности по показателите съдържание на протеин и мокър глютен в зърното се установяват за линиите М-376 и М-6433.

7. Със силен глютен по всички изследвани показатели се характеризират пет селекционни линии – българските: Д-8367, Д-8362, Д-8370 и чуждите: TD-97, DF-009114002, четирите чужди сорта Betadur, Selyemdur, Auradur и Superdur, българският сорт Северина и стандартите Предел и Сатурн-1.

8. От генотиповете, характеризиращи се със силен глютен, добра вискоеластичност, високо количество протеин и ниска повреда от житна дървеница се получават изделия с отлично кулинарно качество. Такива са стандартният български сорт Предел, чуждестранните сортове Selyemdur, Betadur, Auradur, DF -0091114002 и селекционна линия Д-8367.

9. От генотипове с високо протеиново съдържание, въпреки по-слабия им глютен се получават макаронени изделия с много добро кулинарно качество. Такива са селекционните линии: М-376 и М-431.

10. С високо съдържание на жълти пигменти в зърното се характеризират линиите: М-431, М-615, TD-97, стандартният сорт Предел и чуждите сортове Superdur и Selyemdur.

11. Установена е отрицателна фенотипна корелативна връзка между добива и голяма част от показателите, свързани с качество на зърното: стъкловидност, съдържание на протеин, SDS-обем и кулинарно качество.

12. Установена е много силна взаимовръзка между SDS – обема и другите два показателя, чрез които се измерва силата на глутена (компресибилитет и отпускане). Това ще позволи оптимизиране на отбора чрез използване само на SDS – обема, който се измерва значително по-лесно.

13. Установен е висок коефициент на наследяване и висок генетичен напредък за признака SDS- седиментация, което разкрива възможността за постигане на бърз селекционен напредък при подобряването на силата на глутена.

14. За съдържанието на каротеноиди също е установен висок коефициент на наследяване, но по-нисък генетичен напредък, което може да усложни отбора по този признак в нашите условия.

15. Резултатите от анализиранията полиморфизма в един от гените за фитоен синтаза върху хромозома 7A не могат да бъдат асоциирани с фенотипните различия в съдържанието на жълти пигменти в изследваните генотипове.

16. По съдържание на суров протеин, мокър глютен и стъкловидност всички изследвани образци от двузърнест лемец надвишават значително стандартния сорт твърда пшеница Предел и могат да бъдат включени в селекционната програма по отдалечена хибридизация.

5. ПРИНОСИ

Приноси с научно-теоретичен характер

Направена е оценка на генетичното разнообразие в голям набор от генотипове твърда пшеница по показатели, свързани с качеството по веригата зърно, грис, макаронени изделия.

Установени са основните фактори, от които зависи фенотипната експресия на отделните качествени показатели.

Установени са важни корелационни връзки както между отделни групи качествени показатели, така и между агрономически и качествени показатели, които ще улеснят отбора на подходящи генотипове.

Въз основа на проведените генетичен анализ са установени наследяването и селекционния напредък за силата на glutena и съдържанието на жълти пигменти в зърното, което ще подпомогне изграждането на селекционна стратегия за подобряването им.

Проведен е молекулярен анализ с помощта на STS маркер за изследване на полиморфизма в един от гените за фитоеен синтаза върху хромозома 7A, което ще улесни по-нататъшната работа по идентифициране и на други локуси, които контролират съдържанието на жълти пигменти в зърното и прилагането на маркерно подпомаганата селекция в подобряването на този признак.

Приноси с научно-приложен характер

Установени са параметрите на различни комбинации от качествени признаци, които трябва да притежават сортовете, за да се получават макаронени изделия с високо качество.

Идентифицирани са генотипове твърда пшеница с високо съдържание на протеин и жълти пигменти и със силен глютен, които могат да бъдат включени в селекционната програма за подобряване качеството на твърдата пшеница.

Идентифицирани са образци двузърнест лемец, които освен с много високо съдържание на протеин и глютен и висока стъкловидност се характеризират и с добри показатели, свързани с продуктивността на класа и могат да бъдат включени като родители в програмата по отдалечена хибридизация на ИПК- Чирпан с цел селекционно подобряване на твърдата пшеница.

Списък на публикациите във връзка с дисертацията

1. Taneva, Kr., Bozhanova, V., Hadzhiivanova, B., 2015. Study of emmer (*Triticum dicoccum* (Schrank) Schuebl.) accessions for traits related to spike productivity and grain quality in connection to durum wheat improvement, *Agricultural Science and Technology*, Vol. 7, No 2, pp 199-203;
2. Taneva, K., Bozhanova, V., Petrova, I., 2017. STUDY ON VARIATION AND ASSOCIATION OF GRAIN QUALITY TRAITS IN DURUM WHEAT GENOTYPES. Book of Proceedings of the VIII International Agricultural Symposium „AGROSYM 2017“ Jahorina, October 05 - 08, 2017, p. 196-204;
3. Taneva, K., Bozhanova, V., Dragov, R., 2018. Assessment of Diversity and Association Between Agronomic and Quality Traits in an Assortment of Durum Wheat Genotypes. *International Journal of Innovative Approaches in Agricultural Research*. – под печат.

SUMMARY

The main objective of the study is to investigate the variation and inheritance of important grain quality traits in durum wheat and emmer and to establish correlation between basic agronomic and grain quality traits. All genotypes – varieties and breeding lines of different origin: Bulgaria (FCI – Chirpan, DAI - G. Toshevo), Europe, CYMIT - Mexico and ICARDA

Syria were grown under field conditions in competitive variety trial in three replications during three harvest years (2014 – 2016) in the experimental field of Field Crops Institute –Chirpan, Bulgaria. All studied traits were evaluated on whole grains, the traits PC, WGC, GS, GC – on grain and semolina, the traits YPC – on grain, semolina and pasta products by standard methods. For statistical processing of the data variation analyses, analysis of variance (ANOVA), PC analysis and correlation analysis were used. Broad sense heritability (h^2) was estimated by variance components method based on the combined analyses over three growing seasons. Variance components were estimated according Snedecor and Cochran, 1980. The variation of TW, V, PCG, WGG, DWB and GY is determined mostly by the environment, while the variation of the traits: TKW, GC, GS, SDS, YPC and all yield related traits – by the genotype. Three Bulgarian breeding lines – M- 376 - 16, 26 %; M-6433 – 16,19 % and M-287 – 15,65 % are distinguished with the highest PC - average of three years. Five breeding lines D-8367, D-8362, D-8370, TD -97, DF-009114002, four foreign varieties Betadur, Selyemdur, Auradur and Superdur and three Bulgarian varieties – Severina, Predel and Saturn are characterized with the most strong gluten. From genotypes with high protein content, despite their weaker gluten type, pasta products with a very good culinary quality are obtained. With the highest levels of yellow pigments content in the grain are the lines: M-431, M-615, TD-97, the standard variety Predel and the foreign varieties Superdur and Selyemdur. A negative phenotypic correlation between yield and a large number of grain quality traits: vitreousness, protein content, SDS-volume and culinary quality were found. The results of analyzing the polymorphism in one of the phytoene synthesis genes on chromosome 7A could not be associated with the phenotypic differences in the yellow pigment content of the genotypes studied. The greatest Phenotypic Coefficient of Variation (PCVs) were found for sedimentation value (SDS - 44.54 %), grain yield (GY - 16.92 %) and yellow pigment in grain (YPC - 14.8 %) and the greatest Genotypic Coefficient of Variation (GCV) - for the same traits - SDS (43.45 %), (YPC -14.3 %) and (GY - 10.2 %). A highest level of heritability was determined for SDS sedimentation value - 95.2 %, yellow pigment in grain YPG - 92.4 %, followed by thousand kernel weight (TKW) - 72.4 % and for protein content (PC) - 67.2 %. The highest genetic advance was calculated for SDS sedimentation value too, which is an indicator for predominance of an additive gene effect in controlling this trait and reveal the possibility to conduct effective selection. All studied emmer samples have higher content of raw protein, wet gluten and vitreousness, than standard variety of durum wheat and could be included in the durum wheat breeding program for remote hybridization.