

Влияние мучнистой росы и септориоза на продуктивность и качество зерна озимого тритикале при возделывании по традиционной и интенсивной технологиям

В. Н. Буштович, кандидат с.-х. наук, Н. П. Шишлова, кандидат биологических наук, Е. И. Позняк, кандидат с.-х. наук, В. Н. Безлюдный, кандидат биологических наук, М. М. Лаптеенок, младший научный сотрудник
Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию

(Дата поступления статьи в редакцию 07.06.2022)

В статье представлены результаты анализа влияния мучнистой росы, септориоза листьев и колоса на элементы продуктивности и физико-химические показатели сортов и перспективных сортообразцов озимого тритикале, выращиваемых по традиционной и интенсивной технологиям возделывания. Комплекс изученных болезней оказал наиболее ощутимое воздействие на урожайность и биохимический состав зерна. Степень сопряженности между этими признаками заметно снижалась при усилении интенсификации технологии возделывания озимого тритикале.

Введение

Одним из приоритетных направлений селекционных программ по созданию новых сортов тритикале является повышение их устойчивости к стрессовым факторам и толерантности к основным болезням. Интенсификация технологии возделывания за счет использования дополнительных обработок посевов фунгицидами и микроэлементами способна обеспечить снижение развития болезней и увеличить урожайность.

Целью исследований являлась оценка устойчивости образцов озимого тритикале к болезням, анализ биометрических, технологических и биохимических показателей и выявление достоверных зависимостей между изученными количественными признаками при разных уровнях интенсивности технологии возделывания.

Методика и объекты исследований

Объектом исследований служили 30 сортов и перспективных сортообразцов озимого гексаплоидного тритикале (\times *Triticosecale* Wittm. & A. Camus, $2n = 42$) отечественной и зарубежной селекции из питомника конкурсного сортоиспытания. Образцы выращивали в 2019–2020 и 2020–2021 гг. по традиционной и интенсивной технологиям возделывания в трех рендомизированных повторениях с нормой высева 4,5 млн всхожих семян на гектар. Фосфорно-калийные удобрения в дозе $P_{80}K_{120}$ вносили осенью под основную обработку почвы, азотные (карбамид) – весной в два приема: N_{60} – при возобновлении вегетации и N_{30} – в начале выхода в трубку (стадия 31 по Цадоксу). При интенсивном уровне возделывания применяли дополнительную дозу азотных удобрений N_{30} при появлении флагового листа (стадия 37), микроэлементы Си и Мп (50 г/га) – в виде некорневых подкормок в стадии 31, а также регуляторы роста и фунгициды на основе тебуконазола и биксафена – в стадии 31 и протиконазола и тебуконазола – в стадии 37.

The analysis results of the effect of powdery mildew and Septoria leaf and ear disease on productivity elements, physical and chemical parameters of winter triticale cultivars and appreciable varieties which are grown using common and intensive cultivation technologies are presented in the article. The complex of the studied diseases had the greatest effect on seed yield and biochemical composition. Increase in the intensification level of winter triticale cultivation technology reduced significantly the degree of association between those parameters.

В полевых условиях оценивали устойчивость образцов озимого тритикале к мучнистой росе (*Blumeria graminis* (DC.) Speer), септориозу листьев и колоса (*Septoria nodorum* (Berk.) Berk. или по современной классификации *Parastagonospora nodorum* (Berk.) Quaedvl., Verkley & Crous.) [1, 2].

Определяли урожайность, биометрические параметры растения, массу зерна [3], массу 1000 семян [4], а также содержание в зерне сырого протеина, клейковины и крахмала методом ближней ИК-спектроскопии [5].

Результаты исследований и их обсуждение

Погодные условия весенне-летнего периода 2020 г. можно охарактеризовать в целом как благоприятные для развития растений озимого тритикале. Температура воздуха была близкой к норме, распределение осадков носило достаточно равномерный характер, за исключением засушливой первой декады апреля. В питомнике конкурсного сортоиспытания отмечалась высокая сохранность растений после перезимовки с единичными случаями поражения снежной плесенью.

В 2021 г. сложные условия перезимовки, приведшие в итоге к выпреванию и вымоканию растений озимого тритикале, обусловили сильную степень поражения их снежной плесенью – на уровне 6–8 баллов. В процессе активной вегетации состояние посевов существенно улучшилось благодаря хорошей обеспеченности осадками в первой и второй декадах мая (161 и 507 % от нормы соответственно), что однако не позволило достигнуть прошлогоднего уровня продуктивности. Отмечалось снижение урожайности в питомнике конкурсного сортоиспытания на 32,4 и 40,3 % соответственно при традиционной и интенсивной технологиях (таблица 1). Также в 2021 г., независимо от технологии возделывания, наблюдалось снижение массы тысячи семян, массы зерна, содержания сырого крахмала и особенно количества продуктивных стеблей по сравнению со значениями предыдущего года. При этом отмечалось увеличение высоты растений

и элементов продуктивности главного колоса, а также рост содержания в зерне сырого протеина и клейковины. Несмотря на увеличение содержания протеина, падение урожайности в 2021 г. повлекло за собой существенное снижение такого ценного хозяйственного показателя, как «сбор сырого протеина с гектара» – на 28,9 и 33,3 % соответственно при традиционной и интенсивной технологии возделывания.

Повышение уровня интенсификации способствовало более эффективной реализации потенциала продуктивности образцов озимого тритикале: прибавка урожая относительно традиционной технологии в 2020 г. составила 30,0 %, в 2021 г. – 14,7 %.

По результатам многолетних наблюдений, стабильный положительный эффект при применении интенсивной технологии сказывался на таких показателях, как «сбор сырого протеина», «количество продуктивных стеблей», «содержание сырого протеина и клейковины». Нередко при этом отмечалось незначительное, иногда в пределах ошибки опыта, уменьшение количества и массы зерна главного колоса, а также натуры и массы 1000 семян, что и наблюдалось в 2021 г.

Использование фунгицидов и микроэлементов при выращивании озимого тритикале по интенсивной технологии направлено на укрепление иммунитета и стрессоустойчивости генотипа. В полевых условиях оценивали степень устойчивости образцов озимого тритикале из питомника конкурсного сортоиспытания к наиболее вредоносным болезням, получившим в последние годы широкое распространение в посевах этой культуры. Исследования показали, что при возделывании по традиционной технологии существенной разницы по степени поражения мучнистой росой, септориозом листьев и колоса между годами не наблюдалось (таблица 2). Заметные различия отмечались при анализе генотипической изменчивости: значительной вариацией признака характеризовались листовые инфекции, особенно мучнистая роса в 2020 г. Дифференциация образцов по показателю устойчивости к септориозу колоса находилась на среднем уровне.

Повышение уровня интенсификации выращивания приводило к повышению уровня болезнеустойчивости выборки в целом. Наиболее ощутимый эффект наблюдался в 2020 г., особенно для листовых инфекций, где

Таблица 1 – Показатели хозяйственной ценности образцов озимого тритикале в питомнике конкурсного сортоиспытания (n = 30)

Показатель	Технология возделывания			
	традиционная		интенсивная	
	2020 г.	2021 г.	2020 г.	2021 г.
Урожайность, ц/га	82,2 ±1,4	55,6 ±3,1	106,9 ±1,7	63,8 ±3,4
Сбор сырого протеина, ц/га	9,7 ±0,2	6,9 ±0,3	12,9 ±0,2	8,6 ±0,4
Количество продуктивных стеблей, шт./м ²	580 ±10	402 ±11	608 ±10	427 ±12
Высота растения, см	109 ±2	121 ±1	109 ±2	121 ±1
Главный колос:				
длина, см	10,5 ±0,1	12,0 ±0,1	10,5 ±0,1	12,0 ±0,1
количество колосков, шт.	27,3 ±0,3	29,6 ±0,3	27,3 ±0,3	29,8 ±0,3
количество зерен, шт.	49,3 ±0,8	60,0 ±0,8	51,0 ±0,6	58,5 ±1,1
масса зерна, г	2,34 ±0,05	2,62 ±0,05	2,59 ±0,05	2,52 ±0,06
Натура зерна, г/л	711 ±4	659 ±4	709 ±4	654 ±4
Масса 1000 семян, г	48,8 ±0,9	44,8 ±0,7	51,6 ±0,9	42,9 ±0,8
Сырой протеин, % (абс. сух. в-во, N × 6,25)	13,7 ±0,1	14,7 ±0,2	14,0 ±0,1	15,9 ±0,2
Клейковина, %	18,9 ±0,5	22,4 ±0,5	20,0 ±0,5	26,0 ±0,5
Сырой крахмал, % (абс. сух. в-во)	71,7 ±0,3	69,5 ±0,2	71,9 ±0,2	69,3 ±0,2

Таблица 2 – Статистическая характеристика показателей устойчивости к болезням образцов озимого тритикале (КСИ, n = 30)

Год наблюдения	Технология возделывания					
	традиционная			интенсивная		
	среднее	lim	V, %	среднее	lim	V, %
<i>Устойчивость к мучнистой росе, балл</i>						
2020	5,2 ±0,4	1,5–9	37,95	7,8 ±0,2	5,5–9	14,08
2021	5,6 ±0,2	3,5–7,5	17,91	6,2 ±0,2	4–8	17,76
<i>Устойчивость к септориозу листьев, балл</i>						
2020	3,9 ±0,2	2–6	25,73	6,5 ±0,1	6–7,5	6,65
2021	3,5 ±0,2	2–6	26,73	4,4 ±0,2	3–7	27,76
<i>Устойчивость к септориозу колоса, балл</i>						
2020	4,9 ±0,1	3,5–6,5	14,00	5,2 ±0,1	4,5–6	9,65
2021	4,1 ±0,1	3–5	10,09	4,3 ±0,1	3–5	10,55

показатели устойчивости к мучнистой росе и септориозу листьев выросли на 2,6 балла на фоне резкого снижения генотипической изменчивости признаков. В 2021 г. коэффициенты вариации практически не изменялись при переходе от традиционной к интенсивной технологии возделывания, что связано с тем, что и уровень болезнеустойчивости образцов озимого тритикале при этом увеличивался незначительно. К наиболее стабильным показателям можно отнести устойчивость к септориозу колоса, так как степень поражения образцов озимого тритикале слабо зависела как от погодных условий, так и от уровня интенсификации возделывания.

Корреляционный анализ взаимосвязей между устойчивостью к болезням и количественными признаками озимого тритикале показал, что большинство достоверных зависимостей проявилось при возделывании озимого тритикале по традиционной технологии (таблица 3). Интенсификация выращивания, повышая уровень болезнеустойчивости, способствовала снижению генотипической изменчивости выборки и ослаблению сопряженности количественных признаков.



Мучнистая роса на обычной технологии



Интенсивная технология

Заметное влияние болезней на урожайность изученных образцов озимого тритикале подтверждалось более высоким количеством достоверных зависимостей, направление и значимость которых определялись видом болезни, годом наблюдения и технологией возделывания. Например, устойчивость растений озимого

Таблица 3 – Корреляционный анализ связей между устойчивостью к болезням и количественными признаками образцов озимого тритикале

Признак	Устойчивость к мучнистой росе				Устойчивость к септориозу листьев				Устойчивость к септориозу колоса			
	2020 г.		2021 г.		2020 г.		2021 г.		2020 г.		2021 г.	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Урожайность	0,627**	0,438*	0,763**	0,769**	0,187	0,161	-0,594**	-0,575**	0,381*	0,246	0,316	0,336
Количество продуктивных стеблей	-0,060	-0,292	0,596**	0,621**	0,132	0,062	-0,430*	-0,405*	-0,454*	-0,462*	0,189	0,201
Высота растения	-0,514**	-0,512**	0,221	0,172	0,435*	0,368*	-0,134	-0,133	-0,027	-0,209	-0,036	0,164
Главный колос: длина	-0,019	0,095	-0,323	-0,180	0,117	-0,102	0,320	0,131	0,474**	0,254	-0,273	-0,297
количество колосков	-0,284	-0,141	0,101	0,189	0,001	0,113	0,005	-0,091	0,168	0,130	0,139	0,080
количество зерен	-0,213	-0,199	-0,098	0,048	-0,346	0,015	0,479**	0,263	0,436*	0,167	-0,104	-0,013
масса зерна	0,114	0,547**	0,077	0,224	-0,252	-0,160	0,255	0,360	0,612**	0,521**	-0,212	-0,238
Натура	-0,012	-0,241	-0,010	-0,373*	0,400*	0,200	-0,380*	0,117	0,222	0,001	0,436*	0,255
Масса 1000 семян	0,478**	0,681**	0,385*	0,146	-0,109	-0,165	-0,340	0,126	0,431*	0,472**	-0,024	-0,210
Протеин	0,479**	0,077	-0,440*	-0,223	-0,351	-0,241	0,745**	0,483**	0,077	0,247	-0,480**	-0,295
Клейковина	0,453*	0,357	-0,384*	-0,140	-0,343	-0,261	0,766**	0,280	0,357	0,356	-0,347	-0,238
Крахмал	-0,201	0,090	0,482**	-0,308	0,174	-0,032	-0,459*	0,291	0,090	0,047	0,366*	-0,137
Количество достоверных зависимостей	5	4	6	3	2	1	7	3	6	3	3	0

Примечание – 1 – традиционная, 2 – интенсивная технология возделывания; * – достоверно при P_{0,05}, ** – при P_{0,01}.

тритикале к мучнистой росе достоверно положительно влияла на реализацию потенциала продуктивности в 2020 и 2021 г. при разных уровнях интенсификации технологии возделывания. Вредоносность септориоза колоса была заметно ниже, чем у мучнистой росы, но также оказывала угнетающее действие средней силы на реализацию потенциала продуктивности образцов озимого тритикале.

Септориоз листьев в 2021 г. выступал как антагонист другой болезни листьев – мучнистой росы. Подобная отрицательная зависимость (мучнистая роса – желтая ржавчина) описывается в масштабном исследовании D. Loserta с сотрудниками, проводившемся на европейских генотипах тритикале [6]. Корреляционный анализ взаимосвязей между показателями устойчивости образцов озимого тритикале к изучаемым нами болезням выявил наличие достоверных отрицательных зависимостей: $r = -0,583^{**}$ (традиционная) и $-0,453^*$ (интенсивная технология). Влияние септориоза листьев на урожайность озимого тритикале в питомнике конкурсного сортоиспытания в 2020 г. было несущественным, в 2021 г. – достоверно положительным в отличие от мучнистой росы и септориоза колоса.

Достоверность и направление корреляционных связей между устойчивостью к болезням и другими количественными признаками озимого тритикале во многом зависели от года наблюдения и технологии возделывания. Уровень интенсификации влиял главным образом на величину коэффициента корреляции, в то время как год наблюдения – на силу и направление связи. Среди изученных пар признаков, зависимости между которыми носили как прямой, так и обратный характер, выделилась коррелирующая пара «мучнистая роса – масса 1000 семян» с достоверно положительными коэффициентами корреляции. Не выявили достоверных связей между устойчивостью к болезням и длиной главного колоса, количеством колосков, за исключением пары признаков «устойчивость к септориозу колоса – длина колоса»

(2020 г., традиционная технология). Влияние болезней, особенно септориоза колоса, на такие показатели, как количество и масса зерен в колосе, было более существенным.

Для оценки совокупного влияния изучаемых болезней на урожайность, элементы продуктивности и качество зерна образцов озимого тритикале использовали множественный корреляционный анализ, который позволил оценить степень сопряженности между этими признаками в зависимости от года и технологии возделывания. В 2020 г. отмечалось значимое влияние болезней на высоту растений тритикале, массу зерна главного колоса и массу тысячи семян; в 2021 г. – на количество продуктивных стеблей, натуру зерна и содержание в нем сырого протеина (таблица 4).

Интенсификация технологии возделывания озимого тритикале сопровождалась ослаблением совокупного влияния болезней на урожайность, что особенно четко проявилось в 2020 г., когда степень сопряженности между признаками снизилась с 55,3 до 21,5 %. В 2021 г. уменьшение инфекционной нагрузки на образцы озимого тритикале при переходе от традиционной к интенсивной технологии возделывания было незначительным, что и обусловило минимальное снижение степени сопряженности урожайности с устойчивостью к комплексу изученных болезней.

Повышение уровня интенсификации возделывания заметно ослабляло влияние изучаемых болезней на биометрические параметры главного колоса, за исключением показателя «масса зерна». Кроме того, существенное влияние болезней на биохимический состав зерна озимого тритикале, наблюдаемое при использовании традиционной технологии возделывания, заметно ослаблялось на интенсивном фоне. По результатам двухлетних наблюдений установили, что устойчивость к болезням в наибольшей степени влияла на урожайность образцов озимого тритикале, в наименьшей – на количество колосков, длину колоса и содержание в зерне крахмала.

Таблица 4 – Степень сопряженности устойчивости к болезням с количественными признаками образцов озимого тритикале (КСИ, n = 30)

Результативный признак	Коэффициент множественной детерминации (R ²), %			
	технология возделывания			
	обычная		интенсивная	
	2020 г.	2021 г.	2020 г.	2021 г.
<i>Устойчивость к мучнистой росе, септориозу листьев, септориозу колоса</i>				
Урожайность	55,3	65,9	21,5	61,9
Количество продуктивных стеблей	22,0	37,5	22,8	40,6
Высота растения	39,7	7,0	41,0	4,5
Главный колос: длина	25,7	14,1	7,8	9,7
количество колосков	13,7	4,0	8,0	3,6
количество зерен	42,6	30,4	12,4	10,6
масса зерна	42,1	15,7	42,8	35,9
Натура	22,3	32,3	11,5	29,1
Масса 1000 семян	34,3	24,0	53,4	11,8
Протеин	30,5	56,5	12,7	25,2
Клейковина	34,4	59,7	20,4	10,1
Крахмал	8,0	29,4	0,6	12,4

Выводы

Сравнительная оценка количественных признаков образцов озимого тритикале показала, что интенсификация технологии возделывания достоверно положительно влияла на урожайность, количество продуктивных стеблей, содержание и сбор сырого протеина, а также содержание клейковины в зерне. Остальные изученные показатели характеризовались слабой отзывчивостью на дополнительные агротехнические приемы возделывания.

Интенсификация технологии возделывания способствовала повышению устойчивости образцов озимого тритикале к мучнистой росе, септориозу листьев и колоса, а также снижению генотипической изменчивости этих признаков. Комплекс изученных болезней оказал наиболее ощутимое воздействие на показатель урожайности и биохимический состав зерна.

УДК 633.111«324»:631[526.32.527]

Адаптивность пшеницы мягкой озимой по массе 1000 зерен

А. С. Будько, соискатель, научный сотрудник
Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию

(Дата поступления статьи в редакцию 25.05.2022)

В статье представлены результаты определения адаптивного потенциала сортообразцов пшеницы мягкой озимой по массе 1000 зерен при испытании в центральном регионе Республики Беларусь. Выделены ценные генотипы экстенсивного и интенсивного типа, которые в зависимости от уровня агротехники и погодных условий обеспечат высокое качество урожая. Получена ценная информация о реакции генотипов на условия произрастания, благодаря чему значительно повысилась эффективность селекционного процесса.

Введение

Перед сельскохозяйственным производством стоит задача получения не только высоких и устойчивых урожаев, но также и зерна высокого качества как в технологическом, так и в пищевом плане.

Исторически сложилось, что приоритетным направлением большинства исследований является создание сортов с высоким потенциалом продуктивности и генетической устойчивостью к различным агроклиматическим условиям возделывания. При этом изучение адаптивности к условиям выращивания по показателям качества зерна отодвигается на второй план.

В зависимости от агроклиматических условий сорта пшеницы мягкой озимой со сравнительно высоким качеством зерна могут сохранять это свойство или резко снижать его. Предпочтение отдается генотипам, стабильно сохраняющим хорошее качество при различных условиях выращивания.

Генотип-средовые взаимодействия – сложные процессы, существенно влияющие на реализацию генотипа в фенотипе. Для надежного моделирования поведения конкретных сортов в определенных экологических усло-

Литература

1. Методы селекции и оценки устойчивости пшеницы и ячменя к болезням в странах-членах СЭВ / Л. Т. Бабаянц [и др.]. – Прага: [б. и.], 1988. – 321 с.
2. Септориозы зерновых культур и их вредоносность / Н. А. Крупенько [и др.]. // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Сер. агр. навук. – 2017. – № 4. – С. 66–75.
3. ГОСТ 10840-64. Зерно. Методы определения натурности.
4. ГОСТ 12042-80. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения массы 1000 семян.
5. ГОСТ Р 50817-95. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Метод определения содержания сырого протеина, сырой клетчатки, сырого жира и влаги с применением спектроскопии в ближней инфракрасной области.
6. Phenotypic and genotypic analyses of diversity and breeding progress in European triticale (*×Triticosecale* Wittmack) / D. Losert. [et al.] // Plant Breeding. – 2017. – № 136. – P. 18–27.

The article presents the results of determining the adaptive potential of varieties of soft winter wheat by weight of 1000 grains when tested in the central region of the Republic of Belarus. Valuable genotypes of extensive and intensive types have been identified, which, depending on the level of agricultural technology and weather conditions, will ensure maximum crop quality. Valuable information was obtained about the reaction of genotypes to growing conditions, which significantly increased the efficiency of the breeding process.

виях их природа изучена недостаточно. В связи с этим исследования по данному направлению представляют большой интерес как для адаптивного растениеводства, так и при подборе исходного материала для селекции новых сортов.

Масса 1000 зерен может служить критерием для косвенной оценки и отбора адаптивных генотипов на всех этапах селекции [1].

От крупности зерна зависят мукомольные и хлебопекарные свойства пшеницы. Более крупные зерна имеют большую устойчивость к лимитирующим факторам среды [2].

Зерна с высокой массой 1000 обладают, как правило, достаточным запасом питательных веществ и имеют повышенные посевные и урожайные свойства. Крупность зерна контролируется сложной генетической системой и представляет собой интегральный признак, определяющий целый рядом комплексных генетических факторов, находящихся во взаимодействии с окружающей средой. Знание статистических параметров зависимости массы 1000 зерен от условий среды и наследственных особенностей сортов позволит более целенаправленно решать вопросы использования генотипов и подбирать исходный материал [3].