

УДК 633.112.9:632.16

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ОБРАЗЦОВ КОЛЛЕКЦИИ ОЗИМОЙ ТРИТИКАЛЕ К ПРОРАСТАНИЮ НА КОРНЮ

НГУЕН Т.Т. ЛИНЬ, О.В. МИТРОШИНА, В.В. ПЫЛЬНЕВ, В.С. РУБЕЦ

(Кафедра селекции и семеноводства полевых культур
РГАУ - МСХА имени КА. Тимирязева)

Тритикале является самой чувствительной культурой среди зерновых к предуборочному прорастанию зерна в колосе. В данной работе приведены результаты двухлетнего изучения коллекции сортов озимой тритикале на кафедре селекции и семеноводства полевых культур. Показано, что сорта с высоким числом падения не всегда имеют низкое число проросших при прямой провокации зерен и наоборот. Все зависит от самого состояния углеводно-амилазного комплекса зерна и отзывчивости сорта на провоцирование прорастания. Провокацию свежубранного зерна тритикале к прорастанию можно проводить при большом диапазоне температур (18—34°С) в течение 48 ч.

Ключевые слова: озимая тритикале, устойчивость к предуборочному прорастанию зерна в колосе, число падения.

Основными преимуществами озимой тритикале перед пшеницей и рожью являются высокая урожайность зерна, устойчивость к ряду болезней, более высокая питательная ценность белка, повышенный выход спирта. Наряду с этим имеется и значительный недостаток — самая высокая среди зерновых культур способность к предуборочному прорастанию зерна в колосе [2, 7]. В отдельные годы потери зерна в результате этого явления могут составлять от 30% до половины собранного урожая [2].

Прорастанием на корню принято называть преждевременное предуборочное прорастание зерна в колосе. У тритикале это может происходить вследствие отсутствия или очень короткого периода физиологического

покоя семян. Обильные осадки, высокая температура, колебание дневных и ночных температур во время формирования зерна стимулируют его прорастание [1, 2]. В сухом покоящемся семени тритикале метаболические процессы заторможены. При этом имеются активные протеолитические ферменты, отсутствующие в непроросшем зерне пшеницы и присутствующие в зерне ржи. Эти ферменты при поступлении воды, например, при непродолжительном дожде, сразу же начинают разрушать высокомолекулярные запасные вещества (прежде всего крахмал), переводя их в растворимое состояние. В результате начинается процесс скрытого прорастания зерна. Он приводит к тому, что при целостности плодовых и се-

менных оболочек технологические качества зерна могут резко ухудшиться [1]. Такие невидимые глазу, но глубокие внутренние изменения биохимического состава эндосперма можно уловить посредством метода определения числа падения. Если осадки не прекращаются, то перешедшие в растворимое состояние запасные питательные вещества поступают в зародыш, который трогается в рост. И наступает момент, когда плодовая оболочка в области зародыша набухает, затем лопается, появляются росток и корешки, т.е. наступает явное, видимое глазу прорастание зерна в колосе. В результате технологические и посевные качества такого зерна тритикале значительно и необратимо снижаются. Имитация этого процесса осуществляется при искусственном проращивании в чашках Петри свежееубранного зерна. Данный прием используют для дифференциации сортов по отзывчивости к предуборочному прорастанию в колосе.

В процессе селекции тритикале преодолены такие ее недостатки, как плохая выполненность эндосперма и ломкость колоса, ранее сильно ограничивающие привлекательность этой культуры для производства [6, 7]. В настоящее время имеется большое сортовое разнообразие тетраплоидных, гексаплоидных и октаплоидных форм тритикале. Сорта различаются по множеству признаков, в т.ч. и по устойчивости к предуборочному прорастанию зерна в колосе. Для успеха селекционного процесса необходимо надежное выявление устойчивых форм и включение их в дальнейшую работу. Однако для озимой тритикале в условиях ЦРНЗ работа осложняется очень кратким периодом между уборкой и посевом, в течение которого необходимо провести анализ большого количества селекционных образцов и подготовить их к посеву. Поэтому поиск оптимальных методов оценки устойчивости зерна к предуборочно-

му прорастанию является первоочередной селекционной задачей.

В распоряжении исследователей в настоящее время имеется ряд методов оценки зерновых культур по устойчивости к прорастанию зерна в колосе. Их подразделяют на провокационные, биохимические и технологические. Каждая группа методов имеет свои сильные и слабые стороны [2]. Настоящая работа посвящена оценке сопоставимости результатов при определении устойчивости к прорастанию зерна на корню различными методами. При этом проводили комплексную оценку сортов озимой тритикале, включенных в коллекцию, с использованием различных модификаций данных методов.

Материалы и методы

Материалом для наших исследований послужили 35 сортов гексаплоидной и один сорт октаплоидной озимой тритикале различного эколого-географического происхождения. Сорта выращивали на полевой опытной и селекционной станциях РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева в течение 2009 и 2010 гг. В качестве стандарта по урожайности использовали районированный в Центральном регионе сорт озимой тритикале Виктор. Стандартом по устойчивости к предуборочному прорастанию зерна был сорт озимой ржи Альфа. Оба сорта созданы в НИИСХ ЦРНЗ. Агротехника — общепринятая для зоны. Посев проводили селекционной сеялкой СКС-6-10. Площадь делянки — 1 м², повторность — 3-кратная. Уборку проводили вручную в фазу восковой спелости зерна. Считается, что именно в эту фазу активность автолитических ферментов в зерне злаков минимальна, вероятно, вследствие наступления периода неглубокого физиологического покоя семян [1].

Для оценки устойчивости к предуборочному прорастанию зерна в колосе мы использовали два метода:

1 — проращивание свежееубранного зерна в чашках Петри; 2 — определение автолитической активности цельносомолотого зерна.

Проращивание свежееубранного зерна в чашках Петри широко используется при изучении прорастания семян злаков на корню [5, 7, 9]. Преимуществом метода является его доступность и небольшое количество семян для анализа. Недостатком является то, что не учитывается влияние ингибиторов протеолитических ферментов, содержащихся в цветковых и колосковых чешуях.

Свежееубранное зерно немедленно подвергали проращиванию в чашках Петри на фильтровальной бумаге. Предполагали, что в это время семена еще не вышли из состояния покоя, поэтому может наблюдаться дифференциация сортов по скорости прорастания семян в благоприятных условиях. В чашки Петри на фильтровальной бумаге равномерно раскладывали по 100 зерен каждого сортообразца и приливали 10 мл дистиллированной воды. В 2009 г. повторность была 3-кратной, в 2010 г. — 2-кратной. Проращивание семян проводили при постоянной температуре 20°C. Одновременно проращивали семена в неконтролируемых условиях при переменной повышенной температуре (34°C днем в 2010 г., ночью на несколько градусов ниже), чтобы выявить влияние температуры на прорастание свежееубранного зерна изучаемых сортов, поскольку в литературе по этому вопросу имеются противоречивые данные [5, 7, 9]. Число проросших зерен учитывали в 4 срока: через 24, 48, 72 и 96 ч.

В каждом случае подсчитывали число проросших зерен. Проросшими считали зерна с вышедшими из колеорины корешками [1]. Число проросших зерен обозначали как ЧПЗ. Для поддержания в чашках Петри постоянной высокой влажности проводили ежедневные опрыскивания фильтро-

вальной бумаги дистиллированной водой.

Определение автолитической активности цельносомолотого зерна проводили при помощи измерения числа падения на приборе ПЧП-3. Метод определения числа падения является косвенным. Он только фиксирует настоящее состояние углеводно-амилазного комплекса в эндосперме и позволяет выявить скрытое прорастание, когда зерно еще не имеет вышедших наружу корешков, но уже обладает повышенной активностью ферментов. Показатель числа падения находится в обратно пропорциональной зависимости от активности амилолитических ферментов, расщепляющих крахмал. При этом различия в водопоглотительной способности набухающих веществ также существенно влияют на этот показатель. Поэтому число падения зависит не только от степени прорастания зерна. Установлено, что колебания числа падения, обусловленные рядом факторов, сравнительно малы для образцов зерна с низкой активностью а-амилазы и могут быть очень значительными при высокой активности этого фермента [2].

Каждый образец анализировали в 2-кратной повторности. Зерно размалывали на лабораторной мельнице ЛМТ-1. В специальной вискозиметрической пробирке готовили водно-мучную суспензию из 7 г шрота и 25 мл воды. Пробирку помещали в кипящую водяную баню, с помощью шток-мешалки производили перемешивание в течение 60 с. При нагревании крахмал клейстеризуется и вязкость водно-мучной суспензии увеличивается. Одновременно возрастает активность протеолитических ферментов, разрушающих набухшие высокомолекулярные соединения (прежде всего, крахмал), что приводит к снижению вязкости суспензии. Преобладание одного из процессов (набухание или автолиз) приводит к

изменению вязкости в сторону увеличения или снижения. Через 60 с перемешивания прибор автоматически приводит шток-мешалку в верхнее положение и отпускает ее. Шток начинает свободно падать внутри пробирки сквозь клейстеризованную массу. От вязкости этой массы будет зависеть время прохождения штока до его нижнего положения. Время измеряется в секундах. Чем менее активны амилолитические ферменты, чем меньшей атакуемостью обладает крахмал, тем меньше он разрушен. Отсюда медленное падение штока. И наоборот, чем сильнее разрушен крахмал, тем ниже его водоудерживающая способность. В результате быстрого снижения вязкости суспензии и низкое число падения.

Полученные результаты были обработаны методами однофакторного и двухфакторного дисперсионного анализа с предварительным преобразованием данных в угол-арксинус д/процент [4] и методом индексной оценки генотипов по Smith в модификации А.В. Смиряева с помощью программы «INDEX» [3].

Результаты и их обсуждение

Анализ устойчивости сортов озимой тритикале к прорастанию зерна на корню в разные по метеорологическим условиям годы

Годы исследований сильно различались по метеорологическим условиям. Условия 2009 г. были близки к среднегодовым. Год характеризовался умеренными температурами (18,2°C) и достаточно обильными осадками в период формирования зерна (94,3 мм). Вследствие этого были получены почти рекордные урожаи зерна озимой тритикале. Осадки стимулировали скрытое прорастание зерна, поэтому все сорта оказались чувствительными к преждевременному прорастанию зерна при provoca-

ции. Нельзя сказать того же о 2010 г. Весь период вегетации (начиная с весны и заканчивая августом) наблюдались аномально высокие температуры (22,7°C) на фоне отсутствия осадков с конца июня до конца августа. В результате ускоренного прохождения биохимических процессов в период налива зерна оно сформировалось недостаточно выполненным из-за неполной полимеризации углеводов и характеризовалось повышенным содержанием простых сахаров. Такие условия привели к полному отсутствию как скрытого, так и явного предуборочного прорастания зерна в колосе. Склонность к прорастанию на корню в этом случае может быть выявлена только при искусственной провокации. И сорта показали потенциальные возможности биохимического состава своего зерна, которые во влажные годы обычно маскируются той или иной степенью скрытого прорастания. Влияние условий года в момент формирования зерна на его устойчивость к прорастанию отмечено в работах некоторых исследователей ранее [5].

При проращивании свежееубранного зерна в чашках Петри при температуре 20°C в течение 24 ч обнаружилось различия по числу проросших зерен (ЧПЗ) в разные годы исследований. За стандарт принимали ЧПЗ у сорта озимой ржи Альфа, устойчивого к предуборочному прорастанию зерна в колосе. Так, ЧПЗ в 2009 г. было незначительно у всех сортов (всего 0~10%) за исключением одного сорта ПРАГ 334 (27,7%). Статистический анализ выявил только 4 сорта (табл. 1), у которых ЧПЗ достоверно выше такового у стандарта, что, возможно, свидетельствует об их плохой устойчивости к прорастанию в колосе. Остальные сорта были на уровне стандарта. В 2010 г. ЧПЗ у сортов колебался в пределах от 11 до 62% (табл. 2) и наблюдалось большее разнообразие по способности семян

**Значения показателей число проросших зерен
и число падения коллекции озимой тритикале в 2009 г.**

Группа сортов	Сорт	Число проросших зерен при 20°C, % через				Число падения,с
		24 ч	48 ч	72 ч	96 ч	
1	В-322-1	4,7	57,3	76,0	82,3	62
2	Дву ручка 77	0,7	40,7	65,3	77,0	64
1	Кишиневский АД 4	0,3	28,3	54,7	64,7	134
2	Полукарлик 1Х ЕМ-1	2,7	45,7	72,3	80,3	61
3	Виктор	1,3	50,7	73,3	83,7	132
1	Newton	2,3	46,0	74,7	82,0	61
1	AD Boreas	2,7	51,0	67,7	76,3	62
1	2-2377-83	1,0	30,7	58,7	72,7	74
1	ADE 567	1,3	33,7	78,3	86,0	61
1	АД 41	0,3	42,3	72,0	85,3	61
3	N205	4,0	73,3	86,0	89,0	100
1	Largo	1,3	54,0	71,7	77,7	61
1	Salvo	0,3	32,7	56,7	66,3	62
1	ПРАГ-Д 242/2	5,1	49,1	83,8	90,7	61
1	ПРАО 5/1-1 (8х)*	0,3	42,7	61,3	69,3	63
3	Yanko	2,3	64,3	77,3	84,3	62
1	ПРАГД 246/2	1,7	59,0	72,0	77,3	67
3	Kitaro	0,7	72,0	88,7	90,7	77
1	Almo	0,0	40,3	55,0	61,3	61
1	Tewo	5,7	61,0	76,3	86,0	62
3	Presto	0,0	62,7	76,3	83,7	62
1	Monica	1,0	44,0	57,7	64,7	62
1	Каприз	3,3	44,3	72,0	78,0	66
2	Fidelio	3,3	56,0	76,3	81,3	61
1	21759/97	5,0	52,7	71,0	76,0	100
1	ПРАГ 334	27,7	80,0	88,7	91,7	66
2	Е 775	0,3	47,7	66,7	78,7	64
3	Кастусь	13,7	94,0	96,0	96,0	95
1	Модуль	10,8	77,8	90,5	91,1	62
1	KS-88Т	2,0	73,7	87,3	91,3	132
3	Alamo	14,0	93,7	97,7	98,0	89
3	Пушкинский 111/2	0,3	64,3	85,3	89,7	89
1	ПРАГ 448	4,0	75,0	87,7	88,7	63
1	ТИ 17	0,3	43,0	65,7	73,0	95
3	Marho	7,7	81,0	86,7	89,0	61
1	Ставропольский 2	1,7	68,0	76,7	82,3	111
1	TF 30TL1	3,3	58,3	69,7	74,3	64
3	Рожь Альфа	0,5	28,0	54,0	60,0	268
НСР ₀₅		7,5	13,3	12,9	9,4	10
* Октаплоидный сорт.						

Таблица 2

Значения показателей число проросших зерен и число падения коллекции озимой тритикале при разных температурных режимах в 2010 г.

Группа сортов	Сорта	Число проросших зерен при 20°С (%) через				Число проросших зерен при 34°С (%) через				ЧП, с
		24 ч	48 ч	72 ч	96 ч	24 ч	48 ч	72 ч	96 ч	
1	B-322-1	24,5	31,5	57,5	69,5	51,0	71,5	81,0	82,5	81
2	Двуручка 77	38,5	39,5	42,0	46,0	55,5	72,0	85,0	87,0	79
1	Кишиневский АД 4	14,5	33,0	39,5	48,5	30,5	47,5	57,5	61,5	212
2	Полукарлик 1Х ЕМ-1	19,5	25,5	33,5	57,0	60,0	78,0	84,5	85,0	66
3	Виктор	18,0	47,0	62,0	70,5	49,5	87,5	91,0	92,0	201
1	Newton	29,0	50,0	57,5	62,0	42,5	73,0	84,0	85,5	162
1	AD Boreas	12,5	28,5	35,0	45,0	46,5	60,5	75,0	75,5	163
1	2-2377-83	26,0	33,5	45,0	54,5	46,5	66,0	85,5	88,5	105
1	ADE 567	26,0	54,0	66,5	72,5	66,0	82,0	88,0	88,5	114
1	АД 41	14,0	25,0	37,0	49,0	32,5	61,5	71,0	72,5	176
3	N205	62,5	77,0	84,0	86,0	78,0	86,5	91,5	91,5	200
1	Largo	17,0	49,0	56,0	64,5	55,0	80,5	85,0	86,5	183
1	Salvo	24,5	39,5	54,0	66,0	50,0	66,5	74,5	78,0	179
1	ПРАГ-Д 242/2	29,0	59,5	67,0	72,5	71,0	90,0	94,0	94,0	91
1	ПРАО 5/1-1 (8х)*	25,0	47,5	60,0	69,5	60,5	71,0	76,0	77,0	156
3	Yanko	34,5	50,0	58,5	64,5	76,5	90,5	94,0	94,5	265
1	ПРАГД 246/2	32,0	56,5	68,0	72,0	60,5	79,0	84,5	85,0	73
3	Kitaro	52,5	65,5	77,5	79,0	58,5	83,0	86,5	88,0	220
1	Almo	21,0	30,0	39,0	43,0	44,5	65,5	76,5	77,0	243
1	Tewo	16,5	37,5	52,5	57,0	35,0	61,5	72,0	73,0	229
3	Presto	43,0	62,0	67,5	76,0	68,5	81,0	91,0	91,5	273
1	Monica	14,0	32,5	41,0	50,0	49,0	69,5	76,0	77,5	204
1	Каприз	11,5	37,5	51,0	54,0	33,0	54,5	69,0	75,5	183
2	Fidelio	14,5	20,5	24,5	37,0	50,5	72,0	82,0	84,0	124
1	21759/97	15,0	30,5	43,5	60,5	29,5	51,5	61,0	62,0	222
1	ПРАГ 334	39,5	45,5	67,0	77,0	71,0	90,5	94,0	94,0	64
2	Е 775	11,5	30,0	37,5	46,0	39,0	50,5	59,5	63,5	133
3	Кастусь	22,0	47,5	63,0	72,5	84,0	90,0	92,0	93,0	255
1	Модуль	13,5	23,0	39,0	47,5	43,0	56,5	63,0	66,0	229
1	KS-88Т	17,0	35,5	46,0	55,0	40,0	50,0	65,0	67,0	249
3	Alamo	49,0	73,0	79,0	83,5	77,0	92,5	93,5	94,0	220
3	Пушкинский 111/2	25,0	44,5	55,0	67,0	54,5	79,0	84,0	85,5	203
1	ПРАГ 448	11,0	25,0	47,5	58,0	58,5	77,0	83,0	86,5	178
1	ТИ 17	18,0	27,0	38,0	49,0	48,0	61,5	68,0	69,0	231
3	Marho	35,0	53,5	60,5	71,5	60,0	84,5	86,5	89,5	157
1	Ставропольский 2	26,0	40,0	52,0	57,5	53,5	75,5	83,0	83,0	156
1	TF 30TL1	21,5	41,5	51,0	56,0	48,5	62,0	73,5	75,0	194
3	Рожь Альфа	40,5	50,0	60,0	69,0	69,0	78,0	78,5	79,0	291
НСР ₀₅		21,6	16,0	17,2	18,1	21,6	19,9	17,1	16,8	14

* Октаплоидный сорт.

различных сортов к прорастанию, чем в предыдущем году. У 15 сортов этот показатель был статистически значимо ниже, чем у стандарта, а у одного сорта — выше. Остальные сорта имеют показатели ЧПЗ на уровне стандарта. При этом одни и те же сорта в разные годы неодинаково реагируют на провокацию прорастания. Отсюда видно, что в первые сутки провокации свежееубранного зерна почти все сорта озимой тритикале имеют такие же стартовые возможности, как и устойчивый к прорастанию зерна на корню сорт озимой ржи Альфа.

Имеющаяся в литературе информация о том, что низкие температуры в момент формирования зерна способствуют более глубокому физиологическому покою семян [8], возможно, объясняют тот факт, что в чрезвычайно засушливый и жаркий 2010 г. семена озимой тритикале начали прорасть при провокации значительно энергичнее (особенно в первые 24 ч), чем во влажный и прохладный 2009 г. Кроме того, следует принять во внимание изменения в биохимическом составе зерна, в данном случае — повышенное содержание простых углеводов, отмеченное ранее рядом исследователей [2].

Анализ данных таблицы 1 показал, что интенсивность прорастания семян у всех сортов тритикале резко возрастает уже через 48 ч проращивания в сравнении со стандартом. В 2009 г. только 6 сортов по ЧПЗ находятся на уровне стандарта, остальные достоверно превышают его. В 2010 г. через 48 ч проращивания 14 сортов имеют ЧПЗ существенно ниже стандарта, 2 сорта — выше, остальные — на уровне (см. табл. 2). Сравнение ЧПЗ через 48 ч проращивания по годам показывает, что в 2009 г. темпы прорастания семян выше. Скорее всего, это связано с уже имеющимся частичным скрытым

прорастанием, возникшим в период формирования зерна в поле.

Через 72 и 96 ч проращивания почти все сорта имели одинаковое число проросших зерен в 2009 г. (коэффициенты вариации для ЧПЗ в оба срока в 2009 г. средние — 16 и 13% соответственно сроку). В эти сроки также наблюдали более высокие темпы прорастания семян в сравнении со следующим годом. В 2010 г. была отмечена следующая картина. У большинства сортов, имеющих низкий показатель число проросших зерен относительно стандарта после 48 ч провокации, были отмечены также низкие значения этого показателя после 72 ч провокации (коэффициент вариации высокий — 26) и после 96 ч (коэффициент вариации средний — 12). Поскольку из-за отсутствия осадков в момент формирования зерна не было скрытого прорастания, то наблюдаемая нами дифференциация сортов по отзывчивости к провокации свежееубранного зерна может соответствовать их потенциальным возможностям.

Исследования зарубежных ученых констатируют высокую дифференциацию сортов по устойчивости к преждевременному прорастанию зерна между 16 и 24 ч провокации, тогда как уже через 36 ч различия между сортами стираются из-за прорастания почти всех семян [9].

Результаты проведенных нами исследований подтвердили ранее сделанные наблюдения, что сорта озимой тритикале достоверно различаются по устойчивости к преждевременному прорастанию свежееубранного зерна уже через 24 ч провокации. Однако для более точной и полной оценки различий между сортами по данному показателю мы считаем целесообразным осуществлять проращивание при температуре 20°C в течение 48 ч (коэффициенты вариации в 2009 г. — 31, в 2010 г. — 33%).

Разложение дисперсий методом индексной оценки генотипов по Smith в модификации А.В. Смиряева с помощью программы «INDEX» показывает, что вклад генотипа в процесс начала прорастания зерна при провокации в течение первых 24 ч невелик — коэффициент наследуемости (H) в широком смысле равен 0,233. Однако при дальнейшей провокации значение генотипической вариации в общем варьировании увеличивается — через 48 ч $H = 0,491$; через 72 ч $H = 0,651$, через 96 ч $H = 0,525$. При этом во всех случаях (кроме первых 24 ч) значения расчетного коэффициента Фишера превышают теоретическое. Это говорит о существовании различий между сортами. Приведенные расчеты подтверждают наше мнение о возможности использования в качестве критерия устойчивости к прорастанию на корню сортообразцов озимой тритикале число проросших зерен через 48 ч проращивания.

По результатам анализа полученных данных можно с некоторой долей уверенности выделить образцы в изученной коллекции озимой тритикале, которые в течение всех лет изучения были по ЧПЗ либо на уровне устойчивого стандарта, либо достоверно ниже его. Это сорта Almo, Monica, TI 17, Двуручка 77, Кишиневский АД4. Вероятно, они способны формировать устойчивые к воздействию альфа-амилазы гранулы нативного крахмала в любых условиях вегетации, что и обуславливает их особенности. Их можно считать устойчивыми к предуборочному прорастанию зерна в колосе. Были выделены и неустойчивые сорта: Alamo, N205, Kitago, Marho, ПРАГ 334, Кастусь. Среднеустойчивыми мы предлагаем считать сортообразцы В-322-1, 21759/97, Пушкинский 111/2, Ставропольский 2, Largo, Yanko, Tewo, TF30TL1.

У сортов Модуль и ПРАГ-Д 242/2 в 2009 г. число проросших зерен во все сроки провокации было досто-

верно ниже стандарта, тогда как в 2010 г. — выше. Это можно объяснить, если предположить, что у этих сортов во влажный 2009 год сформировались дефектные крахмальные зерна, уже частично разрушенные из-за высокой активности альфа-амилазы. Поэтому при провокации такой крахмал быстро переходит в растворимое состояние, вызывая быстрый рост зародыша. Возможно, что условия 2010 г. не помешали сформироваться качественным крахмальным зернам, способным некоторое время противостоять разрушительному воздействию ферментов. На примере этих сортов ясно прослеживается влияние метеорологических условий в период формирования эндосперма на отзывчивость семени к провокации.

*Влияние температурного режима
на степень прорастания
свежеубранного зерна тритикале*

Проращивание свежеубранного зерна при двух температурных режимах проводили в 2010 г. Было отмечено значительное ускорение прорастания семян при повышении температуры. У всех образцов ЧПЗ при 20°C примерно в 2,5 раза меньше, чем при 34°C, уже через 24 ч проращивания. При этом сохранялась сортовая дифференциация по ЧПЗ — сорта, характеризовавшиеся пониженным или повышенным значением этого показателя по отношению к стандарту при 20°C сохраняют свое положение и при 34°C. Это подтверждает проведенный корреляционный анализ ($r = 0,68^{**}$).

Через 48 ч проращивания при обеих температурах наблюдалось усиление энергии прорастания: при 20°C в среднем для всех сортов ЧПЗ увеличилось на 16, у медленно прорастающих — на 11, у быстро прорастающих — на 20, а при 34°C — на 19, 18 и 12 соответственно. Сортовая специфика и в этом случае сохранялась ($r = 0,68^{**}$). Однако остается неясным, почему при температуре 34°C ЧПЗ

сортов с относительно низкой энергией прорастания увеличивается значительно, чем у сортов с высокой.

Через 72 и 96 ч темпы прорастания значительно замедляются почти у всех сортов при обоих температурных режимах (ЧПЗ увеличивается в среднем на 11 и 8 соответственно сроку при температуре 20°C и на 7 и 1 — при 34°C). Сортовая специфика также сохраняется ($\gamma = 0,68^{**}$ и $0,64^{**}$ соответственно сроку).

Проведенный двухфакторный дисперсионный анализ (факторы — температура и срок проращивания) показал наличие существенных различий реакции сортообразцов на повышенную температуру только при 72-часовом сроке: значение расчетного коэффициента Фишера (1,602) превышает теоретическое (1,566). В остальные сроки влияние температуры на прорастание недоказуемо.

На основании сказанного можно предложить использование значений показателя числа проросших зерен через 48 ч провокации в чашках Петри в широком диапазоне температур (20~34°C) в качестве критерия оценки устойчивости к преждевременному прорастанию зерна в колосе сортообразцов озимой тритикале.

Определение автолитической активности цельносомлотого зерна методом измерения числа падения

В отечественной литературе, посвященной проблемам в селекции озимой ржи и тритикале, показатель числа падения часто используют для характеристики сортов по их устойчивости к прорастанию зерна на корню [2]. По-видимому, это обусловлено наличием у этих культур высокой активности амилолитических ферментов, способных в краткое время разрушить нативные крахмальные зерна. Это приводит к снижению водоудерживающей способности крахмала и соответственно показателя числа падения. Поэтому принято считать,

что образцы ржи и тритикале с низким числом падения менее устойчивы к прорастанию зерна на корню, чем с высоким. Однако этот косвенный показатель характеризует только имеющееся на момент исследования состояние автолитической системы зерна. Он зависит от множества факторов: качества крахмальных зерен и составляющих фракций крахмала, содержания иных высокомолекулярных веществ (белков, пентозанов) и их способности к набуханию, содержания автолитических ферментов и их активности и др. [1, 2].

Установлено, что на процесс прорастания также влияет ряд внутренних и внешних факторов. Развитие зародыша идет в строгом соответствии генетической программы действию регуляторных факторов внешней среды. Условия формирования зерна оказывают влияние на анатомическую структуру, состояние мембран и клеточной стенки, которые косвенно контролируют процессы, протекающие внутри зерна. Некоторое время после уборки семя находится в состоянии покоя. В этот период могут происходить разрушительные процессы, способствующие возникновению повреждений зародыша или клеточных мембран. В последнем случае мембраны становятся более проницаемыми, а протопласт клетки — более уязвимым [9].

Известно также, что не все сорта одинаково реагируют на условия, провоцирующие прорастание зерна. Некоторые сорта способны сохранять устойчивость к прорастанию при длительной провокации. Был предложен коэффициент отзывчивости к провокации, который вместе с показателем числа падения более полно характеризует устойчивость сортообразцов к прорастанию [9].

Имеющиеся в литературе сведения по этому вопросу разноречивы и неполны. Мы попытались найти недостающий ответ в процессе сравнитель-

ного анализа большого числа сортов озимой тритикале по числу проросших зерен и числу падения. Теоретически ожидалось получить обратную корреляционную зависимость между названными показателями (чем больше проросших зерен, тем ниже число падения и наоборот). Для определения числа падения использовали убранное вовремя и не спровоцированное зерно (контроль).

В результате наших исследований не удалось обнаружить существенной корреляции между значениями показателей ЧПЗ и число падения у изученного набора сортов (в 2009 г. $r = -0,037-0,137$; в 2010 г. $r = 0,034-0,121$). Некоторые образцы с высоким ЧПЗ характеризовались высокими значениями числа падения.

Как известно, наблюдаемая корреляция между признаками является фенотипической корреляцией (r_P), обусловленной генотипом и средой. Корреляцию между генотипическими значениями двух признаков называют генотипической (r_G) и между средовыми отклонениями признаков — средовой или паратипической (r_E). Знание генотипической корреляции помогает выявить признак, изменения которого в процессе селекции способны вызвать непредвиденные изменения другого признака. При низкой наследуемости одного селекционного признака и высокой — другого и при наличии сильной генотипической корреляции между ними можно вести косвенный отбор на хорошо наследуемый признак. Фенотипическая корреляция не является простой суммой генотипического и средового коэффициентов. Если коэффициенты наследуемости обоих признаков близки к единице, то фенотипическую корреляцию определяют только генотипическим компонентом. В случае если коэффициент наследуемости низок, фенотипическая корреляция в основном обусловлена средовым компонентом. При средней наследуемости

обоих признаков вклад обоих факторов в фенотипическую корреляцию примерно одинаков [3].

Рассчитанные фенотипические и средовые коэффициенты корреляции между показателями ЧПЗ в разные сроки провокации и числом падения для всего набора сортов близки к нулю. Генотипические коэффициенты корреляции через 24 и 72 ч также близки к нулю, однако через 48 и 96 ч статистически значимы ($r_G = 0,475^{**}$ и $0,329^*$ соответственно сроку). При средних коэффициентах наследуемости обоих показателей (для числа падения $H = 0,491$; для ЧПЗ $H = 0,491$ и $0,525$ через 48 и 96 ч провокации соответственно) фенотипическая корреляция между этими признаками обусловлена генотипом и средой в равной мере. Отсутствие связи между признаками обусловлено генотипами этих сортов, о чем говорят высокие генотипические коэффициенты корреляции. Поэтому нельзя проводить оценку одного признака по значениям другого.

Чтобы разобраться в пестрой картине полученных данных, нами была проведена искусственная группировка сортов по соответствию или несоответствию их показателей ЧПЗ и числа падения теоретически ожидаемому. В таблице 3 приведены критерии, по которым все сорта подразделяют на 3 категории: устойчивые к прорастанию в колосе, среднеустойчивые и неустойчивые. Используются только данные за 2010 г., уникальные метеорологические условия которого позволили сформироваться зерну без преждевременного скрытого прорастания. В 2009 г. почти все сорта имели низкие значения числа падения.

В первую группу объединили сорта, которые имеют соответствие значений числа проросших зерен и числа падения теоретически предполагаемым (т.е. низкие значения ЧПЗ соответствуют высоким значениям числа падения, и наоборот, в соответст-

**Критерии группировки сортов озимой тритикале
по соответствию показателей ЧПЗ и числа падения**

Категория	Число проросших зерен (%) при проращивании в течение				Число падения, с
	24 ч	48 ч	72 ч	96 ч	
Устойчивые	11–20	21–30	25–40	37–50	Более 200
Среднеустойчивые	21–30	31–50	41–60	51–60	100–200
Неустойчивые	31–62	51–77	61–84	70–86	60–100

вии с критериями табл. 2). Эту группу сортов назвали «нормальной» (в табл. 1 и 2 перед названием этих сортов стоит цифра 1). В нее вошли 24 сорта (большинство из изучаемого набора).

Сорта со специфическим взаимоотношением названных показателей, отличных от ожидаемых, объединили в две другие группы в зависимости от специфики.

Во вторую группу включили сорта, у которых при низком значении ЧПЗ отмечены низкие значения числа падения. Такую группу назвали «неотзывчивой к провокации» (в табл. 1 и 2 перед названием этих сортов стоит цифра 2). Сюда вошли только 4 сорта: Двуручка 77, Полукарлик IX ЕМ-1, Fidelio, Е 775.

К третьей группе отнесли сорта с высокими значениями ЧПЗ на фоне высоких значений числа падения. Их назвали «отзывчивыми к провокации» (в таблицах 1 и 2 перед названием этих сортов стоит цифра 3). Это Виктор, № 205, Yanko, Kitaro, Presto, Кастусь, Alamo, Пушкинский 111/2, Marho, рожь Альфа.

Рассмотрим каждую из полученных групп сортов. В «нормальной» группе фенотипические коэффициенты корреляции между числом падения и числом проросших зерен в разные сроки проращивания существенны и соответствуют теоретически ожидаемым ($r_P = -0,589^{**} - 0,549^{**}$). Генотипические коэффициенты кор-

реляции также статистически значимы и близки к единице. Фенотипические коэффициенты корреляции невелики и незначимы. При невысоком значении коэффициента наследуемости для числа падения ($H = 0,398$) и среднем для ЧПЗ ($H = 0,407 - 0,520$) фенотипическая корреляция обусловлена в значительной мере влиянием условий среды. Наличие существенных генотипических коэффициентов корреляции говорит о возможности косвенной оценки одного показателя по другому: т.е. у сортов, входящих в эту группу, оценку устойчивости к прорастанию зерна на корню вполне возможно в равной мере проводить по одному из изучаемых признаков.

Вторая группа содержит сорта, интересные своим нестандартным сочетанием, с одной стороны, относительно низкой энергии прорастания, характерной для устойчивой и среднеустойчивой категории сортов по предложенным критериям и, с другой стороны, низкими значениями числа падения, соответствующими неустойчивой категории. В этой группе сорт Двуручка 77 обладал высокими темпами прорастания зерна в первые 48 ч, затем прорастание замедлилось. Через 96 ч этот сорт по ЧПЗ соответствовал устойчивой категории сортов. Показатель число падения при этом соответствовал неустойчивой категории. В 2009 г. этот сорт показал аналогичную реакцию, несмотря на иные метеоусловия во время формирова-

ния зерна. Это говорит о том, что торможение прорастания происходит по каким-то иным причинам, не связанным с наличием амилаз, а физиологические и биохимические процессы, которые в итоге приводят к формированию низких значений числа падения, генетически детерминированы и не зависят от условий формирования зерна. Поэтому определение устойчивости зерна к прорастанию на корню у этого сорта следует проводить иными методами. Остальные сорта (Полукарлик IX ЕМ-1, Fidelio, Е 775) характеризовались низкими значениями числа проросших зерен, соответствовавшими устойчивой категории, на фоне низких значений числа падения. Причем в предыдущем году эти сорта можно было бы отнести в «нормальную» группу, так как их высокие ЧПЗ вполне соответствовали низким значениям числа падения. Это говорит о возможном формировании в зерне этих сортов крахмальных зерен невысокого качества при весьма высокой активности амилаз в любых условиях вегетации. Торможение прорастания у них в 2010 г., скорее всего, вызвано отсутствием скрытого прорастания, вследствие которого в зерне содержатся только скрытые амилазы, связанные с белками эндосперма. При скрытом прорастании у тритикале имеются еще и ферменты, вновь синтезированные в алейроновых клетках под действием гиббереллина, поступающего от пробудившегося и приступившего к развитию зародыша. Поэтому суммарное воздействие высвободившихся скрытых и вновь синтезированных амилаз приводит к очень быстрому расщеплению крахмала до сахаров и как следствие быстрому прорастанию семени [1]. Это явление весьма отчетливо наблюдалось у рассматриваемых сортов тритикале в 2009 г.

Коэффициент наследуемости у показателя число падения незначителен, что говорит о преобладающем

вкладе условий среды в формирование этого признака. То же самое можно сказать и о числе проросших зерен. Фенотипические и средовые коэффициенты корреляции между значениями показателей число падения и ЧПЗ статистически незначимы, однако генотипические близки к единице. Это говорит о том, что отсутствие связи между признаками обусловлено генотипами этих сортов. Поэтому нельзя проводить оценку одного признака по значениям другого.

Последняя группа сортов в 2010 г. характеризовалась одновременно высокими значениями числа проросших зерен и числа падения.

В 2009 г. характеристики этих сортов были иными. Сорта отличались друг от друга. Так, сорт Виктор имел значения обоих показателей, близкие к значениям среднеустойчивой категории. Сорт ржи Альфа, который считается устойчивым к прорастанию зерна в колосе, по ЧПЗ можно отнести к среднеустойчивой категории, а по числу падения — к устойчивой. Такой результат может быть получен, если, с одной стороны, сорт способен формировать качественные крахмальные зерна при любых метеорологических условиях вегетации, а с другой — содержит амилолитические ферменты с невысокой активностью.

Остальные сорта имели высокие значения ЧПЗ при низком числе падения. При характеристике этих сортов можно отметить их потенциальную способность формировать высококачественный крахмал только при отсутствии осадков. При этом наличие высокого содержания активных амилаз препятствует этому во влажные годы и, совместно с повышенным содержанием свободных сахаров, ускоряет прорастание зерна в сухие.

Коэффициент наследуемости у показателя числа падения средний ($H=0,564$), что говорит о значительном вкладе и генотипа, и среды в формирование признака. Коэффици-

ент наследуемости у ЧПЗ варьировал по срокам проращивания — при 24 ч провокации он незначителен ($H=0,021$), что говорит об исключительном влиянии условий среды на прорастание зерна в этот период. Это подтверждают упомянутые ранее сведения о наличии в зерне повышенного количества амилазы во влажные годы и свободных водорастворимых углеводов — в сухие. Эти факторы в разной мере влияют на скорость прорастания зерна, как уже обсуждалось выше. Во все остальные сроки проращивания — через 48, 72 и 96 ч коэффициент наследуемости ЧПЗ был средним ($H=0,429$, 0,580 и 0,474 соответственно сроку). Это свидетельствует о повышении роли генотипа в проявление этого признака при более длительной провокации.

Фенотипические и средовые коэффициенты корреляции между значениями показателя число падения и ЧПЗ статистически незначимы, генотипические — значимы. Это говорит о том, что отсутствие связи между признаками обусловлено генотипами этих сортов. Поэтому у них так же, как и в предыдущей группе, нельзя проводить оценку одного признака по значениям другого.

Интересен тот факт, что среди сортов, сохраняющих устойчивость по годам, большинство устойчивых и среднеустойчивых находится в «нормальной» группе (10 из 13, кроме Двуручка 77, Yanko, Пушкинский 111/2). А слабоустойчивые — в группе «отзывчивых к провокации» сортов (5 из 6, кроме Alamo).

Таким образом, результаты наших исследований показали, что у большинства изученных сортов (24 из 38) показатель число падения вполне пригоден для косвенной оценки их устойчивости к прорастанию на корню. Однако имеются сорта (14 из 38), у которых показатель число падения непригоден для этой цели, так как он не всегда отражает отзывчивость сорта на провоцирование прорастания зерна. Поэтому для более надежного выявления устойчивых к прорастанию на корню форм необходимо использовать другие методы.

Выводы

1. Показатель число падения не отражает в полной мере устойчивость сортов озимой тритикале к прорастанию на корню. Поэтому рекомендуется дополнять его другими методами.

2. Температура в диапазоне от 20 до 30°C не оказывает влияния на темпы прорастания зерна в чашках Петри в течение 48 ч.

3. Условия формирования зерна влияют на начальные темпы прорастания зерна в течение первых 24 ч. Дальнейшие темпы прорастания в значительной мере обусловлены влиянием генотипа.

4. Для достаточно объективной оценки устойчивости сортов озимой тритикале к предуборочному прорастанию зерна в колосе рекомендуется проводить проращивание свежееубранного зерна в чашках Петри при температуре от 20 до 30°C в течение 48 ч.

5. Выделены сорта (Almo, Monica, TI 17, Двуручка 77, Кишиневский АД4), характеризующиеся устойчивостью к прорастанию на корню в течение двух лет исследований.

Библиографический список

1. Беркутова Н.С. Методы оценки и формирование качества зерна. М.: Росагропромиздат, 1991.
2. Беркутова Н.С., Буко О.А. Оценка и отбор зерновых культур на устойчивость к прорастанию в колосе. М., 1982.
3. Биометрия в генетике и селекции растений / А.В. Смиряев, С.П. Мартынов, А.В. Кильчевский. М.: Изд-во МСХА, 1992.

4. Доспехов Б.А. Методика опытного дела. М.: Колос, 1973.
5. Сюкова Г.А., Ломовская О.И. Оценка образцов озимой ржи на устойчивость к прорастанию зерна на корню с применением провокационного фона // Науч.-техн. бюл. ВИР, 1986. Т. 157. С. 50-53.
6. Третьяков Н.Н., Кошкин Е.И. и др. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений. М.: КолосС, 2005.
7. Шишлова Н.П. Физиолого-биохимические особенности озимого тритикале в связи с устойчивостью к предуборочному прорастанию: Автореф. канд. дис. Минск, 2002.
8. Effect of Temperature on Seed Dormancy of Wheat / L.V. Reddy, R.J. Metzger, T.M. Ching // Crop Science, 1985. Vol. 25. P. 455-458.
9. Physiological index of Triticale grains which can differentiate there pre-harvest sprouting resistance / B. Katarzyna, W. Bielawski, J. Kaczkowski // Acta physiologiae plantarum, 1993. Vol. 15. № 3. P. 185-191.

Рецензент — к. с.-х. н. О.А. Буко

SUMMARY

Triticale is the most sensitive variety among cereals to preharvest germination of grain in a spike. Results of a two-year research into winter triticale varieties collection at the selection and seed farming department are provided in the article. It has been discovered that varieties with a high indicator “falling number” not always have a low number of the grains which have sprouted under direct provocation and vice versa. All this depends on both the condition of carbohydrate amylase complex of grain and responsiveness of a variety to germination provocation. Weather conditions during grain formation greatly influence stability of varieties to germination in a spike. Temperature condition influence on triticale grains stability to germination, under direct provocation, in Petri dish is studied. Provocation of newly harvested triticale grain to germination can be realized at wide temperature range (from 18 to 34 degrees C), in the course of 48 hours.

Key words: winter triticale, pre-harvest germination of grain in a spike, “falling number”.

Нгуен Тхи Тху Линь — асп. кафедры селекции и семеноводства полевых культур РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева.

Митрошина Ольга Викторовна — студентка 5-го курса, РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева.

Пыльнев Владимир Валентинович — д. б. н. Тел. 8(499) 976-12-72.

Рубец Валентина Сергеевна — к. б. н. Тел. 8(499) 976-12-72.

Эл. почта: selection@timacad.ru