

ДИНАМИКА ФИЗИЧЕСКИХ И БИОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ В ПРОЦЕССЕ СОЗРЕВАНИЯ ЗЕРНА ОЗИМОЙ ТРИТИКАЛЕ В УСЛОВИЯХ ЦРНЗ (×TRITICOSECALE WITTM.)

Ю.Н. КОТЕНКО, А.И. ЮРКИНА, В.С. РУБЕЦ, В.В. ПЫЛЬНЕВ, М.Д. КАНААН

(РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева)

Исследования проводились в РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева в 2017–2019 гг. Цель работы – сравнение динамики формирования физических, биохимических и технологических свойств зерна озимой тритикале (×Triticosecale Wittm.) по сравнению с пшеницей (Triticum aestivum L.) и рожью (Secale cereale L.). Отбор проб проводили в фазы молочной, тестообразной, восковой и твердой спелости, а также после перестоя посевов в полевых условиях. Вегетационный период 2017 г. был холодным и дождливым, 2018 г. – типичным для Московской области, в 2019 г. жаркая сухая погода сменилась прохладной, с продолжительными дождями. Во все годы в период созревания зерна шли дожди, что позволило оценить изменение исследуемых параметров после перестоя в поле. В процессе налива и созревания масса 1000 зерен постепенно увеличивалась, а затем немного снижалась вследствие энзимо-микозного истощения. Динамика природы зерна соответствовала изменениям массы 1000 зерен.

Самые высокие значения содержания белка и клейковины были получены в фазу молочной спелости, затем их относительное содержание снизилось к фазе тестообразной спелости за счет полного накопления крахмала, после чего содержание белка снова увеличилось. Это говорит о том, что происходили процессы энзимо-микозного истощения зерна. Самая низкая активность ферментов наблюдалась также в фазу тестообразной спелости у всех изученных сортов. При дальнейшем созревании автолитическая активность повышалась и была максимальной в твердую спелость. Таким образом, изученные показатели качества зерна достигают максимальных значений к восковой спелости, а задержка уборки ведет к сильному ухудшению технологических свойств зерна.

Ключевые слова: тритикале, формирование зерна, фазы развития зерновки, физические свойства зерна, белок, число падения, энзимо-микозное истощение.

Введение

Тритикале (×Triticosecale Wittm.) является амфидиплоидом, полученным в результате совмещения геномов пшеницы (*Triticum* sp.) и ржи (*Secale* sp.). Культура является ценной для пищевого и кормового направления использования [13]. Однако при возделывании ее в условиях избыточного увлажнения и пониженных температур во время созревания ухудшается качество зерна, проявляются предуборочное прорастание зерна в колосе и энзимо-микозное истощение (стекание, истекание) зерна.

Для центральных районов Нечерноземной зоны характерно избыточное увлажнение в период уборки зерновых культур. Нередко неблагоприятные метеорологические условия приходится и на период формирования и налива зерна. Все это приводит к задержке с уборкой зерновых культур и, как следствие, к ухудшению посевных и технологических качеств зерна. Одной из задач селекции тритикале в ЦРНЗ является создание сортов, устойчивых к предуборочному прорастанию и стеканию зерна. Кроме того, во многих регионах мира с прохладной и влажной

погодой проблема прорастания зерна тритикале лимитирует рост посевных площадей культуры [14].

Прорастание зерна начинается с попадания воды в семя, что приводит к активизации гидролитических ферментов и расщеплению запасных веществ. Данное явление резко снижает как технологические качества зерна, так и посевные свойства семян. Устойчивость к прорастанию зерна обуславливается, в первую очередь, продолжительностью покоя семян. Покой семян злаков считается неглубоким физиологическим, когда наблюдаются снижение всхожести и сужение диапазона условий, при которых зерновка прорастает. Выявлено, что покой семян озимой тритикале является коротким и неявно выраженным, а зерновки уже в возрасте 26 дней от опыления способны прорасти при благоприятных условиях [9].

Энзимо-микозное истощение зерна – комплексное явление, возникающее в результате воздействия абиотических и биотических факторов. Сначала под воздействием влаги ферменты расщепляют высокомолекулярные запасные соединения: крахмал, белки. Продукты расщепления выходят на поверхность зерновки, где поселяются и развиваются патогенные микроорганизмы. Все это приводит к образованию щуплых зерен, снижению массы 1000 семян [11].

Таким образом, и прорастание, и стекание зерна вызываются одинаковыми метеорологическими условиями. Обоим явлениям предшествуют похожие биохимические процессы. Возможно, стекание зерна происходит, когда зародыш еще находится в состоянии покоя и не способен прорасти.

Различными исследователями отмечается склонность тритикале, пшеницы и ржи к истощению зерна [5].

В условиях лесостепи Украины у озимой тритикале отмечалось снижение массы 1000 зерен на 1,5–4,1% в фазу твердой спелости после перестоя в течение 4–12 дней, а также снижение энергии прорастания и всхожести истекших семян [16].

Более восприимчивые к стеканию зерна сорта яровой мягкой пшеницы имеют меньшую глубину и продолжительность покоя семян. Такие сорта характеризуются более низкими стекловидностью (коэффициент корреляции со степенью стекания $r = -0,40$), натурой зерна ($r = -0,37$) и качеством клейковины ($r = -0,51$) [12]. Помимо снижения массы 1000 зерен, ухудшается структура эндосперма: снижается стекловидность и натура. Уборка пшеницы в фазу твердой спелости, а также двухнедельный перестой в поле приводили не только к ухудшению физических свойств зерна, но и к снижению содержания белка и клейковины в зерне [2].

Сорта пшеницы, созданные в различных экологических условиях, различаются по устойчивости к энзимо-микозному истощению зерна. Так, сорта пшеницы, созданные в регионах с высокой и избыточной влажностью воздуха, обладают большей устойчивостью к стеканию, чем сорта, созданные при благоприятных условиях [15]. Для тритикале таких данных не имеется.

Цель работы – изучить динамику формирования физических, биохимических и технологических качеств зерна сортов озимой тритикале.

В задачи исследования входило следующее:

1. Оценить динамику формирования физических свойств зерна: массу 1 зерна, натуру, стекловидность зерна.
2. Определить содержание белка и клейковины и изменение автолитической активности в процессе развития зерна.
3. Сравнить ход формирования качества зерна изучаемых сортов тритикале, пшеницы и ржи.
4. Уточнить оптимальные сроки уборки тритикале для сохранения максимального качества зерна.

Методика исследования

Исследования проводились в 2017–2019 гг. на Полевой опытной и селекционной станциях РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. Данная работа включена в цикл исследований по разработке метода отбора устойчивых к прорастанию форм озимой тритикале [7]. Материалом для исследований послужили контрастные по устойчивости к предуборочному прорастанию зерна сорта озимой тритикале Александр, Валентин, Тимирязевская 150 (РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева), Виктор (ФИЦ «Немчиновка»). Для сравнения динамики формирования зерна были взяты сорта озимой пшеницы Московская 39 (ФИЦ «Немчиновка») и озимой ржи Саратовская 6 (НИИСХ Юго-Востока). Сорт тритикале Валентин был создан методом внутрисортного отбора из популятивного сорта Гармония (СГИ НЦ семеноведения и сортоизучения, Украина, Одесса). Остальные сорта тритикале были получены методом индивидуального отбора из гибридных комбинаций, созданных в условиях ЦРНЗ. Отбор проб проводили, начиная с 21 дня от начала цветения с интервалом в 7–10 дней, а затем по влажности зерна определяли соответствующую фазу. На каждую пробу приходилось по 10 колосьев в трехкратной повторности. В 2017 г. срезали по 4 пробы, в 2018 и 2019 гг. – более дробно, то есть 6 проб.

В 2017 г. было срезано на 2 пробы меньше, поэтому для объективного сравнения из данных 2018 и 2019 гг. были выбраны только те пробы, которые совпадали с пробами 2017 г. по возрасту и фазам созревания зерна. Процесс созревания является непрерывным. Разделение на фазы делает его дискретным, структурируя происходящие физиологические изменения. Наступление любой фазы характеризуется интервалом, в пределах которого изменяется влажность зерна, и неравномерностью созревания зерен в пределах соцветия, растения и делянки. Поэтому при усреднении данных за разные годы мы руководствовались близкими значениями влажности зерна, по которой условно определяется фаза. В некоторых случаях конец одной фазы объединяли с началом другой, поскольку расхождение по влажности зерна было незначительным.

После естественного высушивания наиболее ранние пробы обмолачивали вручную, остальные – на колосовой молотилке. Все лабораторные анализы проводили в двукратной повторности на воздушно-сухом зерне по существующим методикам [10]. Массу 1000 зерен определяли ускоренным методом, массу 1 зерна рассчитывали путем деления массы 1000 зерен (мг) на 1000. Стекловидность зерна оценивали на диафаноскопе, натуру – с помощью микропурки на 10 мл. Шрот оценивали на содержание белка и клейковины на спектрофотометре «Спектран ИТ». Автолитическую активность определяли по числу падения микромодифицированным методом Хагберга-Пертена. В 2017 г. определяли только содержание белка и клейковины и измеряли число падения, в 2018 и 2019 гг. эти исследования были дополнены изучением физических свойств зерна с последующей оценкой степени энзимо-микозного истощения зерна. Абсолютное содержание белка (мг/1 зерно) рассчитывалось исходя из процента содержания белка и массы 1 зерна. Стеkanie по массе 1 зерна определяли по следующей формуле:

$$\text{Стеkanie, \%} = \left(\frac{m_{\text{max}} - m_{\text{после перестоя}}}{m_{\text{max}}} \right) \cdot 100.$$

Стеkanie по абсолютному содержанию белка и натуре зерна определяли аналогично. Фенологическую фазу, в которой находились растения тритикале, определяли по влажности зерна. За основу была взята классификация, предложенная для пшеницы

[6]. В период налива включены фазы молочной (влажность зерна – от 70 до 50%) и тестообразной спелости (влажность зерна – от 50 до 42%). В этот период происходит активное накопление сухих веществ зерна, а влажность мало зависит от метеорологических условий. Период созревания характеризуется фазами восковой (влажность зерна – от 42 до 22%) и твердой спелости (влажность зерна – ниже 22%). В это время поступление пластических веществ в зерно пшеницы прекращается, и его влажность зависит от погодных условий. Фаза полной спелости наступает после прохождения периода покая и характеризуется кондиционной всхожестью семян.

Метеорологические условия 2017–2019 гг. значительно различались. Вегетационный период 2017 г. был холодным и дождливым вплоть до середины июля, что привело к сильной задержке процессов созревания. Начиная с третьей декады июля был отмечен резкий скачок температуры воздуха при незначительных осадках. Таким образом, фаза восковой спелости зерна пришлось на сухую жаркую погоду, которая продлилась до уборки озимых культур. При таких условиях сформировались высокие технологические и физические качества зерна. 2018 г. по метеорологическим условиям был типичным для Московской области. В период формирования, налива и созревания зерна температура воздуха колебалась вокруг среднемноголетних значений. До второй декады июля наблюдалось равномерное, пониженное в сравнении со среднемноголетними значениями распределение осадков. В 2019 г. во время формирования и налива зерна стояла жаркая сухая погода, которая затем сменилась прохладной с затяжными дождями. При такой погоде также ожидается существенное стекание и ухудшение показателей качества зерна. В 2018 и 2019 гг., во второй декаде июля, когда растения в основном достигли фазы твердой спелости, выпали обильные осадки, которые привели к значительному повышению влажности зерна и ухудшению физических и биохимических свойств (рис. 1).

Статистический анализ полученных данных проводился методом однофакторного и двухфакторного дисперсионного анализа. НСР₀₅ были рассчитаны с использованием критерия Дункана. Для расчета всех статистических параметров использовалась программа AGROS vs 2.08 [8].

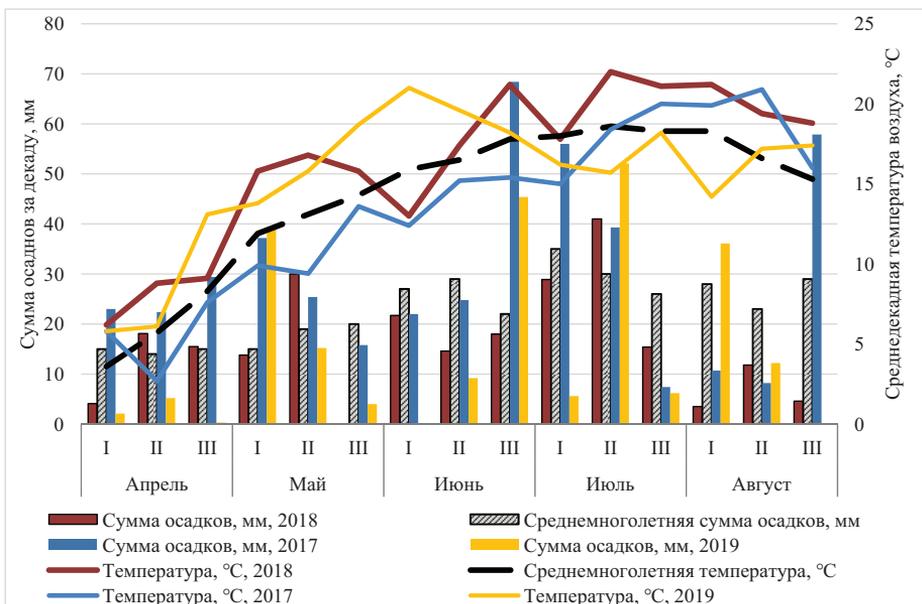


Рис. 1. Метеорологические условия 2017–2019 гг. в сравнении со среднемноголетними

Результаты и их обсуждение

Сорта тритикале Валентин и Тимирязевская 150 созревали чуть медленнее остальных изученных сортов тритикале, пшеницы и ржи. 2019 г. характеризовался наиболее дружным созреванием вследствие повышенных температур в фазы формирования зерна и молочной спелости (табл. 1–3).

Таблица 1

Фазы созревания зерна в момент взятия проб в 2017 г.

№ пробы	Саратовская 6	Московская 39	Александр	Виктор	Валентин	Тимирязевская 150
1	Начало молочной спелости					
2	Молочная спелость					
3	Восковая спелость				Тестообразная спелость	
4	Твердая спелость				Восковая спелость	

Таблица 2

Фазы созревания зерна в момент взятия проб в 2018 г.

№ пробы	Саратовская 6	Московская 39	Александр	Виктор	Валентин	Тимирязевская 150
1	Молочная спелость		Начало молочной спелости			
2	Тестообразная спелость		Молочная спелость			
3	Восковая спелость				Тестообразная спелость	
4	Твердая спелость				Восковая спелость	
5	Твердая спелость (после дождя)					
6	Перестой в поле					

Таблица 3

Фазы созревания зерна в момент взятия проб в 2019 г.

№ пробы	Саратовская 6	Московская 39	Александр	Виктор	Валентин	Тимирязевская 150
1	Молочная спелость					
2	Тестообразная спелость					
3	Восковая спелость					
4	Твердая спелость				Восковая спелость	
5	Твердая спелость (после дождя)					
6	Перестой в поле					

Динамика формирования физических и биохимических свойств зерна в 2018–2019 гг.

У пшеницы Московская 39 масса 1 зерна, мг, стекловидность и абсолютное содержание белка достигали максимума в фазу восковой – начале твердой спелости (рис. 2д, проба 3). Относительное содержание белка,%, снижалось в процессе формирования и налива зерна в связи с накоплением крахмала, а затем снова повышалось в период созревания. При перестое в поле масса 1 зерна снижалась на 4,8 мг, или на 9,6%, в 2018 г.; на 3,4 мг, или на 7,3%, в 2019 г.; содержание белка – на 1,8 и 0,9 мг/1 зерно (26,8 и 13,6%) соответственно по сравнению с максимальным, что является следствием значительного истощения зерна. Стекловидность также резко снижалась, ухудшалась структура эндосперма. Наши результаты подтверждают известный вывод о том, что у пшеницы лучшей фазой для уборки является фаза восковой спелости.

Аналогично, как и у пшеницы, происходило формирование размеров и качества зерна у сортов тритикале Александр, Тимирязевская 150. У сорта Александр потери массы 1 зерна в 2018 г. составили 3,6 мг, или 6,7%; белка – 0,47 мг/1 зерно, или 7% от максимального содержания, а в 2019 г. – 1,3 мг (2,6%) и 0 мг/1 зерно соответственно. Небольшое увеличение массы зерновки при перестое в поле статистически недостоверно (рис. 2а). У сорта Тимирязевская 150 накопление запасных веществ происходило вплоть до фазы твердой спелости (рис. 2б, проба 5). Потери массы 1 зерна составили 2,5 мг, или 5%; белка – 0,91 мг/1 зерно, или 15% от максимального содержания в 2018 г. и 6,3 мг (12,6%) и 0,7 мг/1 зерно (10,7%) соответственно в 2019 г.

У Виктора так же, как и у Тимирязевской 150, процессы накопления запасных веществ происходили вплоть до твердой спелости. Но в отличие от предыдущих сортов самые высокие показатели качества наблюдались в фазу твердой спелости (рис. 2в, проба 4). После перестоя в 2018 г. потери массы 1 зерна составили 4,4 мг, или 7,6%; белка – 1,27 мг/1 зерно, или 16% от максимального содержания; в 2019 г. стекания не наблюдалось.

Формирование зерна у сорта Валентин отличалось от предыдущих сортов тем, что максимальное качество у него приходилось на фазу тестообразной – восковой спелости (рис. 2г, пробы 3–4), до этой же фазы происходит накопление белка (в среднем до 7,1 мг/1 зерно). Потери массы 1 зерна в 2018 г. составили всего 1,2 мг, или 2%; белка – 0,45 мг/1 зерно, или 6% от максимального содержания. Это свидетельствует о том, что активное истощение зерна компенсировалось одновременно протекающим процессом накопления запасных веществ. Данный вывод подтверждается самым сильным стеканием в 2019 г., когда потери массы зерновки составили 8,7 мг (16,0%), белка – 1,7 мг/1 зерно (21,4%).

Накопление запасных веществ у ржи Саратовская 6 происходило непрерывно, вплоть до самой поздней пробы (рис. 2е). Стекловидность была самой низкой из всех изученных сортов и колебалась в пределах 20–30% в течение всего периода созревания. Истощения зерна обнаружено не было.

Максимальная стекловидность у всех изученных образцов в среднем приходилась на фазу восковой спелости, а затем плавно снижалась у пшеницы Московская 39 с 95,5 до 50%, у тритикале – с 45–58% до 25–32% в зависимости от сорта (рис. 2).

Максимумы натурной массы изученные сорта достигли к фазе восковой спелости, а затем она снижалась при перестое в поле. У сортов тритикале Александр и Тимирязевская 150 не происходило значительного снижения натурности зерна. У других сортов тритикале и пшеницы Московская 39 наблюдалось небольшое, около 5%, снижение натурности, у ржи Саратовская 6 оно находилось в пределах 7–8% (рис. 3). Отметим, что в 2018 г. потеря натурной массы была более заметной, чем в 2019 г.

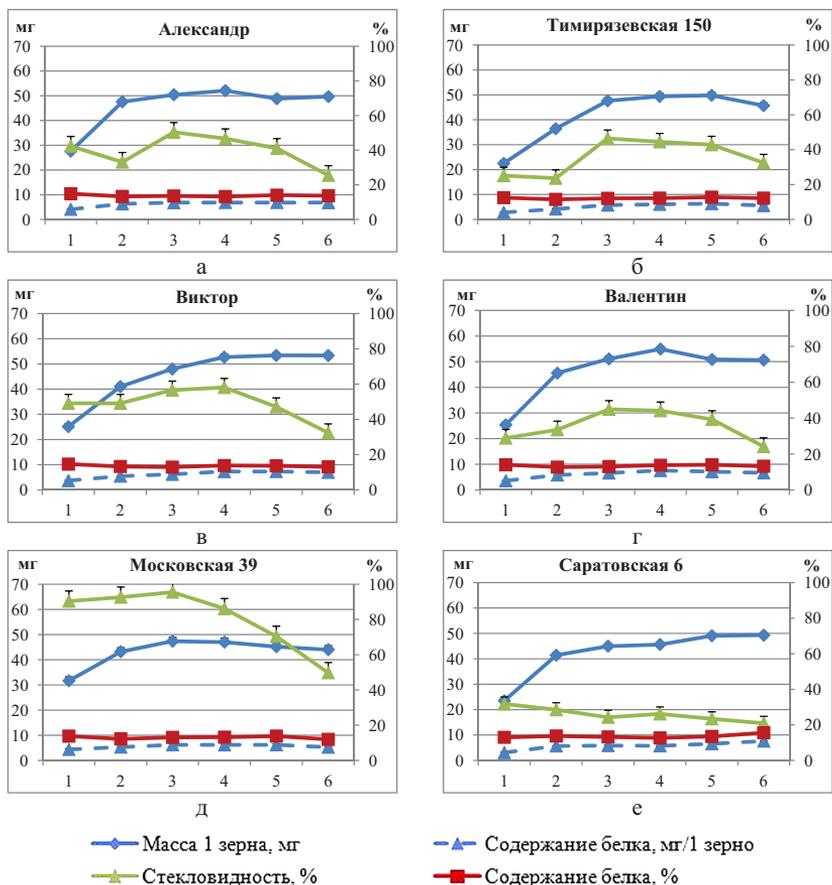


Рис. 2. Динамика формирования физических и биохимических свойств зерна в 2018–2019 гг.: фенологические фазы 1–6 указаны в соответствии с таблицами 2 и 3; наименьшие существенные различия представлены в виде планок погрешностей

В опытах с яровыми зерновыми культурами другие исследователи получали похожие результаты. В условиях Предуралья наблюдалось истощение зерна ржи на 7,4 г (32%), пшеницы – на 10,3 г (25%), тритикале – на 6,0 г (13%) [3]. Максимальной массы 1000 зерен разные сорта пшеницы и ячменя достигали в конце тестообразной – начале восковой спелости, а затем она снижалась [4].

Таким образом, в отличие от пшеницы не все сорта тритикале, созданные в регионах с высокой и избыточной влажностью воздуха, обладают большей устойчивостью к стеканию, чем сорта, созданные в более засушливых регионах. Так, сорт Валентин, отобранный из одесского сорта Гармония, проявил ожидаемую низкую устойчивость как к предуборочному прорастанию в наших в предыдущих исследованиях [7], так и к стеканию зерна. Сорта Виктор и Александр, созданные в условиях ЦРНЗ, показали себя как более устойчивые к данным неблагоприятным явлениям. Однако сорт Тимирязевка 150, также созданный в условиях ЦРНЗ, не проявил ожидаемых свойств.

Относительное содержание белка и клейковины находится в сильной корреляционной зависимости: у пшеницы Московская 39 $r = 0.968^{**}$, у сортов тритикале – $r = 0.936 \div 0.976^{**}$.

Максимальным процентным содержанием белка характеризовалась фаза молочной спелости у всех трех культур. У пшеницы и тритикале относительное

содержание белка значительно снижалось в фазу тестообразной спелости (рис. 4а-д), в то время как у ржи такое явление наблюдалось только в фазу восковой спелости (рис. 4е). Такую динамику можно объяснить тем, что в это время идет интенсивное накопление крахмала (налив зерна), и это приводит к снижению процентного содержания белка. Из рисунка 2 следует, что абсолютное содержание белка являлось минимальным в фазу молочной спелости и возрастало до указанных фаз, а затем выходило на плато и несколько снижалось ввиду энзимо-микозного истощения зерна. При созревании относительное содержание белка снова возрастало, что может также говорить о потерях крахмала – истощении зерна. У пшеницы Московская 39 и тритикале Валентин этот процесс начинается уже в фазу восковой спелости, у остальных сортов тритикале – в фазу твердой спелости. У сорта Валентин в связи с наиболее интенсивным стеканием зерна, выраженным потерей как запасных углеводов, так и белков, относительное содержание белка в фазу конца восковой – твердой спелости снова несколько снижалось (рис. 4г).

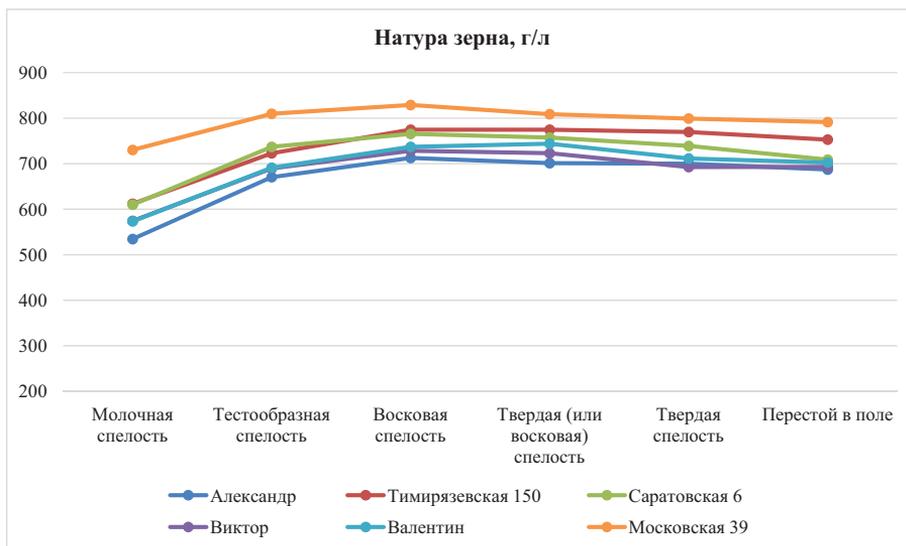


Рис. 3. Натурная масса зерна, среднее за 2018–2019 гг.

Изменение содержания белка и клейковины в 2017–2019 гг.

Двухфакторный дисперсионный анализ обнаружил значительное влияние года проведения исследований: пшеница Московская 39, рожь Саратовская 6 и тритикале Виктор характеризовались значительно большим содержанием белка и клейковины в 2018 и 2019 гг., остальные сорта тритикале – в 2017 и 2019 гг. Следует отметить, что при проведении множественных сравнений по критерию Дункана в фазу твердой спелости (с) наблюдалось самое высокое содержание белка после фазы молочной спелости (d) у тритикале и пшеницы, тестообразной спелости – у ржи (рис. 4).

Изменение автолитической активности зерна в 2017–2019 гг.

Низкая вязкость и соответственно низкое число падения характерны для образцов с повышенной активностью амилаз и других гидролитических ферментов, у высококачественного зерна – высокая вязкость и высокое число падения.

Двухфакторный дисперсионный анализ показал, что число падения было значительно выше в 2017 г. у всех изученных сортов. В 2017 г. во время формирования зерна наблюдались неблагоприятные погодные условия: низкая температура и обильные осадки в период формирования зерна, а затем – засуха в период созревания зерна. Такие условия способствуют формированию зерна с более глубоким покоем, что обеспечивается, в частности, активностью амилолитических, протеолитических и других ферментов [1].

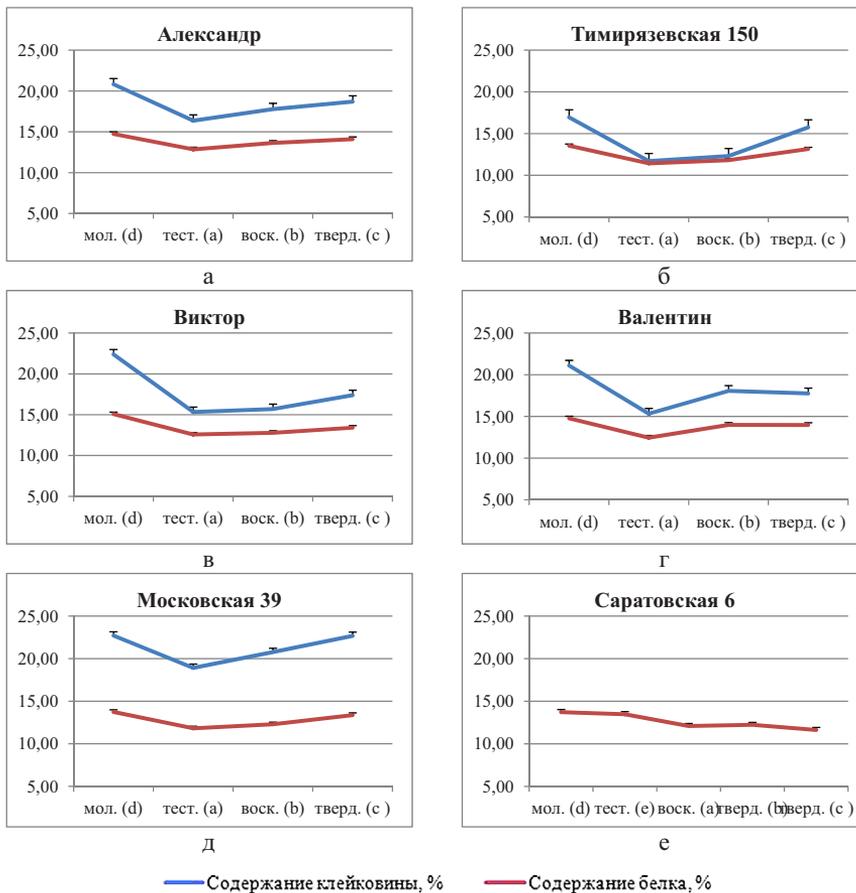


Рис. 4. Содержание белка и клейковины в разные фазы созревания зерна (среднее за 2017–2019 гг.): разные буквы в скобках – варианты, различающиеся значимо по критерию Дункана

В среднем за три года исследований наибольшим числом падения характеризовалась фаза конца молочной – тестообразной спелости у тритикале и тестообразной спелости – у изученных сортов пшеницы и ржи. При созревании активность ферментов несколько повышается, а перестой в поле приводит к значительному ухудшению технологических качеств зерна. Из изученных сортов тритикале самым высоким числом падения обладали сорта Тимирязевская 150 и Александр. Они также являются устойчивыми к предуборочному прорастанию зерна в колосе. Сорт Валентин, имевший самое низкое из всех число падения, – один из самых неустойчивых к предуборочному прорастанию зерна в колосе сортов. Пшеница Московская 39, имевшая самую низкую автолитическую активность зерна, практически не прорастает на корню.

Число падения (с) в разные фазы созревания зерна (среднее за 2017–2019 гг.)

Сорт	Год	Фаза созревания			
		Молочная спелость (а*)	Тестообразная спелость (b)	Восковая спелость (а)	Твердая спелость (а)
Александр					
	2017	146	337,5	134,5	130,5
	2018	46	46,5	60	47
	2019	47	47	49,5	47
Тимирязевская 150		Молочная спелость (с)	Тестообразная спелость (с)	Восковая спелость (b)	Твердая спелость (а)
	2017	246,5	338	255,5	180
	2018	110	78,5	73,5	55
	2019	217,5	129	74,5	54
Виктор		Молочная спелость (b)	Тестообразная спелость (d)	Восковая спелость (с)	Твердая спелость (а)
	2017	51,5	150	133,5	52,5
	2018	65,5	78,5	54	47,5
	2019	120	118	94,5	47
Валентин		Молочная спелость (b)	Тестообразная спелость (с)	Восковая спелость (а)	Твердая спелость (а)
	2017	47	150	46	46
	2018	50,5	46	46,5	45
	2019	57,5	47	49	46
Московская 39		Молочная спелость (а)	Тестообразная спелость (b)	Восковая спелость (а)	Твердая спелость (а)
	2017	474	690	415	352
	2018	201,5	212	188,5	185,5
	2019	236	259	212	282
Саратовская 6		Молочная спелость (b)	Тестообразная спелость (d)	Восковая спелость (с)	Твердая спелость (а)
	2017	139	315,5	373,5	122
	2018	108,5	118	74,5	54,5
	2019	261	249	142	56

* Разными буквами в скобках обозначены варианты, различающиеся значимо по критерию Дункана.

Выводы

1. В процессе созревания зерна у изученных сортов озимой тритикале происходил рост массы зерновки до фазы твердой спелости так же, как у ржи Саратовская 6, в то время как у пшеницы Московская 39 – до фазы восковой спелости. Стекловидность и натура зерна возрастают вплоть до фазы восковой спелости у большинства изученных сортов тритикале, а также у пшеницы Московская 39.

2. Накопление белка продолжается до восковой спелости у тритикале сорта Александр и у пшеницы. При перестое в поле содержание белка у пшеницы Московская 39 и изученных сортов тритикале может снизиться до 21% от максимального содержания. В сложившихся метеорологических условиях 2018 г. у всех культур сформировались низкие технологические качества зерна, в 2019 г. они были выше, а в 2017 г. было получено зерно с самой низкой автолитической активностью.

3. Задержка периода уборки приводит к резкому снижению стекловидности, натуры зерна и массы зерновки. Сильнее всего стекание зерна выявлено у неустойчивого к предуборочному прорастанию сорта тритикале Валентин (до 16%), а также у Тимирязевской 150 (до 13%), в меньшей степени ему были подвержены пшеница Московская 39 (до 9%) и тритикале Виктор (до 8%), Александр (до 7%) и рожь Саратовская 6, когда стекания не наблюдалось. Происхождение сорта не всегда свидетельствует о его устойчивости к стеканию зерна.

4. Уборку тритикале в условиях ЦРНЗ следует проводить в фазу твердой спелости, при максимальной массе зерновки и абсолютном содержании белка; желательно не допускать перестоя.

Библиографический список

1. *Баженов М.С.* Влияние факторов окружающей среды на покой семян и прорастание зерна в колосе озимой тритикале / М.С. Баженов, В.В. Пыльнев, И.Г. Тараканов // Известия ТСХА. – 2011. – Вып. 6. – С. 30–38.

2. Динамика накопления сухого вещества и изменение химического состава зерна при созревании / Д.В. Сандрыкин, Е.П. Кондратенко, Е.А. Егушова, Л.Г. Пинчук // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 12. – С. 32–33.

3. *Елисеев С.Л.* Формирование зерна озимых культур в Предуралье / С.Л. Елисеев, И.В. Батуева // Продовольственная индустрия: безопасность и интеграция: Материалы Международной научно-практической конференции. – Пермь, 2014. – С. 81–87.

4. *Елисеев С.Л.* Формирование и истекание зерна яровых зерновых культур в Предуралье / С.Л. Елисеев, Н.Н. Яркова // Доклады РАСХН. – 2012. – № 4. – С. 6–7.

5. *Копылов Е.А.* Проблема «стекания» зерна и селекция озимой мягкой пшеницы / Е.А. Копылов // Пшеница и тритикале: Материалы научно-практической конференции «Зеленая революция П.П. Лукьяненко». – Краснодар, 2001. – С. 604–606.

6. *Кулешов Н.Н.* Агрономическое семеноведение / Н.Н. Кулешов. – Москва: Сельхозиздат, 1963. – 304 с.

7. Оценка эффективности отборов по продолжительности покоя семян тритикале озимой / Ю.Н. Котенко, В.С. Рубец, В.А. Коробкова, А.И. Юркина, В.В. Пыльнев // Бюллетень ГНБС. – 2019. – Вып. 132. – С. 108–114.

8. Пакет статистического и биометрико-генетического анализа в растениеводстве и селекции AGROS, версия 2.08. – Тверь, 1993–1999.

9. *Рубец В.С.* Покой и предуборочное прорастание зерна в колосе озимой гексаплоидной тритикале / В.С. Рубец, В.В. Пыльнев, Л.В. Кондрашина // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 11. – С. 14–16.

10. Селекция полевых культур на качество: Учебное пособие / Л.И. Долгодворова, В.В. Пыльнев, О.А. Буко и др. – СПб.: Изд-во «Лань», 2018. – 256 с.
11. *Темирбекова С.К.* О проблеме энзимо-микозного истощения («истекания» зерна) в растениеводстве / С.К. Темирбекова. – М., 1998. – 306 с.
12. *Тюнин В.А.* Селекционный аспект этиологии энзимомикозного истощения зерна яровой мягкой пшеницы / В.А. Тюнин, Р.А. Вражнова // Сельскохозяйственная биология. – 1994. – № 3. – С. 48–51.
13. Частная селекция полевых культур: Учебник / В.В. Пыльнев, Ю.Б. Коновалов, Т.И. Хупацария и др.; Под ред. В.В. Пыльнева. – СПб.: Изд-во «Лань», 2016. – 544 с.
14. *Arseniuk E.* Triticale abiotic stresses – An overview / E. Arseniuk // Triticale. – Springer, Cham, 2015. – P. 69–81.
15. Enzymatic activity in the resistance stress of winter wheat from different sources in the Non-black land of the center of Russian Federation / S.K. Temirbekova, A.V. Ovsyankina, N.E. Ionova *et al.* // Plant Archives. – 2019. – Т. 19. – № 1. – P. 1653–1658.
16. Enzymic mycosis exhaustion of grain as one of the reasons for decreasing the seed quality of the triticale of winter in the zone of the western forest-steppe of Ukraine / O. Voloshchuk, I. Voloshchuk, V. Hlyva and O. Kovalchuk // Balanced Nature Using. – 2018. – Т. 7. – № 1. – P. 55–61.

DYNAMICS OF PHYSICAL AND BIOCHEMICAL CHARACTERISTICS
IN THE DEVELOPMENT OF WINTER TRITICALE GRAIN IN THE CENTRAL
NON-CHERNOZEM REGION (×*TRITICOSECALE* WITTM.)

YU.N. KOTENKO, A.I. YURKINA, V.S. RUBETS, V.V. PYLNEV, M.G. KANAAN

(Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

*The research was carried out in Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy in 2017–2019. The research was aimed at comparing the formation dynamics of physical, biochemical, and technological characteristics of winter triticale (×*Triticosecale* Wittm.) grain as compared with wheat (*Triticum aestivum* L.), and rye (*Secale cereale* L.). Sampling was carried out at the milky, soft dough, middle dough and hard dough maturation stages, as well as after over-maturation in the field. The growing season of 2017 was cold and rainy, while that of 2018 was rather typical for the Moscow region; in 2019, the hot dry weather changed to the cool one with prolonged rains. In all years, it was raining over the whole grain maturation period. This provided for the evaluation of changes in the studied parameters after overmaturation in the field. Under these conditions, during grain filling and maturation, the mass of 1000 grains gradually increased, and then decreased a little bit due to enzyme-mycosis exhaustion. The grain-unit roughly followed the dynamics of change in the mass of 1000 grains. The highest values of protein and gluten content were obtained at the milky stage, after that their relative content decreased to soft dough ripeness due to the complete accumulation of starch. Afterward, the protein content increased again. This indicates that the processes of enzyme-mycosis exhaustion of grain were going on. It is noteworthy that the lowest activity of enzymes was also observed in hard dough ripeness in all the studied varieties. With further maturation, the autolytic activity increased and reached its maximum at the hard dough (final) maturation stage. Thus, the studied indicators of grain quality reach their maximum values in the middle dough stage, and the delay in harvesting will lead to strong deterioration in the technological properties of grain.*

Key words: *triticale, grain formation, grain development stages, physical properties of grain, protein, falling number, enzyme-mycosis exhaustion*

References

1. *Bazhenov M.S.* Vliyaniye faktorov okruzhayushchey sredy na pokoy semyan i prorastaniye zerna v kolose ozimoy triticales [Influence of environmental factors on seed dormancy and grain germination in winter triticales ears] / M.S. Bazhenov, V.V. Pyl'nev, I.G. Tarakanov // *Izvestiya TSKHA*. 2011; 6: 30–38. (In Rus.)
2. Dinamika nakopleniya sukhogo veshchestva i izmeneniye khimicheskogo sostava zerna pri sozrevanii [Dynamics of accumulation of dry matter and changes in the chemical composition of grain during ripening] / D.V. Sandrykin Ye.P. Kondratenko, Ye.A. Yegushova, L.G. Pinchuk // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2011; 12: 32–33. (In Rus.)
3. *Yeliseyev S.L.* Formirovaniye zerna ozimykh kul'tur v Predural'ye [Formation of winter crop grain in the Cis-Ural region] / S.L. Yeliseyev, I.V. Batuyeva // *Prodoval'stvennaya industriya: bezopasnost' i integratsiya: mater. mezhd. nauchno-prakt. konf.* – Perm', 2014: 81–87. (In Rus.)
4. *Yeliseyev S.L.* Formirovaniye i istekaniye zerna yarovykh zernovykh kul'tur v Predural'ye [Grain formation and its susceptibility to downy mildew in spring grain crops in the Cis-Ural region] / S.L. Yeliseyev, N.N. Yarkova // *Doklady RASKHN*. 2012; 4: 6–7. (In Rus.)
5. *Kopylov Ye.A.* Problema “stekaniya” zerna i selektsiya ozimoy myagkoy pshenitsy [Problem of grain “runoff” and selection of winter soft wheat] / Ye.A. Kopylov // In “Pshenitsa i tritikale: materialy nauchno-prakt. konf. “Zelenaya revolyutsiya P.P. Luk'yanenko””. – Krasnodar, 2001: 604–606. (In Rus.)
6. *Kuleshov N.N.* Agronomicheskoye semenovedeniye [Agronomic seed science] / N.N. Kuleshov. – Moskva: Sel'khozizdat, 1963: 304. (In Rus.)
7. Otsenka effektivnosti otborov po prodolzhitel'nosti pokoya semyan tritikale ozimoy [Evaluation of the selection efficiency by the dormancy duration of winter triticales seeds] / Yu.N. Kotenko, V.S. Rubets, V.A. Korobkova, A.I. Yurkina, V.V. Pyl'nev // *Byulleten' GNBS*. 2019; 132: 108–114. (In Rus.)
8. Paket statisticheskogo i biometriko-geneticheskogo analiza v rasteniyevodstve i selektsii AGROS, versiya 2.08 [Statistical and biometric-genetic analysis kit AGROS, version 2.08 used in crop production and breeding]. Tver', 1993–1999. (In Rus.)
9. *Rubets V.S.* Pokoy i preduborochnoye prorastaniye zerna v kolose ozimoy geksaploidnoy triticales [Dormancy and pre-harvest germination of grain in winter hexaploid triticales ears] / V.S. Rubets, V.V. Pyl'nev, L.V. Kondrashina // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2012; 11: 14–16. (In Rus.)
10. Seleksiya polevykh kul'tur na kachestvo: Uchebnoye posobiye [Selection of field crops for quality: Study manual] / Dolgodvorova L.I., Pyl'nev V.V., Buko O.A. et al. – SPb.: Izd-vo “Lan”, 2018: 256. (In Rus.)
11. *Temirbekova S.K.* O probleme enzimo-mikoznogo istoshcheniya (“istekanii” zerna) v rasteniyevodstve [On the problem of enzyme-mycotic depletion (grain “run off”) in plant growing] / S.K. Temirbekova. – Moskva, 1998: 306. (In Rus.)
12. *Tyunin V.A.* Seleksionniy aspekt etiologii enzimomikoznogo istoshcheniya zerna yarovoy myagkoy pshenitsy [Breeding aspect of the etiology of enzymomycotic depletion of spring bread wheat] / V.A. Tyunin, R.A. Vrazhnova // *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*. 1994; 3: 48–51. (In Rus.)
13. Chastnaya selektsiya polevykh kul'tur: Uchebnyk [Specific selection of field crops: Study manual] / V.V. Pyl'nev Yu.B. Konovalov, T.I. Khupatsariya et al.; Ed. by V.V. Pyl'nev. – SPb.: Izd-vo “Lan”, 2016: 544. (In Rus.)
14. *Arseniuk E.* Triticale abiotic stresses. An overview / E. Arseniuk // *Triticale*. – Springer, Cham, 2015: 69–81.

15. Enzymatic activity in the resistance stress of winter wheat from different sources in the Non-black land of the center of Russian Federation / Temirbekova S.K., Ovsiyanikina A.V., Ionova N.E. *et al.* // Plant Archives. – 2019; 19; 1: 1653–1658.

16. Enzymic mycosis exhaustion of grain as one of the reasons for decreasing the seed quality of the triticale of winter in the zone of the western forest-steppe of Ukraine / Voloshchuk O., Voloshchuk I., Hlyva V., and Kovalchuk O. // Balanced Nature Using. 2018; 7; 1: 55–61.

Котенко Юлия Николаевна, аспирант, ассистент, кафедра генетики, селекции и семеноводства, РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; e-mail: rysenok563842@gmail.com; тел.: (903) 621-18-73).

Юркина Анна Игоревна, студент магистратуры, инженер, кафедра генетики, селекции и семеноводства, РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; e-mail: aaaaaa3197@gmail.com; тел.: (965) 433-07-51).

Рубец Валентина Сергеевна, профессор, доктор биологических наук, доцент, кафедра генетики, селекции и семеноводства, РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; e-mail: selection@rgau-msha.ru; тел.: (903) 128-12-97).

Пыльнев Владимир Валентинович, заведующий кафедрой, доктор биологических наук, профессор, кафедра генетики, селекции и семеноводства, РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; e-mail: PYL8@yandex.ru; тел.: (915) 093-07-85).

Канаан Марк Джорджевич, студент бакалавриата, факультет агрономии и биотехнологии, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; e-mail: marcgKanaan@hotmail.com; тел.: (962) 167-99-16).

Yuliya N. Kotenko, postgraduate student, Assistant Professor, the Department of Genetics, Plant Breeding and Seed Production, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 127550, Russia, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49; e-mail: rysenok563842@gmail.com, phone: (903) 621-18-73.

Anna I. Yurkina, master student, the Department of Genetics, Plant Breeding and Seed Production, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 127550, Russia, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49; e-mail: aaaaaa3197@gmail.com, phone: (965) 433-07-51.

Valentina S. Rubets, Professor, DSc (Bio), Associate Professor, the Department of Genetics, Plant Breeding and Seed Production, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 127550, Russia, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49; e-mail: selection@rgau-msha.ru, phone: (903) 128-12-97.

Vladimir V. Pylnev, Head of the Department, DSc (Bio), Professor, the Department of Genetics, Plant Breeding and Seed Production, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 127550, Russia, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49; e-mail: PYL8@yandex.ru, phone: (915) 093-07-85.

Mark Dzh. Kanaan, bachelor student, the Faculty of Agronomy and Biotechnology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 127550, Russia, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49; e-mail: marcgKanaan@hotmail.com, phone: (962) 167-99-16.