

А.К. Маденова , М.Н. Атишова ,  
А.М. Кохметова , М.Е. Амангельдинова 

Институт биологии и биотехнологии растений, Казахстан, г. Алматы,  
e-mail: madenova.a@mail.ru

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ НОСИТЕЛЕЙ ГЕНОВ УСТОЙЧИВОСТИ К ТВЕРДОЙ ГОЛОВНЕ *TILLETIA CARIES* (DC.) ПШЕНИЦЫ

**Аннотация.** Одной из наиболее вредоносных болезней пшеницы относится твердая головня, возбудителем которой являются грибы *Tilletia caries* (DC.) Наиболее эффективным методом борьбы с головней считается генетическая защита растений, которая достигается внедрением в производство новых устойчивых образцов к твердой головне пшеницы. В настоящее время имеется информация о 15 генах, которые могут обеспечить защиту от патогена твердой головни. Разработан ряд молекулярных маркеров, связанных с основными генами устойчивости к твердой головне. Они будут использованы для создания устойчивых к твердой головне сортов путем скрининга и интрогрессии Vt-генов устойчивости в сорта пшеницы с хорошими хозяйственно-ценными признаками. Целью исследования являются идентификация носителей устойчивости к твердой головне с использованием молекулярных маркеров. Проведен молекулярный и фитопатологический скрининг румынских образцов пшеницы на устойчивость к твердой головне *Tilletia caries*. Молекулярный скрининг румынских образцов на устойчивость к твердой головне показал, что 2 образца (02429GP-1, F08245G1), обладают геном Vt9. При использовании для ПЦР праймера к локусу FSD/RSA у двух образцов выявлен ген устойчивости Vt10. В результате фитопатологического анализа установлено, что 5 образцов (02429GP-1, F08126G1, F08245G1, F08347G1, F07270G2) характеризуются высокой устойчивостью к твердой головне. Сорт Retezat показал восприимчивую реакцию с поражением в 52%. Полученные данные являются ценными в селекционных программах для повышения устойчивости к твердой головне.

**Ключевые слова:** пшеница, молекулярный скрининг, гены устойчивости, фитопатологическая оценка, твердая головня.

A.K. Madenova, M.N. Atisova, A.M. Kokhmetova, M.E. Amangeldinova  
Institute of Plant Biology and Biotechnology, Kazakhstan, Almaty,  
e-mail: madenova.a@mail.ru

### Identification of genetic carriers of wheat steady against common bunt *Tilletia caries* (DC.)

**Abstract.** One of the most widespread and dangerous diseases of wheat is the common bunt, which is caused by the fungi *Tilletia caries* (DC.). The most effective method of combating smut is considered to be genetic protection of plants, which is achieved by the introduction of new resistant samples to common bunt wheat. There is information about more than 15 genes that can express resistance to this disease. A number of molecular markers associated with the main genes of resistance to common bunt have been developed. They will be used to create common bunt resistant samples by screening and introgression of Vt-genes resistance into wheat samples with good economic value traits. The aim of the study is to identify carriers of resistance to common bunt using molecular markers. Molecular and phytopathological screening of Romanian wheat samples for resistance to common bunt *Tilletia caries* (DC.) was carried out. Molecular screening of Romanian samples for resistance to common bunt showed that 2 samples (02429GP-1, F08245G1) possess the Vt9 gene. When using a primer for PCR to the FSD / RSA locus, the Vt10 resistance gene was detected in two samples. As a result of phytopathological analysis, it was found that 5 samples (02429GP-1, F08126G1, F08245G1, F08347G1, F07270G2) are highly resistant to common bunt. Retezat showed a susceptible response with a lesion of 52%. The data obtained are valuable in breeding programs to increase resistance to common bunt.

**Key words:** wheat, molecular screening, resistance genes, phytopathological assessment, common bunt.

А.К. Маденова, М.Н. Атишова, А.М. Кохметова, М.Е. Амангельдинова

Өсімдіктер биологиясы және биотехнология институты, Қазақстан, Алматы қ.,  
e-mail: madenova.a@mail.ru

### **Бидайдың қатты қара күйе ауруына *Tilletia caries* (DC.) төзімділік ген тасымалдаушыларын идентификациялау**

**Аңдатпа.** Қатты қара күйе бидайдың ең қауіпті ауруларының бірі болып табылады, оның қоздырғышы *Tilletia caries* (DC.). Қатты қара күйе аурумен күресудің ең тиімді әдісі генетикалық қорғану болып табылады, ол қатты қара күйеге төзімді бидай үлгілерін өндіріске енгізуге мүмкіндік береді. Қазіргі таңда бұл ауруға төзімділік көрсететін 15-ке жуық ген белгілі. Қатты қара күйеге төзімділіктің негізгі гендерімен байланысты молекулалық маркерлер қатары әзірленді. Олар жақсы шаруашылық-құнды белгілері бар бидай сорттарына тұрақтылық *Vt*-генінің скринингі және интрогрессиясы арқылы қатты қара күйеге төзімді сорттарды жасау үшін пайдаланылатын болады. Зерттеудің мақсаты молекулалық маркерлерді пайдалана отырып, қатты қара күйеге төзімді ген тасымалдаушыларын анықтау болып табылады. Қатты қара күйеге *Tilletia caries* (DC.) төзімділігін анықтауда румындық бидай үлгілеріне молекулалық және фитопатологиялық скрининг жүргізілді. Молекулалық скринингтің нәтижесінде қатты қара күйеге төзімді 2 үлгіде (02429GP-1, F08245G1) *Vt9* гені табылды. ПТР үшін FSD/RSA праймерінің локусын қолданғанда екі үлгіде *Vt10* гені анықталды. Фитопатологиялық талдау нәтижесінде 5 үлгі (02429GP-1, F08126G1, F08245G1, F08347G1, F07270G2) қатты қара күйеге жоғары төзімділікпен ерекшеленді. Retezat сорты 52%-да төзімсіздік реакция көрсетті. Бұл құнды генотиптер болашақта қатты қара күйеге төзімді сорттар шығару үшін селекцияда бағалы бастапқы материал ретінде пайдаланылуға болады.

**Түйін сөздер:** бидай, молекулалық скрининг, төзімді гендер, фитопатологиялық бағалау, қатты қара күйе.

### **Сокращения и обозначения**

*Tilletia caries* (DC) *Tul.* – возбудитель твердой головни пшеницы; *Vt*-гены – обозначение для генов устойчивости к твердой головне.

### **Введение**

Твёрдая головня пшеницы – один из самых значимых биотических ограничителей в производстве пшеницы по всему миру. Для реализации задач по снижению распространения болезни, получения незаражённого сельскохозяйственного продукта, повсеместно используется обработка семенного материала фунгицидами. Использование современных препаратов практически полностью устраняет прямые потери сельскохозяйственного продукта, они эффективно уничтожают споры на семенах и в почве. Однако метод применения протравителей семенного материала наносит урон окружающей среде, здоровью человека. Этот способ защиты экономически не выгоден и неприемлем при органическом земледелии [2, 3]. В Европе потери урожая из-за твердой головни составляли более 50%, а в отдельные годы эта болезнь приводила к полной потере урожая [4, 9]. Наиболее важным источником инфекции являются зараженные семена. Заражение пшеницы происходит во время

прорастания, этому способствуют прохладные и влажные условия. Пораженные колосья легковесные, не поникают, имеют серовато-фиолетовый оттенок, издают селедочный запах [5]. Койшыбаевым М.К. (2002) показано, что при посеве непротравленными семенами пшеница поражается головней до 10% и более, что приводит не только прямым потерям, но заметному снижению качества зерна; из-за токсических свойств спор головни, содержащих алкалоид триметилламин, головня негативно влияет на здоровье человека и сельскохозяйственных животных. Сильно заспоренное зерно нельзя использовать для приготовления продуктов питания и комбикормов для животных [5, 6, 7]. Многие казахстанские сорта пшеницы, обладающие стабильной урожайностью, высоким качеством зерна и экологической пластичностью, на инфекционном фоне сильно поражаются болезнями. В случае проявления эпифитотии твердой головни это может привести к большим потерям в аграрном секторе [1].

В целях поддержания высокой урожайности и отличного качества семян органические производители должны полагаться на устойчивые к болезням сорта пшеницы [8]. Разработан ряд молекулярных маркеров, связанных с основными генами устойчивости к твердой головне. Они будут использованы для создания устойчивых к

твердой головне сортов путем скрининга и интрогрессии *Bt*-генов устойчивости в сорта пшеницы с хорошими хозяйственно-ценными признаками.

Наиболее эффективным методом борьбы с головней считается генетическая защита растений, которая достигается внедрением в производство новых устойчивых образцов к твердой головне пшеницы. Таким образом, вместо применения химических обработок семян необходимы органические средства для борьбы с болезнями растений. Сорта пшеницы, несущие гены устойчивости, используются как альтернативный метод борьбы вместо химических фунгицидов против общей болезни. Актуальность таких исследований обусловлена необходимостью создания генетически разнородных источников устойчивости, доноров и перспективных линий пшеницы, которые могут быть использованы в селекции устойчивых к болезни сортов.

Использование генетической устойчивости у растительных организмов к опасным грибным паразитам является многообещающим выбором эффективного управления инфекционным процессом, способом, безвредным для окружающей среды. Известно 15 олигогенов, предопределяющих устойчивость к твердой головне пшеницы (*Bt1* – *Bt15*) [10, 4]. Они присутствуют в генотипе различных сортов и линий пшеницы по отдельности или в сочетании нескольких *Bt*-генов. В производстве практически отсутствуют устойчивые к твердой головне сорта пшеницы. Создание устойчивых сортов пшеницы обеспечивает стабильность производства, особенно в годы эпифитотии, также обеспечивает качество, себестоимость и в полевых условиях обеспечивает санитарно-эпидемиологическую безопасность. Российскими исследователями показано, что донорами твердой головни являются яровые сорта пшеницы Vaart (*Bt1*), Canus (*Bt2*, *Bt5*), Redman(*Bt3*) и озимые пшеницы Альбидум 114, Заря [11, 12]. Румынскими генетиками установлено, что линии F94976G-M2-11, F94978G-M1-51, F94975G-M1-11, F95602GM1-21, F94895G-M1-21 и F94889G-M1-31 являются источниками генов *Bt11*, *Bt13*, *Bt10*, *Bt8*, *Bt12* и *Bt5*. Эти линии, созданные на основе сорта Dropia, в настоящее время выращивают на больших площадях в Румынии. Турецкая линия P1178383 является источником генов *Bt8*, *Bt9*, *Bt10* [13]. В Румынии и Кыргызстане твердой головни пшеницы высокую устойчивость твердой головне пшеницы показали образцы из США – Burt, Celorow,

Franklin, Ark, Hyslop; из Франции – Marines; из Англии – Regent, из Болгарии – Русалка, из СНГ – Заря, Прикубанская, Красноводопадская 23, Красноводопалская 28 ит.д [13, 14]. При изучении устойчивости сортов озимой пшеницы казахстанской селекции выделен сорт Милянопус 223 [15]. Сорт Заря, имеющий ген *BtZ*, вызывает большой интерес селекционеров [14]. Устойчивость к твердой головне в основном наблюдается в 15 идентифицированных генах устойчивости [4, 10]. Из генов устойчивости к твердой головне большое внимание уделяется гену *Bt10*, потому что, по литературным данным, этот ген является эффективным против всех рас твердой головни в мире [16].

Создание коллекции образцов пшеницы с эффективными генами устойчивости к твердой головне с помощью молекулярно-генетических маркеров, сочетающих высокую продуктивность с устойчивостью к твердой головне, позволит предотвратить потери урожая и повысить фактическую урожайность до 50%, снизить затраты на обработку посевов пестицидами и уменьшить загрязнение окружающей среды.

Целью исследования была идентификация генотипов-носителей устойчивости к твердой головне с использованием молекулярных маркеров, сцепленных с генами *Bt9* и *Bt10*.

### Материалы и методы

Исследования проводили с 10 образцами зарубежной селекции (Румыния). В качестве стандарта служил сорт Богарная 56. Фитопатологические анализы к твердой головне пшеницы проводили на искусственном инфекционном фоне Казахского НИИ земледелия и растениеводства, п. Алмалыбак, Алматинский область, Казахстан. Оценка на искусственном инфекционном фоне позволяет определять степень поражаемости изученных образцов пшеницы, выбраковывать восприимчивых образцов и целенаправленно вести работу.

Для инокуляции пшеницы твердой головней использовали метод В.И. Кривченко [25]. Устойчивость образцов озимой пшеницы к твердой головне оценивали по этой шкале: 0 – высокоустойчивые сорта или образцы, пораженность до 1%; 1 – практически устойчивые, пораженность колосьев не более 5%; 2 – слабовосприимчивые, поражено не более 10-25% колосьев; 3 – средневосприимчивые – 30-50% колосьев; 4 – сильновосприимчивые – 50-100%) [25]. С целью создания успешного инфекционного фона,

заспoreние озимой пшеницы проводили в максимально поздние сроки (во 2-3 декаде октября). Семена высевали в 2-кратной повторности в 2 ряда по одному погонному метру [5]. При инокуляции озимой пшеницы использовали споры головни текущего года. Для оценки устойчивости сортов или линий использовали смесь местной популяции *Tilletia caries*, собранной из нескольких восприимчивых сортов пшеницы. Учет пораженности головневыми болезнями образцов пшеницы проводили по колосьям [5].

Выделение геномной ДНК осуществляем из 5-дневных проростков пшеницы с помощью СТАВ-метода [26]. Носители *Bt*-генов идентифицированы на основе ПЦР с использованием разработанных протоколов. Для идентификации носителей *Bt* использованы STS маркеры. Объем реакционной смеси для ПЦР составляет 25 мкл и содержит 2,5 мкл 10x буфера для Taq-полимеразы, 2,5 мкл dNTP (2,5 мМ каждого нуклеотида), 0,5 мкл каждого праймера, 0,5 мкл Taq-полимеразы, 18 мкл MQ-H<sub>2</sub>O. Для разделения фрагментов амплифицированной ДНК проводится электрофорез в 2 %-м агарозном или 8 % полиакриламидном геле (ПААГ) в TBE-буфере (45 мМ трис-борат, 1мМ EDTA, pH 8) [27]. Амплификация проводится в амплификаторе BioRad (TM100 Thermalcycler, Syngapore): начальная денатурация – 94 °С в течение 5 мин; 45 циклов – 1 мин при 94 °С; 1 мин – 45 °С; 2 мин –72 °С; финальная элонгация проводится в течение 7 мин при 72 °С. Программы ПЦР модифицировались в зависимости от идентифицируемого гена. Амплифицированные фрагменты разделяли с помощью электрофореза в 1,5% агарозном геле в 1×TBE буфере. Под действием электрического тока фрагменты ДНК продвигаются в геле от катода к аноду («от минуса к плюсу»), скорость их движения при этом обратно пропорциональна размерам (мелкие фрагменты проходят больший путь). Положение фрагментов в геле определяют по флуоресценции бромаида этидия – интеркалирующего агента, встраивающегося между двумя цепями молекулы ДНК. Использовалось следующее оборудование: электрофоретическая камера, столик для заливки геля, источник постоянного тока (до 500 В), трансиллюминатор, фотокамера. Реактивы: трис, борная кислота, ЭДТА, агароза, бромфеноловый синий, ксилолцианол, сахароза, бромид этидия и для электрофорез (агарозный).

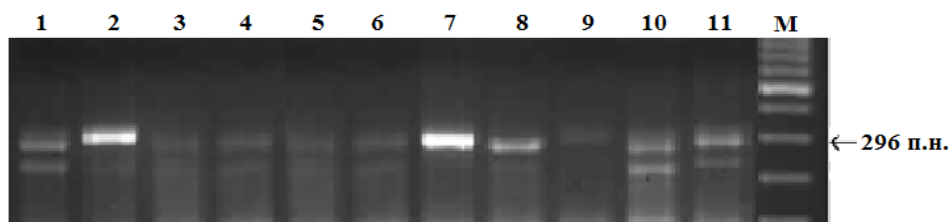
## Результаты и обсуждение

Целью исследования была идентификация линий пшеницы среди образцов румынских селекций, устойчивых к твердой головне. Для этого проведен скрининг образцов ДНК пшеницы на присутствие маркеров, сцепленных с генами устойчивости к твердой головне. Для идентификации носителей генов устойчивости использован метод полимеразной цепной реакции (ПЦР). Наиболее эффективными генами устойчивости к твердой головне являются *Bt10* и *Bt9*. Ген *Bt9* локализован на хромосоме 6DL [17], донорами гена являются PI 166910, PI 166921, PI 167822 [18]. Ген *Bt10* также расположен на этой хромосоме. Было предположено их возможное сцепление или совместное размещение. После проведенного сравнения установлено, что гены *Bt9* и *Bt10* являются двумя отличными генами устойчивости пшеницы к твердой головне, расположенными, соответственно, на 6DL. Вместе с геном *Bt7* – в сорте CI 7090 [17], с геном *Bt10* – в сортах пшеницы Jeff [19], PI 178383 [20], Ranger *Bt10* [21].

Ожидаемый продукт амплификации размером 296 п.н. для *Bt9* с использованием праймеров Xgrw7433. В качестве положительного контроля при идентификации носителей *Bt*-генов использованы изогенные линии PI 178383 (*Bt9*). На рисунке 1 представлены результаты ПЦР 10 образцов пшеницы. Характерные для носителей *Bt*-гена ПЦР продукты размером 296 п.н. выявлены у 2 образцов (02429GP-1, F08245G1). Эти образцы являются устойчивыми к твердой головне.

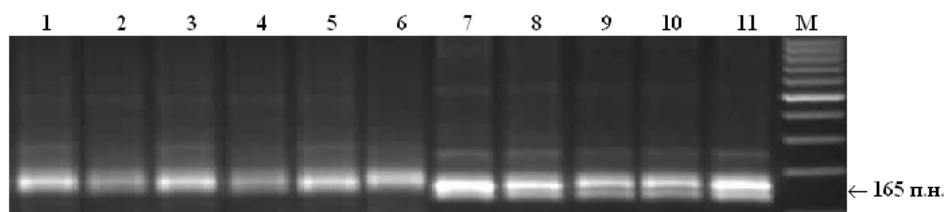
Ген *Bt10* идентифицирован [22] и локализован J.G. Menzies с колленами [16]. Он имеется в генотипе следующих сортов и линий пшеницы: BW553 = Neerawa\*6//RedBobs/PI 178383 [23], AC 2000, AC Cadillac, AC Carma, AC Crystal, AC Foremost, AC Taber, AC Vista [17], Fairview [24], PI 116301, PI 116306 [22], Selection M69-2094 [10], SrCad [25]. Вместе с геном *Bt9* – в сортах Jeff [19], PI 178383 [17], Ranger [21].

Для поиска гена *Bt10* использованы маркеры FSD/RSA и Xgwm469 [29]. При использовании маркера FSD/RSA формируется фрагмент ДНК размером 275 п.н., а при использовании маркера Xgwm469 размер продукта амплификации составляет 165 п.н., который ассоциируется с наличием *Bt10* гена. В качестве положительного контроля использованы изогенные линии PI 554118 (*Bt10*).



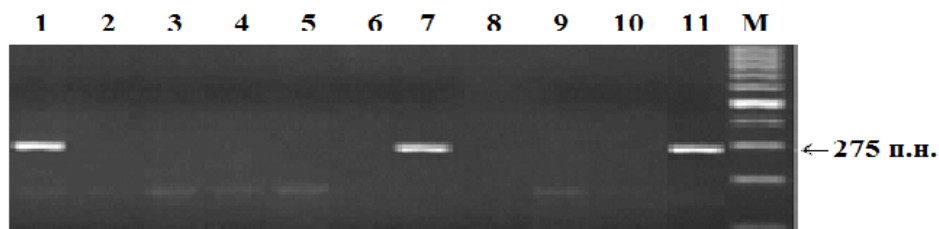
1- PARTNER, 2-02429GP-1, 3- RETEZAT, 4-F08126G1, 5- F08347G1, 6- F06659G-1, 7- F08245G1, 8- F06393GP10, 9-F08034G1, 10- F07270G2, 11-Bt-9 M82-2098, Marker Gene ruller 100 bp

**Рисунок 1** – Идентификация гена Bt9 с использованием маркера Xgpw7433



1-Partner, 2-Retezat, 3-02429GP-1, 4-F08126G1, 5-F08245G1, 6-F06659G-1, 7-F08347G1, 8-F08034G1, 9-F06393GP10, 10-F07270G2, 11- PI 554118 (Bt10), Marker Gene ruller 100 bp

**Рисунок 2** – Идентификация гена Bt10 с использованием маркера Xgwm 469



1- F08034G1, 2-Partner, 3-Retezat, 4-02429GP-1, 5-F08126G1, 6-F08245G1, 7- F07270G2, 8-F08347G1, 9-F06393GP10, 10-F06659G-1, 11- PI 554118 (Bt10), Marker Gene ruller 100 bp

**Рисунок 3** – Идентификация гена Bt10 с использованием маркера FSD/RSAF/R

ПЦР-анализ показал, что ПЦР с использованием двух различных маркеров (FSD/RSA F/R и Xgwm469) показал одинаковые результаты, свидетельствующие о наличии гена *Bt10* (рисунки 2 и 3). В таблице 1 представлены результаты ПЦР-анализа пшеницы, отражающего наличие или отсутствие в исследуемых образцах гена устойчивости к *Tilletia caries*.

Проведен фитопатологический скрининг к твердой головне румынских образцов пшеницы. Из изученных 10 генотипов пшеницы выделено 5 генотипов, демонстрировавших вы-

сокий устойчивости к твердой головне (0%). Сорт Retezat показал восприимчивую реакцию с поражением в 52%. В таблице представлены результаты молекулярного и фитопатологического скрининга образцов пшеницы. Молекулярный скрининг румынских образцов на устойчивость к твердой головне показал, что 2 образца (02429GP-1, F08245G1) обладают геном *Bt9*. При использовании для ПЦР праймера к локусу FSD/RSA у двух образцов выявлен ген устойчивости *Bt10*. Ismail Poргыз et al., 2016, Турция, используя микросателлит-

ные Xgwm469, Xgwm114, Xgwm264, Xgwm374 и RAPD UBC196 маркеры выявили наличие *Bt*-генов в гермоплазме пшеницы и показали, что 10 местных сортов имеют в генотипе гены

устойчивости *Bt10*, *Bt11* [30]. Предыдущие исследования были также проведены для молекулярных исследований казахстанских сортов [31].

Таблица 1 – Молекулярный скрининг румынских образцов пшеницы к твердой головне

№ ката-лога	Название образца	<i>Bt9</i> Xgpw 7433 296 п.н.	<i>Bt10</i> Xgwm469 165 п.н.	<i>Bt10</i> FSD/RSA 275 п.н.	Фитопатологи-ческая оценка, %
77	PARTNER	-			15,4
78	RETEZAT	-		-	52,6
79	02429GP-1	296		-	0
81	F08126G1	-		-	0
82	F08245G1	296		-	0
84	F06659G-1	-		-	4
336	F06393GP10	-		-	3
337	F08347G1	-		-	0
339	F08034G1	-	165	275	5
341	F07270G2	-	165	275	0
Контрольные линии	Богарная 56	-	-	-	46,2
	PI 178383 ( <i>Bt8</i> , <i>Bt9</i> , <i>Bt10</i> )	296	165	275	0
	<i>Bt9</i> M82-2098	296	-	-	0
	PI 554118 ( <i>Bt10</i> )	-	165	275	0
	<i>Bt11</i> M82-2123	-	-	-	0
	<i>Bt12</i> P.I.119333 (M82-2141) BW	-	-	-	0

В результате многих исследований, проведенных в мире, есть много маркеров, определяющих гены устойчивости. С помощью этих маркеров были идентифицированы устойчивые носители генов.

Таким образом, был проведен молекулярный скрининг 10 румынских образцов на устойчивость к возбудителю твердой головни пшеницы. Настоящее исследование было обусловлено необходимостью создания источников устойчивости, доноров пшеницы, которые могут быть использованы в селекции устойчивых к болезни сортов. В результате у перспективных линий 02429GP-1, F08245G1 обнаружен ген *Bt9*, а у двух линий (F08034G, F07270G2) было обнаружен ген *Bt10*. Результаты фитопатологического анализа 5 образцов показали высокоустойчивую реакцию к твердой головне. Румынский сорт Retezat показал восприимчивую реакцию с поражением в 52%.

### Заключение

Молекулярный скрининг румынских образцов на устойчивость к твердой головне показал, что 2 образца (02429GP-1, F08245G1) обладают геном *Bt9*. При использовании для ПЦР праймера к локусу FSD/RSA у двух образцов выявлен ген устойчивости *Bt10*. В результате фитопатологического анализа установлено, что 9 образцов (02429GP-1, F08126G1, F08245G1, F08347G1, F07270G2) характеризуются высокой устойчивостью к твердой головне. Сорт Retezat показал восприимчивую реакцию с поражением в 52%. Полученные нами результаты создают возможность для перехода селекционного процесса в Казахстане на новый научный уровень за счет комплексного применения молекулярно-генетических и фитопатологических методов. Данные являются ценными в селекционных программах для повышения устойчивости к твердой головне.

### Литература

- 1 Shiferaw B., Smale M., Braun H.-J., et al Crops that feed the world 10. Past successes and future challenges to the role played by wheat in global food security // *Food Security*. – 2013. – Vol. 5. – P. 291–317. Doi: 10.1007/s12571-013-0263-y.
- 2 Lipps P.E. Seed and soil-borne diseases of field crop. Seed treatment for agronomic crops // P.E. Lipps, A.E. Dorrance, L.H. Rhoads, G. La Barge // *Bull. / The Ohio State University*. – 2000. – P. 3.
- 3 Yorgancilar A. Screening Turkish and IWWIP germplasm (International winter wheat improvement program) for common bunt (*Tilletia foetida* (Wallr.) Liro, *Tilletia caries* (D.C.) Tul.) resistance under eskisehir field conditions / A. Yorgancilar [et al.] // XIX Intern. Workshop on smuts and bunts (May 3-6 2016). – Izmir, – 2016. – P.54-55.
- 4 Goates B.J. Common bunt and dwarf bunt // In book: Wilcoxson R.D., Saari E.E. (eds.), *Bunt and Smut Diseases of wheat: Concepts and methods of disease management* // – Mexico, D.F.: CIMMYT, – 1996. – P.12-25.
- 5 Койшыбаев М. Болезни зерновых культур. – Алматы, 2002. – С. 367.
- 6 Койшыбаев М., Яхьяви А., Рсалиев Ш.С., Жанарбекова А.Б. Достижения и перспективы селекции озимой пшеницы на устойчивость к болезням в Центральной Азии // *Биологические основы селекции и генофонда растений: Матер. междунар. научн. конф.* – Алматы, 2005. – С. 117-121.
- 7 Чекмарев В.В., Зеленева Ю.В., Фирсов В.Ф., Левин В.А. Методические рекомендации по испытанию химических препаратов и других средств против твердой головки пшеницы на искусственном инфекционном фоне. – Тамбов: Издательский дом ТГУ имени Г.Р. Державина, – 2011. – С. 46.
- 8 Matanguihan J.B., Jones S.S. A new pathogenic race of *Tilletia caries* possessing the broadest virulence spectrum of known races // *Plant Health Progress*. 2011. Online publication. Doi: 10.1094/PHP-2010-0520-01-RS.
- 9 <http://faostat.fao.org>
- 10 Hoffmann J.A., Metzger R.J. Current status of virulence genes and pathogenic races of the wheat bunt fungi in the north-western USA // *Phytopathology*. – 1976. – Vol. 66. – P. 657-660.
- 11 Падерина Е.В., Чмут Л.Я. Проблемы селекции зерновых культур на иммунитет // *Селекция и семеноводство*. – 1995. – №1. – С.15-18.
- 12 Коновалов Ю.Б. Селекция растений на устойчивость к болезням и вредителям. – М.: Колос, 1999. – С. 135.
- 13 Oncica F., Saulescu N.N. Sources of resistance to bunt (*Tilletia* spp.) in modern semidwarf winter wheat (*Triticum aestivum* L.) // *Romanian Agricultural Research*. – 2007. – Vol. 24. – P. 29-32.
- 14 Позднякова Н.Н., Аубекерова Н.Г., Сулейманова Ш.С. Современное состояние селекции устойчивых к болезням сортов зерновых колосовых культур // *Мат. междунар. конф. «Современные методы защиты и сохранения биоразнообразия Кыргызстана»*. – Бишкек, 2010. – С. 151-155.
- 15 Койшыбаев М. Протравливание семян зерновых культур в Казахстане // *Защита и карантин растений*. – 2000. – № 1. – С. 14-16.
- 16 Menzies J.G., Knox R.E., Popovic Z., Procnunier J.D. Common bunt resistance gene Bt10 located on wheat chromosome 6D // *Canadian Journal Of Plant Science*. – 2006. – Issue 86. – P. 1409-1412.
- 17 McIntosh R.A. Catalogue of Gene Symbols for Wheat // 12th Intern. Wheat Genet. Symp. –Yokohama, Japan, –2013. – P. 283.
- 18 Metzger R.J., Schaller C.W., Rohde C.R. Inheritance of resistance to common bunt in wheat, C.I. 7090 / R.J. // *Crop Sci.* – 1979. – Vol. 19. –P. 309-312.
- 19 Sunderman D.W., Bruinsma B. Registration of four wheat cultivars // *Crop Sci.* – 1975. – Vol. 15. – P. 104-105.
- 20 Metzger R.J., Schaller C.W., Rohde C.R. Inheritance of resistance to common bunt in wheat // *Crop Sci.* – 1979. – Vol. 19. – P. 309-312.
- 21 Sunderman D.W., Wise M. Registration of Ranger wheat // *Crop Sci.* – 1973. – Vol. 13. – P. 287.
- 22 Metzger R.J., Silbaugh B.A. A new factor for resistance to common bunt in hexaploid wheats // *Crop Sci.*, – 1971. – Vol.11. – P. 66-69.
- 23 Gaudet D.A. Compatible and incompatible interactions in wheat involving the Bt-10 gene for resistance to *Tilletia tritici*, the common bunt pathogen // *Phytopathology*. – 2007. – Vol. 97. – P.1397-1405.
- 24 Quick J.S., Souza E., Sunderman D.W. Registration of ‘Fairview’ wheat // *Crop Sci.* – 1993. – Vol. 33. – P. 878.
- 25 Hiebert C.W. Genetics and mapping of seedling resistance to Ug99 stem rust in Canadian wheat cultivars ‘Peace’ and ‘Cadillac’ // *Theor. Appl. Genet.* – 2011. – Vol. 122. – P.143-149.
- 26 Кривченко В.И. Изучение головне устойчивости зерновых культур // *Генетика и селекция болезнеустойчивых сортов культурных растений*. – М., 1974. – С. 156-170.
- 27 Riede C.R., Anderson J.A. Linkage of RFLP markers to on aluminum tolerance gene in wheat // *Crop Sci.* – 1996. – Vol. 36(4). – P. 905-909.
- 28 Chen X.M., Line R.F., Leung H. Genome scanning for resistance gene analogs in rice, barley, and wheat by high-resolution electrophoresis. *Theor. Appl. Genet.* – 1998. – Vol. 97. – P.345-355.
- 29 Laroche A., Demeke T., Gaudet D., Puchalski B., Frick M., and McKenzie R. Development of a PCR marker for rapid identification of the Bt10 gene for common bunt resistance in wheat. *Genome*. – 2000. – Vol. 43. – P. 217-223.
- 30 Ismail Poyraz, N. Gumus Comparison of resistance rates and detection of five resistance genes (BtS) in ten local wheat varieties against common bunt disease // – 2016. –V. 5. –P. 37-45.
- 31 Madenova A.K., Kokhmetova A.M., Atishova M.N., Galymbek K., Keishilov Z.S. Molecular screening for resistance to common bunt (*Tilletia caries*) of wheat // *Journal of Biotechnology. Proc. of ‘European Biotechnology Congress 2019, Valencia, Spain, April 11-13, 305S. 2019. S33-S88.* <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2019.05.185>

## References

- 1 Shiferaw, B., Smale, M., Braun, H.-J., et al Crops that feed the world 10. Past successes and future challenges to the role played by wheat in global food security. Food Security. No 5 (2013): 291–317. Doi: 10.1007/s12571-013-0263-y.
- 2 Lipps, P.E. Dorrance, L.H. Rhoads, G. La Barge “Seed and soil-borne diseases of field crop. Seed treatment for agronomic crops.” Bull. The Ohio State University. (2000): 3.
- 3 Yorgancılar, A. “Screening Turkish and IWWIP germplasm (International winter wheat improvement program) for common bunt (*Tilletia foetida* (Wallr.) Liro, *Tilletia caries* (D.C.) Tul.) resistance under eskisehir field conditions.” XIX Intern. Workshop on smuts and bunts. Izmir, (2016): 54-55.
- 4 Goates, B.J. “Common bunt and dwarf bunt. In book’: Wilcoxson R.D., Saari E.E. (eds.), Bunt and Smut Diseases of wheat: Concepts and methods of disease management.” Mexico, D.F.: CIMMYT, (1996): 12-25.
- 5 Kojshybaev, M. Bolezni zernovykh kul'tur [Cereal diseases] Almaty, 2002.
- 6 Kojshybaev, M., Jah'javi, A., Rsaliev, Sh.S., Zhanarbekova, A.B. “Dostizhenijai perspektivy selekcii ozimoy pshenicyna ustojchivost' k boleznjam v Central'noj Azii.” [Achievements and prospects of selection of winter wheat for disease resistance in Central Asia] Biologicheskie osnovy selekcii genofonda rastenij: Mater. mezhdunar. nauchn. konf., (2005): 117-121. (In Russian)
- 7 Chekmarev, V.V., Zeleneva, Ju.V., Firsov, V.F., Levin, V.A. “Metodicheskie rekomendacii po ispytaniyu himicheskikh preparatov idrugih sredstv protiv tvrdojgo lovni pshenicyna na iskusstvennom infekcionnom fone.” [Guidelines for testing chemicals and other anti-wheat smut products against an artificial infectious background] Tambov: Izdatel'skijdom TGU imeni G.R. Derzhavina, (2011): 46. (In Russian)
- 8 Matanguihan, J.B., Jones, S.S. “A new pathogenic race of *Tilletia caries* possessing the broadest virulence spectrum of known races.” Plant Health Progress, (2011). Online publication. Doi: 10.1094/PHP-2010-0520-01-RS.
- 9 <http://faostat.fao.org>
- 10 Hoffmann, J.A., Metzger, R.J. “Current status of virulence genes and pathogenic races of the wheat bunt fungi in the north-western USA.” Phytopathology, no 66 (1976): 657-660.
- 11 Paderina, E.V., Chmut, L. Ja. “Problemy selekcii zernovykh kul'tur na immunitet.” [Problems of selection of crops for immunity] Selekcijai semenovodstvo, no 1 (1995): 15-18. (In Russian)
- 12 Konovalov, J. B. “Selekcija rastenij na ustojchivost' k boleznjam i vrediteljam.” [Plant breeding for resistance to diseases and pests] M.: Kolos, (1999): 135. (In Russian)
- 13 Oncica, F., Saulescu, N.N. “Sources of resistance to bunt (*Tilletia* spp.) in modern semidwarf winter wheat (*Triticum aestivum* L/).” Romanian Agricultural Research, no 24 (2007): 29-32.
- 14 Pozdnjakova, N.N., Aubekerova, N.G., Sulejmanova, Sh.S. “Sovremennoe sostojanie selekcii ustojchivykh k boleznjam sortov zernovykh kolosovykh kul'tur.” [The current state of selection of disease-resistant varieties of cereal crops] Mat. mezhdunar. konf. «Sovremennye metody zashhity i sohraneniya bioraznoobrazija Kyrgyzstana». Bishkek, (2010): 151-155. (In Russian)
- 15 Kojshybaev, M. “Protravlivanie semjan zernovykh kul'tur v Kazahstane.” [Grain seed dressing in Kazakhstan] Zashhitai karantin rastenij, no 1 (2000): 14-16. (In Russian)
- 16 Menzies, J. G., Knox, R. E., Popovic, Z., Procunier, J. D. “Common bunt resistance gene Bt10 located on wheat chromosome 6D.” Canadian Journal Of Plant Science, no 86 (2006): 1409-1412.
- 17 McIntosh, R.A. “Catalogue of Gene Symbols for Wheat“ 12th Intern. Wheat Genet. Symp. –Yokohama, Japan, (2013): 283.
- 18 Metzger, R.J., Schaller, C.W., Rohde, C.R. “Inheritance of resistance to common bunt in wheat, C.I. 7090.” Crop Sci., no 19 (1979): 309-312.
- 19 Sunderman, D.W., Bruinsma, B. “Registration of four wheat cultivars.” Crop Sci., no 15 (1975): 104-105.
- 20 Metzger, R.J., Schaller, C.W., Rohde, C.R. “Inheritance of resistance to common bunt in wheat.” Crop Sci., no 19 (1979): 309-312.
- 21 Sunderman, D.W., Wise, M. “Registration of Ranger wheat.” Crop Sci., no 13 (1973): 287.
- 22 Metzger, R.J., Silbaugh, B.A. “A new factor for resistance to common bunt in hexaploid wheats.” Crop Sci., no 11 (1971): 66-69.
- 23 Gaudet, D.A. “Compatible and incompatible interactions in wheat involving the Bt-10 gene for resistance to *Tilletia tritici*, the common bunt pathogen.” Phytopathology, no 97 (2007): 1397-1405.
- 24 Quick, J.S., Souza, E., Sunderman, D.W. “Registration of ‘Fairview’ wheat.” Crop Sci., no 33 (1993): 878.
- 25 Hiebert, C.W. “Genetics and mapping of seedling resistance to Ug99 stem rust in Canadian wheat cultivars ‘Peace’ and ‘Cadillac’.” Theor. Appl. Genet., no 122 (2011): 143-149.
- 26 Krivchenko, V.I. “Izuchenie golovne ustojchivosti zernovykh kul'tur.” [Studying smut sustainability of crops] Genetikai selekcija bolezne ustojchivykh sortov kul'turnykh rastenij. M., (1974): 156-170. (In Russian)
- 27 Riede, C.R., Anderson, J.A. “Linkage of RFLP markers to an aluminum tolerance gene in wheat.” Crop Sci., no 36 (4) (1996): 905-909.
- 28 Chen, X.M., Line, R.F., Leung, H. “Genome scanning for resistance gene analogs in rice, barley, and wheat by high-resolution electrophoresis.” Theor. Appl. Genet., no 97 (1998): 345-355.
- 29 Laroche, A., Demeke, T., Gaudet, D., Puchalski, B., Frick, M., and McKenzie, R. “Development of a PCR marker for rapid identification of the Bt10 gene for common bunt resistance in wheat.” Genome., no 43 (2000): 217-223.
- 30 Ismail Poyraz, N. “Gumus Comparison of resistance rates and detection of five resistance genes (BtS) in ten local wheat varieties against common bunt disease” no 5 (2016): 37-45
- 31 Madenova, A.K., Kokhmetova, A.M., Atishova, M.N., Galymbek, K., Keishilov, Z.S. “Molecular screening for resistance to common bunt (*Tilletia caries*) of wheat.” Journal of Biotechnology. Proc. of ‘European Biotechnology Congress 2019, Valencia, Spain, April 11-13, 305S, (2019): 33-S88. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2019.05.185>