
БИОЛОГИЯ

УДК 631.11:575.167

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ФАКТОРОВ, ЛИМИТИРУЮЩИХ ПЕРЕЗИМОВКУ ОЗИМЫХ, И РЕАКЦИЯ НА НИХ СОРТОВ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

В.П. Нецеваев

Белгородский федеральный аграрный научный центр РАН

Поступила в редакцию 2.11.2024 г.

Аннотация. В последние годы на фоне потепления климата возможна потеря адаптивности создаваемых сортов озимой пшеницы к неблагоприятным факторам холодного периода. В связи с этим в неблагоприятные для перезимовки озимых годы возникает необходимость идентификации критических факторов, определивших зимостойкость данных культур в условиях полевого опыта и дифференциацию сортов по этому свойству. Этим обуславливалась необходимость в выделении наиболее устойчивых к перезимовке сортов озимой пшеницы, что позволит предотвратить потерю урожая зерна в экстремальных условиях среды. Целью исследования было выявить критические абиотические факторы, лимитирующие перезимовку растений в Белгородской области в 2020-2021 и 2023-2024 холодные периоды года. На основе полученных данных оценить изучаемый растительный материал по зимостойкости, зерновой продуктивности и росту растений.

Установлено, что перезимовку озимых культур 2020-2021 холодного периода в Белгородской области (Белгородский р-н) ограничивала низкая температура. На это указывала реакция зерновых форм дифференциаторов зимостойкости и метеоданные холодного периода. Следовательно, перезимовка озимых лимитировалась морозостойкостью. Вариация сортов озимой пшеницы по морозостойкости на 32,6% определила их различия в 2021 году по урожайности. Морозостойкость и урожайность этой культуры положительно коррелировала с ростом растений. Рост растений положительно влиял на формирование урожайности и в благоприятном по перезимовке 2020 году. Анализ перспективных по урожайности форм этой культуры показал, что оптимальным ростом для условий юго-востока ЦЧР РФ является величина в 90-100 см. Сорта московской селекции по морозостойкости не уступали сортам, созданным в Центрально-Черноземном регионе. В то же время сорта ЦЧР значительно превзошли озимую пшеницу, созданную на юге России, по устойчивости к низким температурам. Среди образцов озимой пшеницы южной селекции по морозостойкости выделились сорта Лилит, Станичная, Казачка и Гром. Следующий неблагоприятный период для перезимовки озимых пришелся на зиму 2023-2024 г. Судя по реакции форм дифференциаторов зимостойкости, лимитирующим фактором являлось переувлажнение почвы, которое привело к дефициту кислорода в зоне корней растений зерновых, на что указывали и метеоданные этого периода. Соответственно, отсутствовала корреляционная связь между перезимовкой сортов озимой пшеницы в рассматриваемые зимы 2020-2021 и 2023-2024 гг. В тоже время, уровень зимостойкости 2023-2024 г. также показал значимую корреляцию с урожайностью и ростом растений озимой пшеницы. Характерно, что в данном случае не было различий по реакции на этот тип перезимовки между группами сортов южной и северной селекции этой культуры.

Ключевые слова: озимая мягкая пшеница, зимостойкость, формы дифференциаторы зимостойкости, урожайность, Белгородская область

У мягкой пшеницы известны локусы *Fr 1*, *Fr 2*, контролирующие морозостойкость и расположенные в хромосомах 5A и 5D [1-3]. В то же время, морозостойкость у пшеницы является полиген-

ным признаком. Из 21 пары хромосом на дифференциацию по этому свойству оказывают влияние 10 [2]. Кроме этого, в хромосоме 5A идентифицирован ген *Win 1*, обуславливающий повышенную зимостойкость, связанную с анаэробиозом в зоне корней, и расположенный на расстоянии 3,2-5,8%

рекомбинации от локуса *B1* (Безостость) [4–5]. На основе QTL анализа дигаплоидов тритикале идентифицированы три основных участка в 5A, 1B и 5R хромосомах, определяющих зимостойкость и морозоустойчивость этой культуры [6]. Зимостойкость озимых культур можно определить, как способность растений пережить холодный период года. Это свойство определяется как количественный признак и включает в себя три основных блока факторов [7], влияющих на способность к перезимовке: температурные – низкая температура и её быстрое изменение; анаэробные – затопление, ледяная корка, толстый слой снега; механические – давление льда, мерзлой почвы, выпирание, выдувание и т.д. Существующие лабораторные методы позволяют выявить уровень морозостойкости и даже идентифицировать гены, контролирующие это свойство [2, 6, 8], но не способны в целом оценить зимостойкость исследуемых форм. Наиболее детально изучена морозостойкость зерновых культур, что связано с возможностью моделирования температурных параметров в контролируемых искусственных условиях среды [8–11]. Итоги данных исследований сводятся к тому, что при формировании свойства морозостойкости гены, обуславливающие потребность растений к яровизации и формирующие озимый тип развития (в частности *vrn-A1*, *vrn-B1*, *vrn-D1* гены пшеницы), выполняют определённую регуляторную роль в проявлении ряда генов, обуславливающих толерантность растений к отрицательным температурам [12–17].

Учитывая многофакторность отрицательного воздействия на растения озимых культур в холодный период времени очевидны трудности, во-первых, определения – какие из них оказали решающее влияние на дифференциацию сортов по перезимовке, т.е., что было фоном отбора на зимостойкость в данный год исследования; во-вторых, выяснения – устойчивостью к каким абиотическим факторам и на сколько обладает изучаемый образец или селекционный материал, что важно при создании новых сортов. Без этого невозможна эффективная селекционная работа на зимостойкость и исследование генетики этого признака в естественных условиях. В результате проведенных многолетних исследований [5–6] был подобран набор сортов и культур зерновых колосовых, который дает возможность дифференцировать зимы по основным факторам среды, лимитирующим перезимовку растений. Он включает: озимый ячмень Одесский 165, озимую твер-

уюшую пшеницу Алый парус, тритикале Доктрина и Тит и ряд сортов озимой мягкой пшеницы.

Целью исследования являлась идентификация лимитирующих перезимовку озимой пшеницы абиотических факторов зимних периодов 2020-2021 и 2023-2024 гг. и оценка зимостойкости к ним ряда сортов этой культуры.

УСЛОВИЯ, МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исследования проводились в селекционном се-вообороте опытного поля отделения №2 ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН», расположенного в западном агроклиматическом районе Белгородской области (п. Гонки). Площадь делянки 18 м², повторность четырехкратная. Норму высева семян по всем сортам определяли из расчета 4,5 млн./га. Посев проводился в течение 10-14 сентября 2020 г. Осень отличалась сухой погодой. Дождь выпал только 17 октября 2020 г. величиной в 28,5 мм. Предшественником для озимой пшеницы служил черный пар, поэтому всходы появились на 8-9 день после посева. Весной в начале мая (фаза кущения) проводили прикорневую подкормку посевов озимой пшеницы аммиачной селитрой с помощью рядовой сеялки при норме расхода удобрения 2 ц/га (в туках). Основное удобрение не применялось. Зимний период 2020-2021 г. был малоснежным. Среднемесячные температуры декабря 2020 г. и января 2021 г. были выше нормы для региона (рис. 1). В то же время, в январе 2021 г. с 16 по 19 число среднесуточная температура опускалась до -20°C (табл. 1), то есть достигала критических значений для выживания озимых растений пшеницы и ячменя. Снежный покров неравномерно располагался по полям, и основная часть местности была без снега. Метеорологические особенности, сложившиеся в период проведения опытов, представлены по данным метеопоста, расположенного вблизи п. Гонки (рис. 1, 2).

Условия закладки полевых опытов в 2023 г. аналогичны представленным выше для 2020 г.

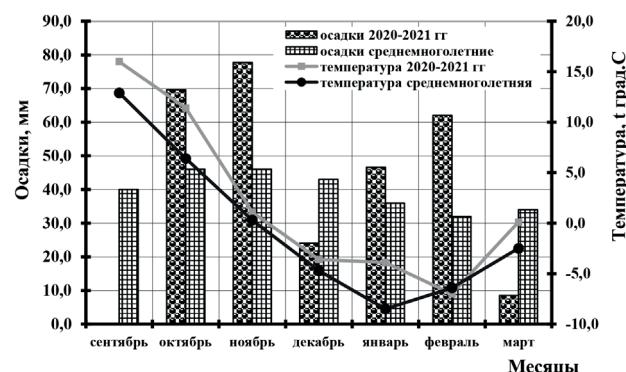


Рис. 1. Метеорологические условия зимнего периода 2020-21 года

Дата посева в 2023 г. 5-6 сентября. Всходы озимых появились 15 сентября 2023 г. Уборка посевов велась с помощью комбайна Сампо-130 с 26 по 28 июля 2021 г. и с 12 июля 2024 г.

В качестве растительного материала, брали сорт и гибриды озимой мягкой пшеницы собственной селекции, других селекцентров РФ и набор форм зерновых дифференциаторов зимостойкости.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием программ STAT (ВНИИ агрохимии им. Прянишникова) и Nirsman (Белгородский ГАУ). Различия между средними определяли по t-критерию Стьюдента. Для сравнения признаков также вычисляли наименьшую существенную разницу (НСР). Корреляционные связи выявляли с использованием параметрического линейного коэффициента корреляции Пирсона (r), т.к. распределение анализируемых признаков подчиняется нормальному закону. Вклад анаэробиоза в формирование урожайности озимой пшеницы оценивали с использованием коэффициента детерминации (R^2).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Последние семь лет в целом характеризовались благоприятными условиями перезимовки озимых. Об этом свидетельствуют данные зимостойкости образ-

зов зерновых дифференциаторов по оценке уровня зимостойкости на опытах Центра в эти годы (табл. 2).

Исключение в этот период составляли зимы 2020-2021 и 2023-2024 гг. Так, зима 2020-2021 года по температурному режиму, несмотря на превышение нормы (рис.1), отличалась критически низкими значениями с 16 по 19 января (табл. 1). В то же время, количество осадков в декабре было на половину ниже нормы, а январь не компенсировал дефицит снега. Так, к 16 января выпало осадков всего 18,5 мм. В сложившейся ситуации, при слабом снежном покрове температурный фактор стал решающим успешности перезимовки в прошедшем году. Табл. 1 подтверждает то, что критическим фактором воздействия на озимые явилась температура. Это подтверждают и данные реакции форм дифференци-

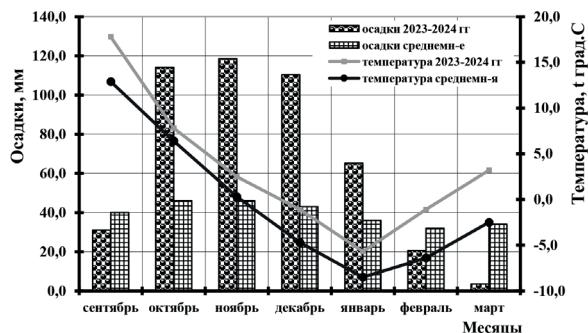


Рис. 2. Метеорологические условия 2023-2024 гг.

Таблица 1

Метеоданные в течение января 2021 года (п. Гонки, Белгородский р-н)

Дата	Ср. температура воздуха, °C	Ср. температура почвы, °C	Осадки, мм
11	-4,4	-6	
12	-3,5	-5	6
13	-5,1	-6	8
14	-6,2	-9	4,5
15	-6,1	-7	
16	-14,5	-18	
17	-19	-20	
18	-15,6	-15	
19	-18,8	-20	
20	-17,5	-12	
21	-12,9	-9	
22	-0,4	0	
23	2	1	
24	3,5	4	
25	1	2	
26	3,2	3	2,1
27	-0,5	0	
28	2,6	1	6,5
29	-0,5	-1	
30	-3,3	-4	3,5
Среднее за месяц	-3,9	-	-
Σ	-	-	30,6
Среднемноголетние данные за январь			
	-8,5	-	36,0

Примечание: Жирным шрифтом отмечены дни с критически низкой температурой почвы

аторов зимостойкости (табл. 2). В итоге, наиболее сильно пострадал в результате перезимовки озимый ячмень, который, как культура, является наиболее восприимчивой к воздействию низких температур (рис. 2).

Достаточно слабо пережила зиму озимая твердая пшеница, у которой уровень устойчивости к низким температурам выше, чем у ячменя, но ниже чем у озимой мягкой пшеницы. Озимая мягкая пшеница перезимовала удовлетворительно (табл. 2, 3).

Реакция сортов и культур дифференциаторов типа зимостойкости по годам

Название сорта	Название культуры	Перезимовка по годам, баллы						
		2017-18	2018-19	2019-20	2020-21	2021-22	2022-23	2023-24
Одесский 165	озимый ячмень	5	5	5	1,5	5	5	5
Алый парус	озимая твердая пшеница	5	5	5	3	5	5	2,5
Альмера		5	5	5	4,8	5	5	4,5
Ариадна		5	5	5	5	5	5	3
Богданка		5	5	5	5	5	5	4
Корочанка		5	5	5	5	5	5	5
Доктрина		5	5	5	5	5	5	5
Тит	озимый тритикале	5	5	5	5	5	5	3,5

Таблица 2

Зимостойкость сортов озимой пшеницы в 2020-21 г. селекции ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН» и других селекцентров России

Название сорта	Оригинатор	Зимостойкость, балл	Отклонение от стандарта, балл	t- критерий относительно Белгород-Курского региона
Альмера (ст.)	Шестопалов И.	4,8±0,1	-	
Ариадна	Белгородский ФАНЦ РАН	5	+0,2	
Богданка	- « -	5	+0,2	
Везёлка	- « -	4,5	-0,3	
Корочанка	- « -	5	+0,2	
Синтетик	- « -	5	+0,2	
Льговская 4	Льговская ОС	5	+0,2	
Белгородская 16	БелГАУ	5	+0,2	
Майская юбил.	- « -	5	+0,2	
Сорта Белгород-Курского региона		4,92±0,06	-	
Капризуля	АНЦ «Донской»	4,5	-0,3	
Адмирал	- « -	3	-1,8	
Зерноградка	- « -	4	-0,8	
Ермак	- « -	4,5	-0,5	
Дон 105	- « -	4,5	-0,3	
Лилит	- « -	5	+0,2	
Танаис	- « -	4,5	-0,3	
Аксинья	- « -	4,5	-0,3	
Бонус	- « -	4	-0,8	
Станичная	- « -	5	+0,2	
Казачка	- « -	5	+0,2	
Тимирязевская 150	Национальный центр зерна	4	-0,8	
Шеф	- « -	4	-0,8	
Гром	- « -	5	+0,2	
Ахмад	- « -	3	-1,8	
Гомер	- « -	3	-1,8	
Армада	- « -	4,5	-0,3	
Сорта Северо-Кавказский региона		4,20±0,16	4,68*	
Немчиновская 24	МСХА им. Тимирязева	4,5	-0,3	
Немчиновская 57	- « -	4,5	-0,3	
Московская 40	- « -	5	+0,2	
Московская 56	- « -	5	+0,2	
Скипетр	Полетаев (Москва)	4,5	-0,3	
Сорта Московской селекции		4,70±0,12	1,64	
НСР0,05 = 0,4				

Примечание: *- различия существенны при $P < 0,01$

Такая реакция по перезимовке характерна для зим, когда критическим фактором являются низкие температуры. В противном случае, озимый ячмень зачастую зимует лучше озимой твердой пшеницы как, например, показала зима 2001-2002 г., когда ячмень имел зимостойкость 5 баллов, а твердая пшеница – 1 балл [5]. В этом случае, основным фактором являлось переувлажнение почвы в холодный период года, когда растения пшеницы страдали от недостатка кислорода (анаэробиоз) в зоне корневой системы. Дифференциацию сортов и культур по перезимовке 2020-2021 г. демонстрирует рис. 3.



Рис. 3. Состояние озимых после перезимовки 2020-2021 г. 1 – озимая мягкая пшеница, 2 – озимый ячмень, 3 – озимая твердая пшеница

Сорта озимой мягкой пшеницы селекции «Белгородского ФАНЦ РАН» и БелГАУ перезимовали удовлетворительно (табл. 2, 3). Предыдущие зимы не были критическими с точки зрения зимостойкости и не дифференцировали селекционный материал по этому свойству (табл. 3). В целом, судя по реакции культур дифференциаторов, различия селекционного материала по зимостойкости связаны с морозостойкостью исследуемых образцов. Сравнительный анализ уровня морозостойкости ряда сортов южной и северной селекции России представлен в таблице 3, согласно которой сорта Белгород-Курского региона были значительно более морозостойкими по сравнению с пшеницей Северо-Кавказского региона. Учитывая полученную дифференциацию озимой пшеницы по морозостойкости в 2020/2021 г., проведен корреляционный анализ связи уровня перезимовки селекционного материала с урожайностью. Анализ

всего конкурсного испытания (n=93) подтвердил сопряжённость урожайности с морозостойкостью (табл. 4).

В данном случае коэффициент корреляции (r) между признаками "морозостойкость" и "урожайность" составил $0,571 \pm 0,086$ ($P < 0,001$). Следует отметить, что большей морозостойкостью обладали более высокорослые образцы (табл. 4). Так, корреляция перезимовки с ростом растений составила $0,495 \pm 0,091$ ($P < 0,001$). Соответственно, более высокорослые формы дали и более высокий урожай ($r=0,631 \pm 0,081$; $P < 0,001$; табл. 4). Данную закономерность проверили на семьях сортов в питомнике первичного семеноводства. Так, средний рост растений сорта Богданка составлял 73 см. Корреляция между высотой растений семей этого сорта и их урожайностью в 2021 г. составляла $0,645 \pm 0,204$ ($n=16$; $P < 0,01$). Сорт Синтетик имеет больший рост – 95,5 см. В данном случае корреляция между указанными признаками по оценке отдельных семей Синтетика 2021 года составила $0,558 \pm 0,125$ ($n=46$; $P < 0,001$). Следует отметить, что урожайность семей среднерослого сорта Синтетик в 2021 году превысила этот показатель семей полукарлика Богданки на 16,3 ц/га.

Характерно, что в результате плохой перезимовки в Белгородской области в 2021 году было пересеяно 125 тыс. гектар озимой пшеницы (данные Министерства сельского хозяйства и продовольствия Белгородской области за 2021 г.). Основной причиной этого явилось увлечение ряда сельскохозяйственных предприятий Белгородской области сортами озимой мягкой пшеницы южного происхождения. В области ежегодно высевается от 300 до 350 тыс. гектар этой культуры.

Оценка связи урожайности 2020 года с высотой растений также показала значимую зависимость этих показателей. Так, корреляционный анализ 91 номера КСИ-20 дал коэффициент r величиной в $0,648 \pm 0,081$ ($P < 0,001$). Следовательно, в условиях Белгородской области низкорослость не является ведущим компонентом формирования урожайности даже в годы благоприятные для нормальной перезимовки озимой пшеницы. Характерно, что формы,

Таблица 4

Коэффициенты корреляции между некоторыми хозяйствственно-ценными количественными признаками по данным анализа конкурсного испытания 2021 года (n=93)

Количественные признаки	Урожайность	Морозостойкость	Рост растений
Урожайность	-	$t=6,638^{***}$	$t=7,759^{*}$
Морозостойкость	$0,571 \pm 0,086$	-	$t=5,432^{*}$
Рост растений	$0,631 \pm 0,081$	$0,495 \pm 0,091$	-

*** - коэффициент корреляции отличается от нуля при $P < 0,001$

обладавшие повышенной зимостойкостью в 2021 году, имели более высокую урожайность и в 2020 году. Об этом свидетельствует корреляционный анализ между данными показателями сравниваемых годов. В данном случае $r=0,236\pm 0,103$ ($n=91$; $P<0,05$).

Различия в урожайности, связанные с особенностями климатических условий 2020 и 2021 годов, составили 46,8 ц/га (табл. 5) и были существенны. Вклад условий среды за эти годы доминировал и выражался величиной в 96,7%. Роль данного набора сортов (15) на этом фоне нивелировалась и составила 1,5% (случайные отклонения были на уровне 1,8%). Высота растений, выделившихся сортообразцов по урожайности, в сравниваемые годы составила 90-100 см (табл. 5).

Зима 2023-2024 г. отличалась отсутствием низких критических для перезимовки озимых температур, но повышенным количеством осадков (рис. 2).

Так, период с октября по январь характеризовался значительным количеством осадков, способствующим формированию анаэробных условий в поверхностном слое почвы. В данном случае также наблюдалось изреживание посевов озимых зерновых в холодный период года. Судя по реакции форм озимых дифференциаторов зимостойкости, в данном случае фактором, лимитирующим зимостойкость, явился анаэробиоз (недостаток кислорода в зоне корней). В этих условиях озимый ячмень Одесский 165 перезимовал лучше некоторых сортов озимой мягкой пшеницы (табл. 2). Характерно, что он в отличие от озимой мягкой и твердой пшеницы несет «быстрый» вариант корневой супероксиддисмутазы, которая обуславливает устойчивость растений к неблагоприятным факторам внешней среды в корневой зоне [9-11]. Роль этого фермента обусловлена защитой от свободных радикалов, возникающих

Таблица 5

Сортобразцы, выделившиеся по урожайности за 2020-2021 гг.

Название, происхождение	Урожайность, ц/га			Отклонение от стандарта	Высота растения, см	Перезимовка в 2021, баллы
	2020	2021	среднее			
Альмера (стандарт)	86,8	24,4	55,6	-	95	4,8
1D0 X КСИ-44/09	85,6	36,3	61,0	+5,4	98	5
Синтетик	84,9	33,7	59,3	+3,7	96	5
Аriadna	78,4	30,6	54,5	-1,1	93	5
Волжская 100	84,2	41,3	62,8	+7,2	110	5
Козачья	75,8	33,6	54,7	-0,9	92	5
Льговская 4	70,6	30,2	50,4	-5,2	82	5
Свирская	80,9	32,7	56,8	+1,2	85	5
Одесская 267 X92/04	73,6	38,3	56,0	+0,4	102	5
1345-1352/13	80,6	36,8	58,7	+3,1	86	5
Богданка X Уни 1	80,7	39,1	59,9	+4,3	85	4,5
78/12 X 81/12	84,9	30,4	57,7	+2,1	90	4,5
Волжская 100 X 1D0	82,6	34,9	58,8	+3,2	85	5
Hoff(Волжск.100 X 1D0)	83,3	31,4	57,4	+1,8	105	5
(Аriadna X Одесская красн.) (Альб.114 X 1580)	84,4	35,6	60,0	+4,4	100	5
Среднее	80,8	34,0	57,4	-	93,3	4,9±0,1
HCP 0,05	5,2	5,6	-	-	-	0,3

Таблица 6

Зимостойкость сортов озимой пшеницы в 2023-24 г. селекции ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН» и других селекцентров России

Название сорта	Оригинатор	Зимостойкость, балл	Отклонение от стандарта, балл	Критерий t относительно Белгород-Курского региона
Альмера	Шестопалов И.	3,4±0,2	-	
Аriadna	Белгородский ФАНЦ РАН	3	-0,4	
Богданка	- « -	4	+0,6	
Везёлка	- « -	3	-0,4	
Корочанка	- « -	3,5	+0,1	
Синтетик	- « -	3,5	+0,1	
Льговская 4	Льговская ОС	4	+0,6	
Ольшанка	Белгородский ФАНЦ РАН	4	+0,6	
Заречная	- « -	5	+1,6	
Сорта Белгород-Курского региона		3,71±0,21	-	

Таблица 6 (Продолжение)

Зимостойкость сортов озимой пшеницы в 2023-24 г.
селекции ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН» и других селекцентров России

Название сорта	Оригинатор	Зимостойкость, балл	Отклонение от стандарта, балл	Критерий t относительно Белгород-Курского региона
Капризуля	АНЦ «Донской»	3,5	+0,1	
Адмирал	- « -	2,5	-0,9	
Зерноградка	- « -	3	-0,4	
Ермак	- « -	4	+0,6	
Дон 105	- « -	3,5	+0,1	
Лилит	- « -	3,8	+0,4	
Танаис	- « -	3	-0,4	
Аксинья	- « -	4	+0,6	
Бонус	- « -	3	-0,4	
Станичная	- « -	4,5	+1,1	
Казачка	- « -	4,5	+1,1	
Среднее	- « -	3,6±0,2	-	0,48
Тимирязевская 150	Национальный центр зерна	5	+1,6	
Шеф	- « -	4,2	+0,8	
Гром	- « -	4,5	+1,1	
Ахмад	- « -	4	+0,6	
Федор	- « -	5	+1,6	
Армада	- « -	5	+1,6	
Агрофак	- « -	2,5	-0,9	
Среднее	- « -	4,2±0,3	-	1,89
Сорта Северо-Кавказский региона			3,86±0,19	0,53
Немчиновская 24	МСХА им. Тимирязева	3	-0,4	
Немчиновская 57	- « -	2,5	-0,9	
Московская 40	- « -	3	-0,4	
Московская 56	- « -	4	+0,6	
Скипетр	Полетаев (Москва)	5	+1,6	
Сорта Московской селекции			3,50±0,45	0,43
			HCP0,05 = 0,7	

в неблагоприятных условиях прикорневой среды и приводящих к гибели клеток. Пшеница является мономорфной по этому ферменту и несет «медленный» его вариант.

Различия по зимостойкости сортов озимой мягкой пшеницы холодного периода 2023-2024 г. представлены в табл. 6.

Как видно, дифференциация сортов на этот экстремальный фактор внешней среды оказалась более широкой, чем в 2021 г. Так, сорта Немчиновская 57, Агрофак, Адмирал, Джулия, ЗАКО 121626 показали зимостойкость в данном случае лишь на 2,5 балла. В то же время, ряд сортов озимой мягкой пшеницы имел перезимовку в 5 баллов (табл. 6). Характерно, что в целом различий между группами сортов озимой мягкой пшеницы селекции южных и более северных регионов России по реакции на анаэробиоз не обнаружено (табл. 6).

Различия в урожайности, связанные с особенностями климатических условий 2023 и 2024 го-

дов, составили 52,4 ц/га (табл. 7). Следовательно, анаэробиоз холодного периода 2023-24 г. более сильно снизил урожайность озимой пшеницы, чем низкие температуры зимы 2020-2021 гг.

Подтверждением разнофакторности действия условий среды холодных периодов 2020-2021 и 2023-2024 г. на растения озимой мягкой пшеницы может служить отсутствие корреляции перезимовки 70 образцов данной культуры в сравниваемые зимы с другими признаками.

Характерно, что сорт озимого тритикале Тит также негативно отреагировал на сложившиеся условия зимы 2023-2024 г. (табл. 2).

Корреляционный анализ сопряженности зимостойкости 2023-2024 г. с урожайностью зерна и ростом растений озимой пшеницы показал высокую значимость данного фактора, лимитирующего перезимовку, с этими количественными признаками (табл. 8). Соответственно, вклад анаэробиоза в формирование урожайности озимой пшеницы составил 57,2% (коэффициент детерми-

Таблица 7

Сортобразцы, выделившиеся по урожайности за 2023-2024 гг.

Название, происхождение	Урожайность, ц/га			Отклонение от стандарта	Высота растения, см	Перезимовка в 2024 г, баллы
	2023	2024	среднее			
Альмера (стандарт)	72,2	6,7	39,5	-	60	4,8
1D0 X КСИ-44/09	85,3	13,1	49,2	+9,7	65	5
Синтетик	75,6	9,9	42,8	+3,3	65	5
Аriadna	69,1	6,8	38,0	-1,5	60	5
Волжская 100	68,1	9,9	39,0	-0,5	70	5
Козачья	67,0	20,8	43,9	+4,4	75	5
Льговская 4	67,8	19,1	43,5	+4,0	65	5
Свирская	57,8	32,7	45,3	+5,8	70	5
Одесская 267 X92/04	62,0	18,9	40,5	+1,0	65	5
1345-1352/13	80,7	30,2	55,5	+16,0	70	5
Богданка X Уни 1	79,4	24,1	51,8	+12,3	60	4,5
78/12 X 81/12	71,1	21,2	46,2	+6,7	70	4,5
Волжская 100 X 1D0	84,9	24,0	54,5	+15,0	65	5
Hoff(Волжск.100 X 1D0)	58,7	16,8	37,8	-1,7	60	5
(Аriadna X Одесская красн.) (Альб.114 X 1580)	70,8	20,9	45,9	+6,4	65	5
Среднее	71,4	19,0	45,2	-	65,7	4,9±0,1
HCP 0,95	6,7	2,7	-	-	-	0,3

Таблица 8

Коэффициенты корреляции между некоторыми хозяйствственно-ценными количественными признаками по данным анализа конкурсного испытания 2024 года (n=86)

Количественные признаки	Урожайность	Зимостойкость	Рост растений
Урожайность	-	t=10,585***	t=8,919***
Зимостойкость	0,756±0,071	-	t=10,278***
Рост растений	0,697±0,078	0,746±0,073	-

*** - коэффициент корреляции отличается от нуля при Р<0,001

нации 0,572), а в рост растений - 55,7% (коэффициент детерминации 0,557), что больше влияния морозостойкости 2020-2021 г. на эти признаки (табл. 4). В целом, эти данные показывают влияние факторов среды, независимо от наследственности, на формирование некоторых количественных признаков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе реакции дифференциаторов озимых образцов зерновых на перезимовку в зимы 2020-2021 и 2023-2024 гг. и анализа метеорологических данных за эти годы установлено, что лимитирующим успешность зимовки фактором в первом случае были низкие температуры, а во втором, – анаэробиоз (недостаток кислорода в зоне корней). Соответственно, зимостойкость в холодный период 2020-2021 г. определялась степенью морозостойкости сорта, а в 2023-2024 г. уровнем устойчивости сорта к дефициту кислорода в корневой зоне растений.

Группы сортов озимой мягкой пшеницы южной селекции (Краснодар, Ростов) по морозостойкости значительно уступали сортам более северных регионов России (Белгород, Курск, Москва). В то же время ряд сортов южной селекции: Лилит,

Казачка, Станичная, Гром, показали высокую морозостойкость. По устойчивости к анаэробиозу в холодный период года различий между группами сортов озимой мягкой пшеницы южной и более северной селекции не выявлено. Наибольшей устойчивостью к этому фактору зимостойкости отличались сорта: Ариадна, Заречная, Льговская 4, Тимирязевская 150, Федор, Армада, Свирская, Скипетр, Синтетик.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Galiba G. Mapping of genes involved in glutathione, carbohydrate and COR 14b cold induced protein accumulation during cold hardness in wheat / I. Kerepesi, A. Vagujfalvi, G. Kocsy, L. Cattivelli, J. Dubcovsky, J.W. Snape, J. Sutka // Euphytica. – 2001. – V. 119. – P. 173–177.
2. Sutka J. Genes for frost resistance in wheat / J. Sutka // . – Euphytica. –2001: – V. 119. – P. 169–173.
3. Sutka J. Location of a gene for frost resistance on chromosome 5A of wheat / J. Sutka, J.W. Snape // Euphytica. – 1989. – V. 42. – P. 41–44.
4. Нецветаев В.П. Выявление наследственной изменчивости зерновых по зимостойкости / В.П. Нецветаев // Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2025, № 3

- цветаев, О.В. Нецеваева // Генетика. – 2004. – Т. 40. – №11. – С. 1502–1508. // Netsvetaev V.P. Revealing hereditary variation of winter hardness in cereals / V.P. Netsvetaev, O.V. Netsvetaeva // Russian J. Genetics. – 2004. – V. 40. – No. 11. – P. 1239–1244.
5. Нецеваев В.П. Селекция озимых на повышенную зимостойкость / В.П. Нецеваев, О.В. Нецеваева // Научно-методическое пособие. – Белгород. – 2008. – 46 с. // Netsvetaev V.P. Breeding of winter crops for increased winter hardness / V.P. Netsvetaev, O.V. Netsvetaeva // Nauchno-metodicheskoye posobiye. – Belgorod. – 2008. – 46 p.
6. Liu W. Genetic architecture of winter hardness and frost tolerance in Triticale / W. Liu, H. P. Maurer, G. Li, M. R. Tucker, M. Gowda, E. A. Weissmann, V. Hahn, T. Würschum // Plos One. – 2014. – June. – 13. – doi.org/10.1371/journal.pone.0099848
7. Животков Л.А. Методологические вопросы физиологии и селекции пшеницы на зимостойкость / Л.А. Животков и П.И. Кубарев // Сб. Повышение зимостойкости озимых зерновых. – М.: Колос. – 1993. – С. 22–28. // Zhivotkov L.A. Methodological issues of physiology and breeding in wheat for winter hardness / L.A. Zhivotkov and P.I. Kubarev // Sb. Povysheniye zimostoykosti ozimykh zernovykh. – M: Kolos. – 1993. – P. 22–28.
8. Tischner T. Climatic programmes used in the Martonvásár phytotron most frequently in recent years. / T. Tischner, , B. Kőszegi, O. Veisz // Acta Agron Hung. – 1997. – V. 45. – P. 85–104.
9. Sutka J. Genetic studies of frost resistance in wheat / J. Sutka // Theor. Appl. Genet.. – 1981. – V. 59. – P. 145–152.
10. Sutka J. Reciprocal monosomic analysis of frost resistance on chromosome 5A in wheat / J. Sutka, G. Kovacs // Euphytica. – 1985. – V. 34:– P. 367–370.
11. Börner A. Gene and genome mapping in cereals / A. Börner. // Cellular & Molecular Biology Letters. – 2002. – V. 7. – P. 423–429.
12. Limin A.E. Breeding for cold hardness in winter wheat: problems, progress and alien gene expression / A.E. Limin, D.B. Fowler. // Field Crops Research. – 1991. – V. 27. – P. 201–218.
13. Fowler D.B. Relationship between low-temperature tolerance and vernalization response in wheat and rye / D.B. Fowler, A.E. Limin, Wang Shi-Ying, R.W. Ward // Can. J. Plant Sci. – 1996. – V. 76. – P. 37–42.
14. Babben S. Association genetics studies on frost tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) reveal new highly conserved amino acid substitutions in CBF-A3, CBF-A15, VRN3 and PPD1 genes / S. Babben, E. Schliephake, P. Janitza, T. Berner, J. Keilwagen, M. Koch, F. A. Arana-Ceballos, S. E. Templer, Y. Chesnokov, T. Pshenichnikova, J. Schondelmaier, A. Börner, K. Pillen, F. Ordon & D. Perovic // BMC Genomics. – 2018. – V. 19 (409). – P. 5–29.
15. Koemel J.E. Cold hardness of wheat near-isogenic lines differing in vernalization alleles / J.E. Koemel, A.C. Guenzi, J.A. Anderson, E.L. Smith // . Theor. Appl. Genet. – 2004. – V. 109:– P.839–46.
16. Fowler D.B., Chauvin L.P., Limin A.E. & Sarhan F., The regulatory role of vernalization in the expression of low temperature-induced genes in wheat and rye / D.B. Fowler, , L.P. Chauvin, A.E. Limin, F. Sarhan // Theor Appl Genet. – 1996. – V. 93. – P. 554–559.
17. Galiba G. RFLP mapping of the vernalization Vrn1 and frost resistance Fr1 genes on chromosome 5A of wheat / G. Galiba, S.A. Quarrie, J. Sutka, A. Morgounov J.W. Snape // Theor Appl Genet. – 1995. V. 90. – P. 1174–1179.
18. Крестинков И. С. Генотипическая изменчивость корневой супероксиддисмутазы у ярового ячменя / И. С. Крестинков, В.П. Нецеваев, С.В. Бирюков // Научно-техн. бюлл. – ВСГИ. – Одесса. – 1986. – №4(62). – С. 35–40. // Krestinkov I.S. Genotypic variability of root superoxide dismutase in spring barley / I.S. Krestinkov, V.P. Netsvetaev, S.V. Biryukov // Nauchno-tekh. byull. – VSGI. – Odessa. – 1986. – No 4(62). – P. 35–40.
19. Нецеваев В. П. Распределение аллелей супероксиддисмутазного локуса, Sod S, в культуре ярового ячменя по территории бывшего СССР / В. П. Нецеваев, А.А. Поморцев, И.С. Крестинков // Генетика. – 1995. – Т.31. – №12. – С. 1664–1670. // Netsvetaev V.P. Distribution of the superoxide dismutase allele's locus, Sod S, in spring barley crops in the territory of the former USSR / V.P. Netsvetaev, A.A. Pomortsev, I.S. Krestinkov // Genetika. – 1995. – V. 31. – No. 12. – P. 1664–1670.
20. Крестинков И. С. Способ отбора форм ярового ячменя, устойчивых к засолению / И. С. Крестинков, В.П. Нецеваев, С.В. Бирюков // Авторс.свидет. №1425880 от 22 мая 1988 (заявка №4135647 от 17 окт.1986). // Krestinkov I.S. A method for selecting forms of spring barley that are resistant to salting / I. S. Krestinkov, V.P. Netsvetaev, S.V. Biryukov // The authors. Good luck. No.1425880 dated May 22, 1988 (application No. 4135647 dated October 17, 1986).

ФГБНУ «Белгородский федеральный аграрный научный центр Российской академии наук» |

Нетсветаев Владимир Павлович, доктор биологических наук, профессор, эксперт по растениеводству и семеноводству

E-mail: v.netsvetaev@yandex.ru

FGBNU "Belgorod Federal Agrarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences"

Netsvetaev Vladimir P., PhD., DSci., Full Professor, Expert on plant and seed production

E-mail: v.netsvetaev@yandex.ru

IDENTIFICATION OF FACTORS LIMITING OVERWINTERING IN WINTER CROPS AND THE REACTION OF COMMON WHEAT VARIETIES TO THEM

V.P. Netsvetaev

Belgorod Federal Agrarian Scientific Center Russian Academy of Sciences

Abstract. In recent years, with climate warming, a loss of adaptability of new varieties in winter wheat to adverse factors of the cold period is possible. In this regard, in the years unfavorable for overwintering of winter crops, it becomes necessary to determine the critical factors that determined the winter hardiness of these crops in the conditions of field experience and the differentiation of varieties according to this property. This necessitated the allocation of the most winter wheat varieties resistant to overwintering, which will prevent the loss of grain yield in extreme environmental conditions. The aim of the study was to identify critical abiotic factors limiting overwintering of plants in the Belgorod region in the 2020-2021 and 2023-2024 cold seasons. Based on the data obtained, evaluate the studied plant material for winter hardiness, grain productivity and plant growth.

It was found that the overwintering of winter crops in the 2020-21 winter period in the Belgorod region (Belgorod district) was limited by low temperatures. This was indicated by the reaction of cereal forms of winter hardiness differentiators and cold weather data. Consequently, overwintering of winter crops was limited by frost resistance. The variation of winter wheat varieties in frost resistance by 32.6% determined their differences in yield in 2021. The frost resistance and yield of this crop positively correlated with plant growth. Plant growth had a positive effect on the formation of yields in the favorable overwintering year 2020. An analysis of the yield-promising forms of this crop showed that the optimal growth for the conditions in the south-east of the European part of the Russian Federation is a value of 90-100 cm. The varieties of the Moscow breeding were not inferior in frost resistance to the varieties created in our region. At the same time, varieties from our region have significantly outperformed winter wheat developed in southern Russia in terms of resistance to low temperatures. Among winter wheat samples of southern breeding, the varieties Lilit, Stanichnaya, Kazachka and Grom stood out in terms of frost resistance. The next unfavorable period for overwintering winter crops occurred in the winter of 2023-2024. In this case, judging by the reaction of the forms of winter hardiness differentiators, the limiting factor was waterlogging of the soil, which led to a shortage of oxygen in the root zone of grain plants. This was also indicated by the meteorological data of this period. Accordingly, there was no correlation between overwintering of winter wheat varieties in the winters of 2020-2021 and 2023-2024 under consideration. At the same time, the level of winter hardiness in 2023-2024 also showed a significant correlation with the yield and growth of winter wheat plants. It is characteristic that in this case there were no differences in the reaction to this type of overwintering between the groups of varieties of the southern and northern breeding of this crop.

Keywords: winter common wheat, winter hardiness, forms of winter hardiness differentiators, yield, Belgorod region