

УДК 633.112.9«324»:575.22

ВЛИЯНИЕ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕМЯН ОЗИМОГО ТРИТИКАЛЕ

Н.П. ШИШЛОВА

*Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по земледелию
222160 Минская обл., Жодино, ул. Тимирязева, 1
e-mail: triticale@tut.by*

Изучены физико-химические характеристики семян 10 генотипов озимого тритикале, формировавшихся и созревших под воздействием высоких температур (2010—2011 гг.) и повышенного количества осадков (2010 г.). Оценены устойчивость генотипов к абиотическому стрессу и модификационная изменчивость количественных признаков. Корреляционным анализом установлена достоверная обратная зависимость между водопоглотительной способностью семян и содержанием в них крахмала.

Ключевые слова: *Triticale*, физико-химический состав, абиотические факторы, корреляционный анализ.

Тритикале — высокопродуктивная культура, занимающая наряду с традиционными зернофуражными культурами важное место в обеспечении кормовой и продовольственной базы Республики Беларусь. Широкий круг проблем, сопутствовавший новой культуре при ее создании и распространении, постепенно сужается в результате интенсивного научного поиска и селекционной практики. Получены высокоурожайные сорта ярового и озимого тритикале с комплексом утилитарных свойств, соответствующих запросам различных зерноперерабатывающих отраслей. В зависимости от региона произрастания культуры актуальными остаются вопросы перезимовки, полегания, предуборочного прорастания, накопления белка, снижения уровня антипитательных соединений, устойчивости к болезням и др.

Ведущей организацией, осуществляющей работы по созданию и внедрению в производство новых сортов гексаплоидного тритикале на территории Беларуси является Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию, отметивший в 2012 г. 85-летний юбилей. В настоящее время Государственный реестр сортов и древесно-кустарниковых пород Республики Беларусь включает 26 сортов озимого тритикале, 13 из которых созданы селекционерами центра. Отечественные сорта Антось, Импульс, Прометей, Амулет, Руно охраняются патентами.

Целью исследований было изучение физико-химического состава семян озимого тритикале для выявления генотипической специфики его устойчивости к абиотическим факторам среды и взаимосвязей между технологическими, физико-химическими и реологическими показателями зерна.

Методика

Основным объектом исследований были семена 10 сортов и сортообразцов озимого гексаплоидного тритикале (*X Triticosecale* Wittmack, $2n = 42$) отечественной селекции, выращенные на опытных полях Научно-практического центра НАН Беларуси по земледелию в 2010—2011 гг. Сравнительному анализу подвергали семена трех сортов и сортообразцов ярового тритикале Узор, Садко, Лотас ($2n = 42$), двух сортов озимой ржи Спадчына (*Secale cereale* L., $2n = 28$), Алькора ($2n = 14$) и одного сорта озимой пшеницы Капылянка (*Triticum aestivum* L., $2n = 42$). Определили технологические и физико-химические показатели: массу зерна (ГОСТ 10840—64), массу 1000 семян (ГОСТ 12042—80), их водопоглотительную способность (по увеличению массы семян после пребывания в водопроводной воде в течение 6 ч при температуре $+21\text{ }^{\circ}\text{C}$), содержание сырого протеина (ГОСТ Р 50817—95) и крахмала [2]. Число падения установили на приборе Falling number 1500 (Швеция) [5], вязкость водного экстракта (ВВЭ) — на ротационном вискозиметре Fungilab Premium L (Испания). Для этого навеску несеейной муки суспендировали в дистиллированной воде из расчета 200 мг сухого вещества на 1 мл воды. Водномучную суспензию помещали в термостат на 2 ч при температуре $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$, затем центрифугировали в течение 10 мин при 8000 g. В надосадочной жидкости определяли динамическую вязкость с использованием адаптера АРМ и шпинделя TL5 на скорости 250 об/мин.

Между изученными для озимого тритикале показателями рассчитывали коэффициенты парной корреляции.

Результаты и обсуждение

Погодные условия обоих лет наблюдений (2010—2011 гг.) характеризовались наличием температурного стресса в период созревания зерна. Особенно отчетливо это проявилось в 2010 г., когда превышение температурной нормы, фиксируемое для всех декад летних месяцев, составило в среднем $+3,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ при максимуме $+6,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Заметно превысило норму и количество выпавших осадков: июнь — 162, июль — 150, август — 165 %.

Негативное влияние температурного фактора отмечалось в 2011 г., и было менее выраженным: превышение нормы в среднем составило $+2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ при максимуме $+5,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Количество осадков в летние месяцы было близким к норме: 88 — в июне, 136 — в июле, 84 % — августе.

Негативное влияние абиотических факторов сказалось на урожайности образцов озимого тритикале в конкурсном сортоиспытании: в 2010 г. она составила 50,6, в 2011 г. — 59,7 ц/га. Показатель «натура зерна» образцов 2010 г. также был ниже, чем образцов 2011 г., за исключением сортов озимого тритикале Кастусь, Прометей и сортов ржи (табл. 1).

Показатель «масса 1000 семян», как и «натура зерна», характеризовался низкой изменчивостью. Для него отмечена та же тенденция: повышение в 2011 г. при ослаблении давления абиотического стресса. Высокая температура окружающей среды тормозила накопление ассимилятов и приводила к уменьшению массы зерновки [4]. Исключение составил единственный образец: сорт озимого тритикале Прометей, упоминаемый ранее при анализе показателя «натура зерна». Для исследуемой выборки в

ВЛИЯНИЕ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Таблица 1. Технологические показатели зерна трипикале, ржи и пшеницы

| Культура, образец (год включения в Государственный реестр РФ) | Нагура зерна, г/л | | Масса 1000 семян, г | |
|---|-------------------|---------|---------------------|-----------|
| | 2010 г. | 2011 г. | 2010 г. | 2011 г. |
| | В среднем | | В среднем | |
| Озимое трипикале | | | | |
| Михась — St* (1998) | 627 | 665 | 38,8 | 53,8 |
| Идея (1998) | 691 | 740 | 41,1 | 52,0 |
| Мара (1998) | 619 | 665 | 39,4 | 51,8 |
| Дубрава (1999) | 655 | 715 | 35,2 | 47,9 |
| Кастусь (2006) | 756 | 715 | 45,6 | 45,7 |
| Ангось (2008) | 704 | 725 | 46,9 | 52,7 |
| Импульс (2009) | 721 | 735 | 44,9 | 52,6 |
| Прометей (2009) | 730 | 720 | 46,7 | 45,9 |
| Жниво | 658 | 697 | 42,9 | 50,7 |
| Лего | 697 | 717 | 45,0 | 49,3 |
| Среднее | 686±14 | 709±8 | 42,7±1,2 | 50,2±0,9 |
| Пределы изменчивости | 619—756 | 665—740 | 35,2—46,9 | 45,7—53,8 |
| Коэффициент вариации, % | 6,57 | 3,69 | 9,14 | 5,78 |
| Яровое трипикале | | | | |
| Узор—St (2008) | 672 | 710 | 34,1 | 53,9 |
| Салко (2011) | 655 | 665 | 40,2 | 53,3 |
| Летас | 630 | 645 | 37,1 | 46,3 |
| Озимая рожь | | | | |
| Сладьяна (2000) | 697 | 670 | 56,2 | 57,9 |
| Алькора (2008) | 743 | 717 | 31,8 | 50,5 |
| Озимая пшеница | | | | |
| Капьянка— St (1995) | 727 | 790 | 38,6 | 48,4 |
| | | | | 43,5 |

*Здесь и в табл. 2, 3: St — стандарт.

целом нижний и верхний пороги показателя (в среднем за 2 года) принадлежали сортам ржи: Алькора — 41,2, Спадчына — 57,1 г.

Абиотический стресс оказал на массу 1000 семян более заметное влияние, нежели на натуру зерна. Для сортов озимого тритикале Михась, Мара, Дубрава, ярового тритикале Узор, Садко и сорта озимой ржи Алькора отмечалось возрастание этого показателя в 2011 г. более чем на 30 % по сравнению с 2010 г. Образцы озимого тритикале Кастусь, Прометей, Лето и сорт озимой ржи Спадчына оказались менее восприимчивыми к абиотическим факторам — разница между значениями показателя «масса 1000 семян» не превышала 10 %.

Водопоглотительная способность сухих семян характеризовала интенсивность абсорбционного процесса, зависящую от площади всасывающей поверхности зерновки, ее плотности и содержания запасных веществ. Снижение среднего значения этого показателя в 2011 г. относительно 2010 г. было связано с формированием более выполненного зерна. Минимальной водопоглотительной способностью по результатам двухлетних наблюдений характеризовалась озимая пшеница — 26,0 %, максимальной — сорт озимого тритикале Михась — 37,1 % (табл. 2). Гладкая поверхность и высокая плотность пшеничной зерновки затрудняют водопоглощение, что является одним из факторов устойчивости культуры к предуборочному прорастанию. Близкой к показателю пшеницы была водопоглотительная способность сортов озимого тритикале Идея, Импульс, Прометей. Вариация признака свидетельствовала о наличии генотипической специфики процесса водопоглощения.

Негативное влияние абиотических факторов сказалось также на уровне содержания сырого протеина. Его количество в зерне озимого тритикале заметно возросло в 2011 г. по сравнению с предыдущим годом: среднее значение показателя составило 13,7 против 11,5 %. Максимальные значения в 2010 и 2011 гг. зафиксированы у сорта Кастусь — соответственно 12,6 и 14,9 %. Для анализируемой выборки в целом максимальное содержание сырого протеина было в зерне пшеницы — 15,2 %, минимальное — в зерне ржи сорта Алькора — 10,1 %. Повышение содержания сырого протеина в 2011 г. наблюдалось для всех образцов за исключением сорта ярового тритикале Садко и сорта ржи Алькора. Вариация показателя была незначительной для обоих лет наблюдений.

В отличие от протеина содержание крахмала в зерне озимого тритикале по годам заметно не колебалось. Как озимые, так и яровые сорта тритикале превосходили по этому показателю озимую рожь, некоторые из них — пшеницу. Это прежде всего сорт озимого тритикале Мара, который стабильно на протяжении нескольких лет демонстрировал высокий уровень содержания крахмала. Вариация показателя была минимальной — 2,94 %.

Показатель «число падения» используется для косвенной оценки амилотической активности эндогенных ферментов зерна. Специфическая особенность тритикале в отличие от пшеницы и ржи — повышение активности амилаз на завершающей стадии созревания зерновки. Следствием этого является заметное снижение показателя «число падения» в фазе восковой или полной спелости по сравнению с начальными фазами ее созревания [3]. Показатель «число падения» свыше 250 с редко встречается для образцов тритикале, выращиваемых в условиях Беларуси. Он характеризуется высокой изменчивостью, отмечаемой для тритикале из года в год независимо от погодных условий. Для об-

ТАБЛИЦА 2. Физико-химические показатели зерна тритикале, ржи и пшеницы

| Культура, образец | Водопоглощательная способность семян, % | | Содержание сырого протеина, % | | Содержание крахмала, % | | | | |
|-------------------------|---|-----------|-------------------------------|-----------|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 2010 г. | 2011 г. | В среднем | 2010 г. | 2011 г. | В среднем | | | |
| Озимое тритикале | | | | | | | | | |
| Михась—St | 39,8 | 34,4 | 37,1 | 11,4 | 13,2 | 12,3 | 64,5 | 62,7 | 63,6 |
| Идея | 29,7 | 25,0 | 27,4 | 11,4 | 14,2 | 12,8 | 68,9 | 68,0 | 68,5 |
| Мара | 35,3 | 28,6 | 32,0 | 10,4 | 12,6 | 11,5 | 70,0 | 71,3 | 70,7 |
| Дубрава | 34,7 | 27,9 | 31,3 | 11,8 | 13,7 | 12,8 | 68,1 | 68,0 | 68,1 |
| Касушь | 38,0 | 32,5 | 35,3 | 12,6 | 14,9 | 13,8 | 64,7 | 65,2 | 65,0 |
| Антось | 33,7 | 30,4 | 32,1 | 11,6 | 14,0 | 12,8 | 68,8 | 66,7 | 67,8 |
| Импутье | 31,5 | 24,5 | 28,0 | 12,2 | 13,6 | 12,9 | 68,9 | 67,8 | 68,4 |
| Прометей | 31,7 | 27,4 | 29,6 | 11,6 | 13,7 | 12,7 | 68,5 | 66,9 | 67,7 |
| Живов | 33,6 | 29,3 | 31,5 | 11,4 | 13,6 | 12,5 | 67,0 | 66,7 | 66,9 |
| Лето | 31,1 | 28,9 | 30,0 | 10,4 | 13,3 | 11,9 | 69,8 | 67,3 | 68,6 |
| Среднее | 33,9±1,0 | 28,9±1,0 | 31,4±1,0 | 11,5±0,2 | 13,7±0,2 | 12,6±0,2 | 67,9±0,6 | 67,1±0,7 | 67,5±0,6 |
| Пределы изменчивости | 29,7—39,8 | 24,8—34,4 | 27,4—37,1 | 10,4—12,6 | 12,6—14,9 | 11,5—13,8 | 64,5—70,0 | 62,7—71,3 | 63,6—70,7 |
| Коэффициент вариации, % | 9,35 | 10,55 | 9,56 | 5,99 | 4,50 | 4,92 | 2,85 | 3,26 | 2,94 |
| Яровое тритикале | | | | | | | | | |
| Узор—St | 33,3 | 27,3 | 30,3 | 12,2 | 13,9 | 13,1 | 68,9 | 67,6 | 68,3 |
| Салко | 39,0 | 32,8 | 35,9 | 13,0 | 12,3 | 12,7 | 66,3 | 66,3 | 66,3 |
| Лотас | 36,3 | 31,2 | 33,8 | 14,2 | 14,3 | 14,3 | 65,6 | 68,0 | 66,8 |
| Озимая рожь | | | | | | | | | |
| Сладчина | 37,1 | 29,1 | 33,1 | 11,5 | 12,5 | 12,0 | 61,1 | 60,9 | 61,0 |
| Алькора | 32,9 | 30,1 | 31,5 | 10,9 | 10,1 | 10,5 | 62,6 | 63,8 | 63,2 |
| Озимая пшеница | | | | | | | | | |
| Капылянка—St | 29,6 | 22,4 | 26,0 | 14,2 | 15,2 | 14,7 | 67,1 | 68,9 | 68,0 |

ТАБЛИЦА 3. Реологические показатели зерна тритикале, ржи и пшеницы

| Культура, образец | Число падений, с | | | Вязкость водного экстракта, мПа·с | |
|-------------------------|------------------|---------|-----------|-----------------------------------|---------|
| | 2010 г. | 2011 г. | В среднем | 2010 г. | 2011 г. |
| Озимое тритикале | | | | | |
| Михась-St | 107 | 106 | 107 | 3,0 | 2,8 |
| Идея | 198 | 146 | 172 | 2,9 | 3,0 |
| Мара | 248 | 251 | 250 | 3,4 | 3,3 |
| Дубрава | 252 | 170 | 211 | 2,4 | 2,6 |
| Кастусь | 178 | 142 | 160 | 1,9 | 2,2 |
| Ангось | 112 | 80 | 96 | 2,2 | 2,5 |
| Импультс | 158 | 124 | 141 | 2,4 | 2,9 |
| Прометей | 73 | 110 | 92 | 2,3 | 3,1 |
| Жниво | 124 | 137 | 131 | 2,4 | 2,8 |
| Лето | 165 | 181 | 173 | 2,2 | 2,4 |
| Среднее | 162±19 | 145±15 | 153±16 | 2,5±0,1 | 2,8±0,1 |
| Пределы изменчивости | 73–252 | 80–251 | 92–250 | 1,9–3,4 | 2,2–3,3 |
| Коэффициент вариации, % | 36,90 | 33,10 | 33,19 | 17,96 | 12,22 |
| Яровое тритикале | | | | | |
| Узор-St | 264 | 111 | 188 | 2,3 | 2,0 |
| Садко | 62 | 64 | 63 | 2,4 | 2,2 |
| Лотас | 131 | 86 | 109 | 2,1 | 1,9 |
| Озимая рожь | | | | | |
| Сладына | 312 | 241 | 277 | 28,7 | 24,2 |
| Алькора | 259 | 273 | 266 | 9,1 | 35,3 |
| Озимая пшеница | | | | | |
| Капьянка-St | 372 | 361 | 367 | 1,8 | 2,2 |
| | | | | | 2,0 |

разцов озимого тритикале в 2010 г. его среднее значение составило 162 с, в 2011 г. — 145 с (табл. 3). Это связано с тем, что в 2010 г. высокая температура способствовала увеличению степени полимеризации крахмала, что затруднило его гидролиз эндогенными ферментами зерна [4]. Однако для образцов тритикале Мара, Прометей, Жниво, Лето картина была обратной: погодные условия 2011 г. способствовали увеличению показателя «число падения» относительно предыдущего года.

Показатель «вязкость водного экстракта» определяется количественным и качественным составом растворимых некрахмальных полисахаридов, основным компонентом которых для тритикале, ржи и пшеницы являются арабиноксиланы (C₅). Его средние значения для образцов озимого тритикале незначительно превышали вязкость водного экстракта пшеницы и существенно (на порядок) уступали вязкости экстракта ржи. Минимальную вязкость водного экстракта имели сорт озимого тритикале Кастусь и сортообразец ярового тритикале Лотас. Их показатели практически не отличались от аналогичных показателей пшеницы. Средняя вязкость водного экстракта озимого тритикале в 2010 г. была ниже, чем в 2011 г., что связано с повышенным количеством осадков. Как подтвердили результаты опытов с инбредными линиями ржи, высокая влажность способствует формированию зерна с низкой вязкостью экстракта [1]. Исследуемые образцы можно ранжировать в порядке возрастания вязкости водных экстрактов следующим образом: озимая пшеница → яровое тритикале → озимое тритикале → озимая рожь.

Корреляционным анализом взаимосвязей между изученными количественными показателями озимого тритикале выявлена обратная зависимость водопоглотительной способности семян от содержания в них крахмала. Эта пара признаков была единственной, достоверность взаимосвязи между которыми отмечалась для обоих лет наблюдений (среднее значение $r = -0,73$). Обнаружена также стабильная отрицательная взаимосвязь (среднее значение $r = -0,58$) между содержанием сырого протеина и вязкостью водного экстракта, что может быть полезным при отборе высокобелковых генотипов озимого тритикале.

Таким образом, в результате исследования физико-химического состава семян озимого тритикале установлено, что относительно стабильными к воздействию абиотических факторов окружающей среды являются такие признаки, как содержание крахмала и натура зерна; наиболее лабильными — содержание сырого протеина, масса 1000 семян и их водопоглотительная способность. Генотипическая изменчивость количественных показателей изученных образцов озимого тритикале была незначительной за исключением реологических параметров. Выявлено негативное влияние стрессовых абиотических факторов на технологические и физико-химические показатели семян. На этом фоне выделялись сорта озимого тритикале Кастусь и Прометей как стрессоустойчивые, с благоприятной нормой реакции на модифицирующие условия среды. Корреляционный анализ подтвердил наличие достоверных зависимостей между отдельными количественными признаками, что дает возможность проводить отбор генотипов с комплексом положительных для зернофуражной культуры показателей.

1. Гончаренко А.А., Ермаков С.А., Макаров А.В. и др. Селекционная оценка инбредных линий озимой ржи по вязкости водного экстракта // С.-х. биология. — 2008. — № 1. — С. 33—39.

2. *Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.П. и др.* Методы биохимического исследования растений / Под ред. А.И. Ермакова. — Л.: Агропромиздат, 1987. — 430 с.
3. *Шишлова Н.П., Полякова Е.Л., Лубочкина Т.В. и др.* Анализ сопряженности количественных признаков ярового тритикале и устойчивость к предуборочному прорастанию // Земледелие и селекция в Беларуси: Сб. науч. трудов. — 2010. — Вып. 46. — С. 235—248.
4. *Matsuki J., Yasui T., Kohyama K., Sasaki T.* Effect of environmental temperature on structure and gelatinization properties of wheat starch // *Cereal Chem.* — 2003. — **80**, N 4. — P. 476—480.
5. *Perten H.* Application of the Falling number method for evaluating alphaamylase activity // *Ibid.* — 1964. — **41**, N 3. — P. 127—140.

Получено 13.11.2012

ВПЛИВ АБІОТИЧНИХ ЧИННИКІВ НА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАСІННЯ ОЗИМОГО ТРИТИКАЛЕ

Н.П. Шишлова

Науково-практичний центр Національної академії наук Білорусі по землеробству, Мінська обл., Жодино

Вивчено фізико-хімічні характеристики насіння 10 генотипів озимого тритикале, які формувались і дозріли під дією високих температур (2010—2011 рр.) і підвищеної кількості опадів (2010 р.). Оцінено стійкість генотипів до абіотичного стресу й модифікаційну мінливість кількісних ознак. Кореляційним аналізом встановлена вірогідна зворотна залежність між водовбирною здатністю насіння і вмістом у ньому крохмалю.

INFLUENCE OF ABIOTIC FACTORS ON PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF WINTER TRITICALE SEEDS

N.P. Shishlova

Research and Practical Centre, National Academy of Sciences of Belarus for Arable Farming
1 Timiryazev St., Zhodino Minsk region, 222160, Belarus

Physical and chemical characteristics of seeds of 10 winter triticale cultivars formation of which was influenced by high temperatures (2010—2011) and increased precipitations (2010), were studied. Genotype resistance to abiotic stress and modification variability of quantitative traits was evaluated. Correlation analysis showed presence of significant negative correlation between water absorption ability of seeds and their starch content.

Key words: *Triticale*, physical and chemical composition, abiotic factors, correlation analysis.