

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛАСТИЧНОСТЬ НОВЫХ СОРТОВ ТРИТИКАЛЕ В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН

Пономарев С.Н., доктор сельскохозяйственных наук,

Пономарева М.Л., доктор биологических наук, профессор.

Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства ФИЦ
Казанский научный центр РАН

420059, Республика Татарстан, г. Казань, Оренбургский тракт, 48,

e-mail: tatniva@mail.ru

Для оценки стрессоустойчивости, пластичности и стабильности семи районированных сортов и перспективных сортообразцов озимой тритикале использованы значения урожайности в 2015-2018 гг., полученные на опытном поле ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН (Республика Татарстан). Агроклиматические условия в годы исследований значительно различались. В наиболее благоприятном 2017 г. урожайность тритикале варьировала от 71,8 до 81,9 ц/га, а индекс условий среды имел положительное значение ($I_j = 20,1$). Пластичность сортов, рассчитанная по методике S.A. Eberhart, W.A. Russel в интерпретации В.А. Зыкина, варьировала от 0,717 (Бета) до 1,167 (Казанский 59). Сорта Бета и Казанский 32 обладают высокой стрессоустойчивостью. Высокая пластичность урожайности в ответ на изменения условий выращивания отмечена у сортов Немчиновский 56, Корнет, Светлица, Казанский 32, Башкирская короткостебельная. Выделен сорт Казанский 59 интенсивного типа с урожайностью в благоприятных условиях 81,9 ц/га, но с меньшей стабильностью. Сортообразец Казанский 32 показал себя как отзывчивый на улучшение условий и стабильно высокоурожайный сорт интенсивного типа. Сорт Бета, включенный в Госреестр по 7 и 4 регионам, обладает максимальной пластичностью и стабильностью урожайности. Сорт

Светлица достоверно превосходит по урожайности и качеству зерна стандарт Башкирская короткостебельная, однако преимущества по урожайности в большей степени реализуются в благоприятные годы.

Ключевые слова: озимая тритикале, сорт, урожайность, экологическая пластичность, стабильность

Введение. О синтетической злаковой культуре тритикале в настоящее время хорошо известно не только в научном сообществе, но и сельхозпроизводителям и переработчикам. Во многом этому способствовали современные селекционные достижения культуры [1, 2]. Новые сорта формируют урожайность до 10 т/га и выше, однако в целом по РФ средняя урожайность остается в пределах 2,5-2,7 т/га. Это свидетельствует о том, что генетический потенциал, заложенный в сорте, используется лишь на 25-30% [3, 4]. Следовательно, одним из путей увеличения производства высококачественного продовольственного и кормового зерна тритикале является более эффективное использование потенциала зерновой культуры.

Посевные площади тритикале в России также перестали увеличиваться несмотря на то, что в Государственном реестре селекционных достижений на 2019 включены 87 сортов озимой тритикале [5]. Так, по данным Росстата в 2019 году в хозяйствах всех категорий составили всего лишь 147,7 тыс. га. (<https://ab-centre.ru/news/tritikale-ploschadi-sbory-i-urozhaynost-v-2009-2019-gg>). По сравнению с наиболее удачными 2013-2015 гг. (250 тыс. га) возделывание культуры сократилось на 40%. Причина отсутствия роста площадей и даже их снижения в последние 4 года кроется в проблеме соотношения потенциальной продуктивности тритикале и экологической устойчивости сортов [6].

Определяя значение различных факторов роста урожайности, на первое место обычно ставят создание новых высокопродуктивных сортов. Несмотря на использование разных технологий и методов, задачи селекции тритикале принципиально не изменились. Селекционеры должны создавать сорта, удовлетворяющие требованиям производителя и потребителя. При этом их

урожайность в зависимости от различных условий может изменяться в значительных пределах [7]. Эти колебания в урожайности и являются, наравне с другими факторами, реакцией сортов на экологические условия региона произрастания и могут свести на нет все селекционные усилия. Поэтому важно не просто оценить урожайность, но и спрогнозировать ее вариацию в различных средах. При оценке селекционного материала используются различные системы скрещиваний и схемы испытания генотипов, применяется широкий арсенал генетико-статистических методов, основанных на генетике популяций и вариационной статистике [8]. Для повышения стабильности урожайности по годам необходимо создавать сорта с высокой экологической пластичностью, что определило цели наших исследований.

Цель нашей работы – оценить уровень реализации продуктивного потенциала высокоурожайных сортов тритикале для повышения стабильности урожайности в широком спектре средовых условий.

Материал, методы и условия проведения исследований. Селекционная работа по созданию и испытанию сортов озимой тритикале проводилась в Татарском НИИСХ - обособленном структурном подразделении Федерального исследовательского центра "Казанский научный центр Российской академии наук" (ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН) в рамках выполнения государственного задания АААА-А17-117051010055-8.

Опытные посевы размещали в Предкамской зоне Республики Татарстан (25 км от г. Казани) на серых лесных среднесуглинистых почвах селекционного севооборота по чистому пару. Размер делянок - 10 м², норма высева - 5 млн/га, повторность - 4-х кратная, расположение рандомизированное. Анализ адаптивного потенциала по урожайности зерна сортов озимой тритикале выполнен за четыре года их изучения в конкурсном сортоиспытании (2015-2018 гг.).

Объектом для сравнительного изучения были наиболее адаптивные для зоны сорта озимой тритикале Башкирская короткостебельная (стандарт), Корнет, Немчиновский 56 и сорта собственной селекции Бета, Светлица,

Казанский 59 и Казанский 32. Выбранные инорайонные сорта имеют широкую зону допуска: Корнет – допущен к использованию в шести регионах, Башкирская короткостебельная и Немчиновский 56 в трех регионах РФ, в том числе и в Республике Татарстан.

Статистическая обработка результатов исследований проведена с использованием пакета MS Excel 7.0, оценка на экологическую стабильность сортов – по методике S.A. Eberhart, W.A. Russel [9] в интерпретации В.А. Зыкина [10].

Годы изучения достаточно хорошо отличались друг от друга по характеристике погодных условий (табл. 1). Наиболее отличимыми оказались 2016 и 2017 годы. Так, весенне-летний период вегетации в 2016 году характеризовался крайне засушливыми условиями ($ГТК = 0,40$), связанными с высокой температурой воздуха и небольшим количеством осадков. В 2017 году, наоборот, он был исключительно влажным и прохладным: сумма осадков составила 237 мм (норма 190 мм), сумма эффективных температур воздуха выше $+5^{\circ}\text{C}$ достигла всего 1027 градусов, что на 73 градуса ниже нормы. Величина $ГТК = 1,22$ в 2017 г. характеризует его как год с избыточным увлажнением. В результате продолжительность весенне-летнего этапа вегетационного периода в 2017 г. была на 8 дней больше, чем в 2016 г., достигнув самого высокого показателя за годы изучения - 110 дней. Следует отметить, что и по срокам возобновления весенней вегетации и наступлением полной спелости зерна эти годы также проявили значительные различия: начало активной вегетации отмечено 8 апреля в 2016 г. и 26 апреля в 2017 г. (разница 18 дней). С созреванием зерна проявилась та же тенденция – запаздывание составило 25 дней: в 2017 г. фаза полной спелости зерна наступила 13 августа, а в 2016 г. – 19 июля. 2015 и 2018 годы занимали промежуточное положение между первыми двумя годами по всем метеопараметрам. При этом в целом 2018 можно характеризовать как засушливый год ($ГТК = 0,59$) по причине недостаточного количества осадков

(166 мм или 87% от нормы), а 2015 – как год с достаточным увлажнением (ГТК = 1,03).

Таблица 1. Характеристика весенне-летнего этапа вегетационного периода озимой тритикале (апрель-июль), 2015-2018 гг.

Показатели	Норма	2015	2016	2017	2018
Даты начала и окончания весенне-летнего этапа	-	13.04-25.07	8.04-19.07	26.04-13.08	17.04-31.07
Продолжительность этапа, дни	-	104	102	110	106
Средняя температура, °С	13,4	15,6	15,9	12,8	14,5
Сумма эффективных температур воздуха выше +5°С, °С	1100	1342	1350	1027	1215
Сумма осадков, мм	190	224	101	237	166
ГТК*	1,01	1,03	0,40	1,22	0,59

Примечание. * - ГТК рассчитан за период май-июль.

Результаты и обсуждение. Адаптивная селекция направлена на выведение сортов, приспособленных к комплексу неблагоприятных факторов среды, действующих в конкретном регионе возделывания. Такие сорта должны обеспечивать достаточно высокую урожайность в благоприятных условиях, и стабильную – в стрессовых ситуациях. Для этого необходимо проводить постоянную оценку экологической пластичности и стабильности сорта, выявлять его реакцию на весь спектр агроэкологических условий.

На первом этапе проведен двухфакторный дисперсионный анализ (табл. 2). Результаты анализа показали, что факторы «сорт» и «год», а также взаимодействие «сорт × год» оказывают статистически значимое влияние на урожайность сортов на 5% уровне значимости, на что указывает критерий Фишера ($F_{\text{факт.}} > F_{05}$). Наибольшее влияние на изменчивость урожайности оказал фактор «год» – 83,4%. Фактор «сорт» и взаимодействие «сорт × год» имели относительно меньшее влияние на данный признак – 8,1% и 3,7%, соответственно.

Таблица 2. Результаты двухфакторного дисперсионного анализа урожайности

Источник	Сумма	Степени	Средний	$F_{\text{факт.}}$	F_{05}	Доля
----------	-------	---------	---------	--------------------	----------	------

варьирования	квадрат ов	свободы	квадрат			фактор а, %
Общая	18783,30	111	-	-	-	-
Повторений	178,61	3	-	-	-	-
Сорт (А)	1526,81	6	254,47	28,85	2,24	8,1
Год (В)	15665,09	3	5221,70	592,03	2,74	83,4
Взаимодействие (А × В)	698,37	18	38,80	4,40	1,79	3,7
Остаток(ошибка)	714,42	81	8,82	-	-	-

Анализ урожайности сортов озимой тритикале за годы испытания показал, что максимальное значение было получено у сорта Казанский 59 в 2017 г. (81,3 ц/га), и наименьшее – у сорта Немчиновский 56 в 2015 г. (40,9 ц/га), при этом средняя по опыту урожайность равнялась 56,6 ц/га (табл. 3). Это свидетельствует о высоком потенциале культуры в зоне исследований. Самым благоприятным для формирования урожайности был 2017 год (76,7 ц/га), за ним по порядку расположились 2018 и 2016 годы (52,7 и 50,8 ц/га, соответственно). Наиболее низкую урожайность сорта продемонстрировали в 2015 г. (в среднем 46,3 ц/га). Все средние по годам значения урожайности зерна достоверно отличались друг от друга ($НСР_{05} = 1,6$ ц/га). Наивысшая средняя урожайность зерна за 2015-2018 гг. отмечена у сортообразца Казанский 32 (61,3 ц/га). Далее, в порядке убывания следуют сорта Бета, Казанский 59, Корнет, Светлица и Немчиновский 56, которые обладали достоверно более высокой урожайностью по сравнению со стандартом Башкирская короткостебельная (53,2-59,5 ц/га, $НСР_{05} = 2,1$ ц/га).

Таблица 3. Урожайность зерна сортов озимой ржи (ц/га), 2015-2018 гг.

Сорт	2015	2016	2017	2018	Среднее $НСР_A = 2,1$
Башкирская короткостебельная (ст)	42,0	43,2	71,8	41,4	49,6
Немчиновский 56	40,9	49,4	74,7	47,8	53,2*
Корнет	49,3	52,3	78,5	50,1	57,6*
Бета	51,5	55,2	73,7	57,4	59,5*
Светлица	44,2	52,6	77,2	53,7	56,9*

Казанский 59	45,1	48,6	81,3	58,8	58,5*
Казанский 32	51,2	54,5	79,9	59,7	61,3*
Среднее НСР _{В и АВ} = 1,6	46,3	50,8	76,7	52,7	56,6

Доказанное статистически значимое влияние изучаемых факторов и их взаимодействия на урожайность сортов тритикале позволяет провести их оценку по параметрам экологической пластичности и стабильности. Для этого условия среды выражаем с помощью индекса I_j . Более благоприятные условия для реализации урожайности сортов имеют более высокую величину I_j (табл. 4).

За изученный период только 2017 год можно считать благоприятным для роста и развития сортов тритикале, поскольку отмечено положительное значение индекса среды (+20,1). Средние возможности для формирования продуктивности тритикале реализованы в 2016 и 2018 годы (-5,8 и -3,9, соответственно). Наибольшее отрицательное значение индекса имел 2015 г. (-10,3), т.е. условия данного года были относительно неблагоприятные для реализации потенциала урожайности сортов. В итоге можно говорить, что в годы испытания сложились разнообразные условия среды, которые способствовали более объективной оценке адаптивного потенциала изучаемых сортов.

Таблица 4. Параметры экологической пластичности и стабильности сортов озимой тритикале, 2015-2018 гг.

Сорт	Теоретическая урожайность по годам испытания, ц/га				Пластичность b_i	Стабильность b_d^2
	2015	2016	2017	2018		
Башкирская короткостебельная (ст)	38,6	43,4	70,9	45,4	1,062	14,13
Немчиновский 56	42,1	46,9	74,8	49,0	1,077	4,40
Корнет	47,1	51,7	77,9	53,6	1,012	8,81
Бета	52,0	55,3	73,9	56,6	0,717	0,46
Светлица	46,3	50,9	77,6	52,9	1,031	4,00

Казанский 59	46,4	51,7	81,9	53,8	1,167	17,97
Казанский 32	51,7	55,9	80,1	57,6	0,936	3,22
Индекс условий среды, I _j	-10,3	-5,8	20,1	-3,9	-	-

Сочетание в одном сорте высокого генетического потенциала продуктивности и устойчивости к неблагоприятным факторам внешней среды представляют собой сложную задачу, что связано с ограниченными генетическими возможностями совмещения большого числа адаптивных признаков в одном генотипе. Коэффициент линейной регрессии урожайности сортов показывает их реакцию на изменение условий выращивания: чем выше его значение, тем большей отзывчивостью обладает изучаемый сорт. Пластичность сортов, исходя из b_i , варьировала от 0,717 (Бета) до 1,167 (Казанский 59). Сортообразец Казанский 59 наиболее требователен к благоприятности природно-климатических факторов и уровню агротехники возделывания. С повышением средней урожайности в опыте на 1 ц/га, он в ответ способен увеличить свою урожайность на 1,2 ц/га. Сорта Бета и Казанский 32 обладают высокой экологической устойчивостью, определенной по разности между минимальной и максимальной в опыте урожайностью (22,2 и 28,2 ц/га, соответственно). Это означает, что названные сорта наиболее стрессоустойчивы. Бета слабее реагирует на изменения условий среды в сравнении с другими изученными сортами, потому что у нее коэффициент линейной регрессии меньше единицы. Но, с другой стороны, снижение урожайности данного сорта в неблагоприятных средах будет не таким значительным в сравнении с интенсивными сортами. Это свидетельствует о наличии отрицательной зависимости между стрессоустойчивостью и отзывчивостью генотипа на изменение условий среды.

При условии, если коэффициент b_i равен или приближается к 1, то имеется соответствие изменения урожайности сорта изменению условий выращивания. В нашем случае к этой группе наряду со стандартом относятся Немчиновский 56, Корнет, Светлица и Казанский 32.

Для вычисления параметра стабильности были рассчитаны теоретические значения урожайности по годам испытания (табл. 4). Отклонения фактической урожайности сортов тритикале от теоретических значений позволили вычислить дисперсию изменчивости данного признака (σ_d^2) для каждого сорта. Стабильность проявления урожайности зерна в разных средах выражается через показатель дисперсии σ_d^2 . Наибольшей дисперсией, а значит и наименьшей стабильностью, характеризовались стандарт и сортообразец Казанский 59 (14,13 и 17,97, соответственно). В отличие от них, сорт Бета выделился максимальной стабильностью признака урожая зерна среди изученного набора сортов ($\sigma_d^2 = 0,46$).

Оптимальным считается следующее сочетание параметров пластичности и стабильности: значение коэффициента регрессии (b_i) равное или близкое к 1, наименьшее значение параметра стабильности σ_d^2 и наибольшее значение урожайности в среднем за годы испытания. Этим условиям отвечают сорта Светлица – средняя урожайность 56,9 ц/га, $b_i = 1,031$, $\sigma_d^2 = 4,00$; и Казанский 32 – средняя урожайность 61,3 ц/га, $b_i = 0,936$, $\sigma_d^2 = 3,22$ (табл. 3 и 4).

Для визуализации полученных результатов построен график линейной регрессии урожайности сортов на индексы условий среды за годы изучения (рис. 1). Положение линии регрессии на графике у новых сортов тритикале относительно Башкирской короткостебельной показывает, что урожайность у них во всех средах выше, чем у стандарта. Для нового сорта Казанский 59 была характерна специфическая адаптация, превосходство по урожайности наблюдали только в благоприятных условиях, в неблагоприятные годы оно нивелировалось. Сортообразец Казанский 32 показал себя как отзывчивый на улучшение условий и стабильно высокоурожайный сорт интенсивного типа. Сорт Светлица, обладая хорошей ответной реакцией в благоприятных условиях, не выдерживает конкуренцию с сортообразцом Казанский 32 и сортом Бета при худших условиях среды.

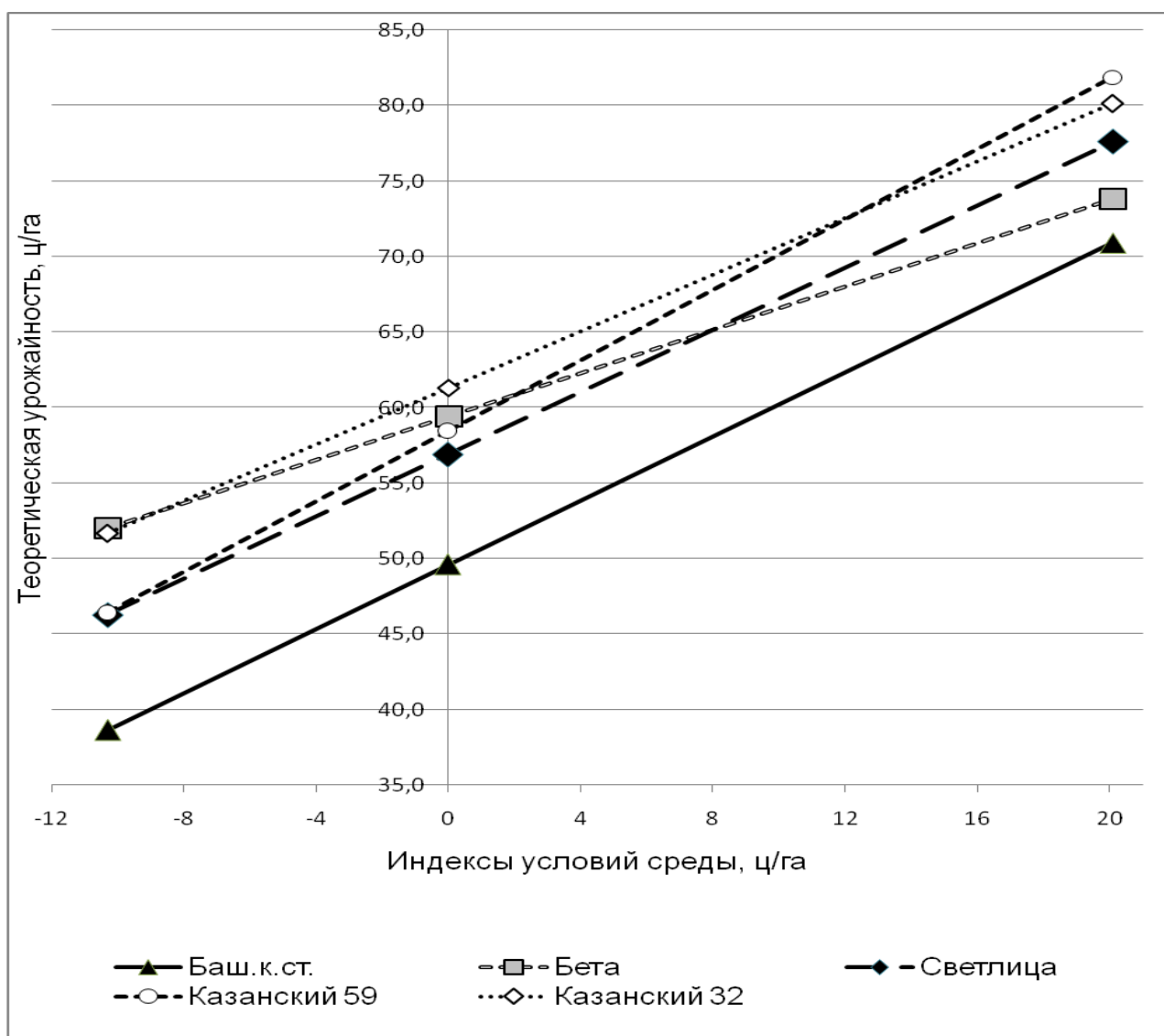


Рисунок 1. Линии регрессии теоретической урожайности сортов озимой тритикале на индексы условий среды

Сорт Бета обладает самым маленьким углом наклона линии регрессии на графике, что приближает его к сортам полуинтенсивного типа. Производственное значение таких сортов тритикале очень важно. Они слабо реагируют на изменение факторов среды, и при использовании интенсивных технологий не достигают сверхвысоких результатов, но в неблагоприятные годы меньше снижают урожайность, по сравнению с сортами интенсивного типа. Исключительно важной характеристикой данного сорта является то, что в относительно неблагоприятных условиях 2015 года данный сорт сохранил свою продуктивность на высоком уровне. Большая стабильность урожайности по годам делает сорт тритикале Бета привлекательным для сельхозпроизводителей. В 2018 г. сорт озимой тритикале Бета включен в

Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в Средневолжском и Волго-Вятском регионе. Результаты исследований показали, что новый сорт Светлица характеризуется достоверно более высокой урожайностью (56,9 ц/га), чем стандарт Башкирская короткостебельная, обладает оптимальным сочетанием пластичности ($b_i = 1,031$) и стабильности ($\sigma_d^2 = 4,00$). Преимущества данного сорта в большей степени реализуются в благоприятные годы. Высокий и стабильный уровень урожайности сорта сочетается с высоким качеством зерна и устойчивостью к полеганию. Сорт Светлица с 2019 г. проходит государственное испытание на хозяйственную полезность в 4 регионах Российской Федерации.

Выводы. По результатам исследований высокая экологическая устойчивость (стрессоустойчивость) характерна для сортов Бета и Казанский 32, которые уступают по урожайности интенсивным сортам в благоприятные годы, но в условиях стресса значительно превосходят их. Высокая пластичность урожайности в ответ на изменения условий выращивания отмечена у сортов Немчиновский 56, Корнет, Светлица, Казанский 32, Башкирская короткостебельная. Выделен сорт Казанский 59 интенсивного типа с урожайностью в благоприятных условиях 81,9 ц/га, но с меньшей стабильностью. Сортообразец Казанский 32 показал себя как отзывчивый на улучшение условий и стабильно высокоурожайный сорт интенсивного типа. Сорт Бета, включенный в Госреестр по 7 и 4 регионам, обладает максимальной пластичностью и стабильностью урожайности. Сорт Светлица, проходящий государственное испытание, достоверно превосходит по урожайности и качеству зерна стандарт Башкирская короткостебельная, удачно сочетает пластичность и стабильность ($\sigma_d^2 = 4,00$). Однако преимущества по урожайности данного сорта в большей степени реализуются в благоприятные годы.

Литература

1. Горбунов В.Н., Шевченко В.Е. Селекционные достижения по тритикале в научных центрах России и ближайшего зарубежья // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 4. С. 24-27.
2. Шишлова Н.П. Физиолого-биохимические основы продуктивности и качества тритикале: монография. Минск: Беларуская навука, 2018. 201 с.
3. Грабовец А.И, Крохмаль А.В. Особенности селекции на Дону в условиях меняющегося климата // Тритикале. Роль тритикале в стабилизации производства зерна, кормов и технологии их использования: Материалы междунар. науч.-практ. конф. Ростов-на-Дону, 2014. С. 37-43.
4. Майсак Г.П. Итоги испытания сортов тритикале озимой в Пермском крае //Пермский аграрный вестник. 2020. №. 1 (29).
5. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. «Сорта растений» (официальное издание). М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. 516 с.
6. Крохмаль А.В. и др. Результаты селекции озимого тритикале на продуктивность и адаптивность на Дону // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. №. 2 (76).
7. Гончаренко А.А. Экологическая устойчивость сортов зерновых культур и задачи селекции // Зерновое хозяйство России. 2016. №3. С. 31-37
8. Mcgoverin C.M., Snyders F., Muller N., Botes W., Fox G, Manley M.A. review of triticale uses and the effect of growth environment on grain quality. J Sci Food Agric. 2011; 91: 1155–1165. doi: 10.1002/jsfa.4338
9. Eberhart S.A., Russell W A. Stability parameters for comparing varieties // Crop science. 1966. Т. 6. №. 1. С. 36-40
10. Зыкин В.А., Белан И.А., Юсов В.С., Кираев Р.С., Чанышев И.О. Экологическая пластичность сельскохозяйственных растений (методика и оценка). Уфа, 2011. 97 с.