

АДАПТАЦИЯ МЕТОДА АНАЛИТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ СОДЕРЖАНИЯ α -АМИЛАЗЫ В ЗЕРНЕ ТРИТИКАЛЕ

© 2023 г. Е. К. Барнашова¹, А. Н. Покидышев², О. В. Слюзова², Ю. С. Гардина²,
С. В. Жилин¹, К. А. Тараскин^{2,*}

¹Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока
410010 Саратов, ул. Тулайкова, 7, Россия

²Научно-исследовательский институт прикладной акустики
141981 Дубна Московская обл., ул. 9 Мая, 7а, Россия

*E-mail: kant1958@yandex.ru

Поступила в редакцию 06.03.2023 г.

После доработки 08.04.2023 г.

Принята к публикации 14.06.2023 г.

Зерновая культура тритикале – перспективная для культивации в различных регионах средней полосы России. Стабильная урожайность, высокая устойчивость к неблагоприятным условиям, позволяют рассматривать это злаковое растение в качестве надежного источника получения пищевой продукции. Целью настоящего исследования было количественное определение содержания активной α -амилазы в зерне тритикале для обеспечения прогноза проведения агротехнических мероприятий. Анализ количественного содержания α -амилазы осуществлялся на лабораторном спектрофлуориметре с использованием стандартных биотестов, проведенных на основе набора реагентов для определения активности α -амилазы в сыворотке крови и моче; фактор пересчета для вычисления активности фермента рассчитывали с использованием мультипараметрического калибратора биохимических анализаторов. Для адаптации методики определения α -амилазы в реальных образцах растительного сырья была использована мука озимых сортов тритикале, выращенных в полевых условиях. По результатам измерения активности α -амилазы в зерне тритикале проведена сравнительная оценка содержания фермента в муке зерновой культуры урожаев 2020 и 2021 гг.; показана зависимость предуборочного прорастания семян от содержания α -амилазы в зерне различных сортов, линий и гибридов. На основании полученных данных по содержанию α -амилазы в зерне тритикале проведена сравнительная оценка характеристики предуборочного прорастания семян. Показатель количественного содержания α -амилазы может быть рекомендован для использования в диагностике предуборочного прорастания зерна, а также в селекционной работе при создании новых сортов зерновых культур.

Ключевые слова: α -амилаза, методика анализа, тритикале, посевной материал.

DOI: 10.31857/S000218812309003X, EDN: VBENZP

ВВЕДЕНИЕ

Тритикале – перспективная злаковая культура, созданная при скрещивании пшеницы и ржи, считающаяся в настоящее время самостоятельным ботаническим родом – *Triticosecale* Wittmack ex A. Samus. Продукты переработки зерна тритикале используют для выпуска хлебопекарных [1] и крупяных изделий [2], а также в качестве кормовой продукции для животных [3]. Вторичная переработка растительного сырья тритикале методом биоконверсии [4] позволяет получать крахмал. Мука тритикале по ряду показателей пищевой ценности превосходит продукты помола других злаковых культур. Данные содержания отдельных компонентов и калорийности муки наиболее зна-

чимых зерновых растений представлены в табл. 1. Показано, что тритикале по всем показателям, определяющим пищевую ценность муки, превосходит или находится на сравнимом уровне по отношению к другим злаковым культурам.

Стабильно высокая урожайность ряда сортов тритикале, их устойчивость к неблагоприятным климатическим условиям, а также значительное содержание полезных компонентов в составе зерна [5, 6] способствуют повсеместному распространению посевов этой культуры, общая площадь которых в мире составляет более 4 млн га; ежегодное производство зерна составляет ≈ 14 млн т. Более широкому использованию тритикале может способствовать работа по совершенствованию агро-

Таблица 1. Показатели калорийности и содержание основных компонентов, определяющих питательную ценность муки злаковых культур

Наименование зерновой культуры	Содержание компонентов, % масс.			Калорийность, ккал/100 г
	белки	жиры	углеводы	
Пшеница	10.3	1.1	68.9	334
Рожь	6.9	1.4	76.7	353
Тритикале	13.2	2.7	54.5	293
Овес	13.0	6.8	64.9	369
Ячмень	10.0	1.6	56.1	284

технических приемов выращивания, изучению свойств и методов эффективной переработки получаемого растительного сырья, тщательному исследованию состава муки тритикале [7], а также возможность прогнозной оценки свойств и характеристик отдельных сортов [8–10] в зависимости от содержания компонентов в посевном материале [11].

Активную работу по изучению и внедрению тритикале проводят на базе Саратовского ФАНЦ Юго-Востока. В последние годы были проанализированы и установлены основные генетические характеристики этой злаковой культуры [12], проведена обширная селекционная работа, выведены перспективные сорта [13]. Кроме того, проведена значительная работа по освоению методик установления качественных и количественных характеристик растительного сырья, осуществлены исследования по изучению компонентного состава продуктов, полученных при переработке растительного сырья, проведена сравнительная оценка различных методов анализа для определе-

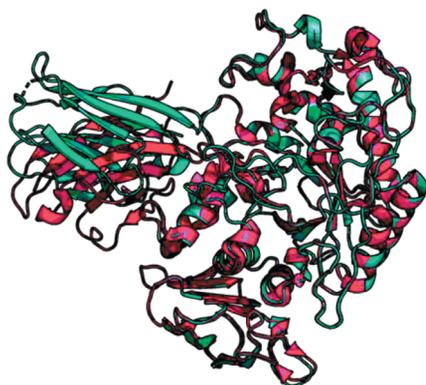
ния содержания запасных белков в зерне тритикале [14].

Настоящее исследование посвящено отработке методики количественного определения α -амилазы в составе зерна тритикале, а также изучению тенденции влияния этого фермента на некоторые свойства различных сортов, линий и гибридов тритикале. Полученные результаты могут быть использованы при установлении свойств, характерных для отдельных сортов тритикале, а также для диагностики подверженности зерна к преждевременной прорастаемости в предуборочный период, а также диагностики межсезонной сохранности семенного материала.

Цель работы – адаптация метода количественного определения содержания активной α -амилазы в зерне тритикале для обеспечения прогноза проведения агротехнических мероприятий.

Обоснование направления исследований. α -Амилаза – фермент, входящий в состав биологических объектов как растительного, так и животного происхождения. Имеет сложное структурное строение (рис. 1). Наиболее значимой функцией α -амилазы является активация расщепления сложных углеводов (крахмала, гликогена, полисахаридов) до простых моносахаридов. В семенном материале растений данная функция является одним из механизмов, задействованных для получения питательных веществ, используемых зародышем при активации начальных стадий развития [15].

В зерновках злаковых культур амилаза является ферментом инициации процесса предпосевного прорастания [16], которое происходит при поглощении посевным материалом достаточного количества воды и при благоприятном тепловом режиме. Способность зерна удерживать влагу является сортовой особенностью, которая зависит от ряда факторов, основными из которых явля-

**Рис. 1.** Структура молекулы α -амилазы.

ются проницаемость семенной оболочки, способность белков и крахмала связывать воду. Этими причинами может объясняться различная скорость активации гидролитических ферментов у отдельных сортов зерновых культур в условиях повышенной влажности.

Вместе с тем необходимо отметить, что длительное воздействие на семена повышенной влажности и температуры, приводящее к ускоренной активации амилаз и способствующее прорастанию зерна, возможно не только в предпосевной период, а практически на любой стадии хранения семенного материала, а также в предуборочный период в процессе созревания зерна в условиях повышенной влажности и теплых погодных условий. Увеличение содержания воды в процессе созревания зерна в предуборочный период, происходящее под воздействием влажного климата, индуцирует накопление α -амилазы, и зерно прорастает в колосе на корню, в валках или во влажном ворохе. Эта особая форма энзимного истощения, происходящего при гидролизе амилазой крахмальных гранул и крахмального клейстера, наблюдается у растений пшеницы, ржи и тритикале. Фермент амилаза оказывает определенное влияние на биохимические процессы, происходящие при проведении операций переработки муки [17, 18]. Существенное значение при этом имеет количественное содержание амилазы, в особенности, ее α -формы. В тесте должно содержаться некоторое количество α -амилазы для расщепления крахмала в виде амилопектина, однако при избытке этого фермента крахмал может полностью раствориться. Избыточный гидролиз крахмала после его клейстеризации, вызванной высокой активностью α -амилазы, приводит к резкому ухудшению качества хлеба. Исходя из этого, представляется актуальной задача освоения надежной аналитической методики, позволяющей производить оценку количественного содержания α -амилазы в зерне на любой стадии проведения агротехнических мероприятий, хранения и переработки растительного сырья.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Почвенный покров опытного участка представлен темно-каштановыми почвами. Почва среднегумусированная (2.6–3.5%), характеризуется низким содержанием нитратного азота (5–8 мг/кг), высоким содержанием подвижного калия (301–400 мг/кг), очень высоким содержанием подвижного фосфора (>60 мг/кг), а также имеет нейтральную реакцию почвенного раствора – 6.1–6.5 ед. (данные ФАНЦ Юго-Востока). Содержание ор-

ганического вещества в почве определяли по методу Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91), подвижных соединений К и Р – по Мачигину в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26205-91), нитратного азота – ионометрическим методом (ГОСТ 26951-86); реакцию почвенного раствора определяли потенциометрическим методом в водной суспензии (ГОСТ 26423-85).

Оценку активности фермента проводили с использованием набора реагентов для определения активности α -амилазы в сыворотке крови и моче кинетическим методом “ α -амилаза ольвекс” (кат. № 011.002, ООО “Ольвекс диагностикум”, Россия). Фактор пересчета для вычисления активности фермента рассчитывали с использованием мультипараметрического калибратора для калибровки биохимических анализаторов “Мультикалибратор ольвекс” (кат. № 043.001, ООО “Ольвекс диагностикум”, Россия). Контроль качества набора реагентов и процедуры выполнения анализа осуществляли с помощью контрольной сыворотки для биохимических исследований “Контрольная сыворотка-ольвекс” (кат. № 042.001, ООО “Ольвекс диагностикум”, Россия).

Принцип метода: под действием фермента α -амилазы синтетический субстрат 4,6-этилиден(G7)-*p*-нитрофенил-(G1)- α ,D-мальтогептозид (EPS) гидролизуетсся с образованием нитрофенилмальтозидов, которые подвергаются дальнейшему расщеплению α -глюкозидазой до глюкозы и окрашенного продукта реакции – *para*-нитрофенола (*p-NP*). Скорость нарастания концентрации *p-NP* в ходе 2-й реакции оценивали по увеличению оптической плотности реакционной среды при длине волны 405 нм; этот показатель пропорционален активности α -амилазы. В ходе проведения анализа реагенты готовили согласно инструкциям производителя.

Стандартизированная процедура отбора проб зерна одного сорта, гибрида или линии тритикале включала забор материала из 3-х отдельных точек в одном контейнере хранения. Зерно, отобранное в составе проб для проведения анализа, обрабатывали с использованием стандартных методов [19, 20]. Выполнение основных технологических операций при подготовке зерна к помолу на основании рекомендаций [21] проводили в соответствии с параметрами и режимами очистки зерна пшеницы. Помол зерна тритикале производили с использованием лабораторной мельницы ИКА, модель A10 basis (производство Германия). Муку хранили в герметичной таре при температуре $4 \pm 2^\circ\text{C}$. Для оценки гранулометрического состава размолта муки тритикале было проведено рассеивание полученного материала с использо-

ванием стандартного набора (комплекта) лабораторных сит для муки по ГОСТ 27560-87.

Методика экстракции фермента α -амилазы. Исследования проводили на базе стандартной аналитической лаборатории с использованием аттестованного оборудования, стандартных материалов и реактивов. Точную навеску (0.187 г) муки тритикале помещали в полипропиленовую пробирку для гомогенизации, содержащую 0.9 мл 50 мМ натрий-ацетатного буфера (рН 6.5) и 0.5 г циркониевых шариков диаметром 1.4 мм. Обработку материала проводили в гомогенизаторе Precellys Evolution (Bertin technologies, Франция) при температуре $4 \pm 2^\circ\text{C}$, трехкратно в течение 15 с, с паузами по 30 с для охлаждения материала. Дальнейшую экстракцию фермента проводили в течение 4 ч при температуре $4 \pm 2^\circ\text{C}$ и постоянном перемешивании с использованием ротационного перемешивателя марки BioSan Multi bio RS-24 (BioSan, производство Латвии). После завершения экстракции образцы переносили в полипропиленовые пробирки объемом 2.0 мл и центрифугировали при достижении показателя 1600 г в течение 15 мин при температуре $22 \pm 2^\circ\text{C}$. Полученные супернатанты переносили в полипропиленовые пробирки объемом 1.5 мл и в течение не более 1 ч использовали для оценки активности α -амилазы.

Определение активности α -амилазы. Оценку активности фермента α -амилазы в полученных экстрактах муки тритикале проводили в 96-луночных плоскодонных микропланшетах с использованием спектрофлуориметра Tecan Infinite 200 M Plex Pro (Tecan, производство Швейцария). Для проведения анализа из компонентов комплекта реагентов готовили рабочий раствор в соответствии с инструкцией изготовителя набора. В лунки 96-луночного полистиролового микропланшета вносили по 300 мкл рабочего раствора и 12 мкл исследуемого образца или контрольного материала (калибратор, контрольная сыворотка). Перед началом работ рабочий раствор и микропланшет прогревали до температуры 37°C . После внесения компонентов микропланшет помещали в термостатируемый (37°C) отсек спектрофлуориметра и через 2 мин инкубирования начинали измерение оптической плотности реакционной смеси при длине волны 405 нм. Измерения повторяли с интервалом 1 мин в течение 4 мин. Расчет содержания α -амилазы в зерне производили по формуле (1):

$$A \text{ (Ед/кг)} = 5.8 \times F \times \Delta E / \text{мин}, \quad (1)$$

где: F – фактор пересчета, рассчитанный по мультикалибратору,

$\Delta E / \text{мин}$ – средняя величина изменения оптической плотности реакционной смеси за 1 мин.

Измерения проводили на 3-х образцах каждого вида муки. Каждый из образцов анализировали в 3-х параллельных измерениях. В качестве итогового результата представляли расчетную величину медианы, полученную при обработке данных 3-х параллельных измерений.

Для адаптации методики по определению α -амилазы в сырье растительного происхождения была использована мука различных озимых линий, сортов и гибридов тритикале, выращенных в полевых условиях на опытных участках научно-исследовательского института сельского хозяйства Юго-Востока (г. Саратов).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В процессе культивации культуры тритикале в течение ряда лет было установлено, что различные сорта, линии или гибриды этой злаковой культуры в разной степени подвержены явлению предуборочного прорастания зерна, происходящему в колосе на корню, в валках или во влажном ворохе. Кроме того, было установлено, что этот фактор проявлялся в разной степени активности в различные годы и, как правило, зависел от климатических явлений, увеличивающих влажность окружающей среды (дожди, туманы, росы и др.). Вместе с тем отмечена высокая устойчивость ряда сортов, линий или гибридов тритикале, практически не подверженных влиянию нежелательных воздействий и проявляющих высокую устойчивость к прорастанию зерна в полевых условиях в предуборочный период. Нежелательный эффект несвоевременного прорастания зерна влечет за собой ряд сложностей, требующих проведения дополнительных мероприятий по повышению эффективности сушки, сортировки и выбраковки материала неудовлетворительного качества, созданию особых условий в период межсезонного хранения. Кроме того, при активном воздействии неблагоприятных сезонных факторов в некоторые годы происходят значительные потери урожая зерна. Комплекс перечисленных обстоятельств приводит к необходимости поиска и устранения причин, определяющих создавшееся положение.

По всей видимости, наиболее эффективным методом решения проблемы предуборочного прорастания зерновой культуры тритикале может являться выбор или создание сортов, линий или гибридов, наиболее устойчивых к влиянию этого фактора. В то же время слепой выбор из известных в настоящее время разновидностей культур,

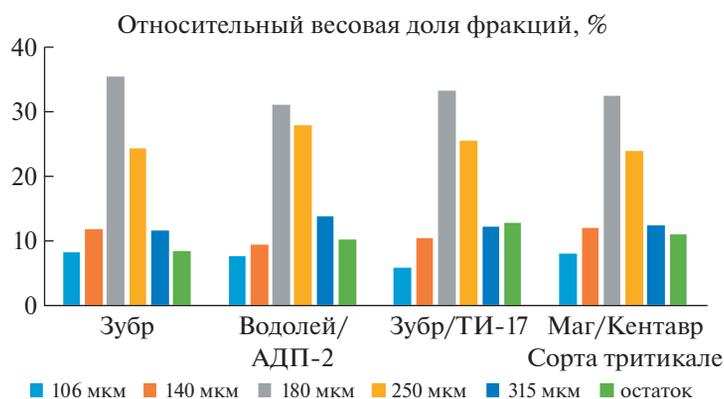


Рис. 2. Гранулометрический состав муки тритикале после просеивания.

как правило, не приводит к получению устойчивого, надежного, научно обоснованного результата. Поэтому, на наш взгляд, необходимо установить надежный критерий, определяющий или обозначающий причину исследуемого явления. В связи с этим была предложена гипотеза о наличии определенной закономерности между характеристикой устойчивости культуры к предуборочному прорастанию и активностью фермента α -амилазы, содержащейся в зерне. Настоящее предположение обосновано в соответствии с известным свойством этого вещества активировать ростовые процессы в семенном материале [22] в предпосевной период, а также в условиях хранения, при действии неблагоприятных факторов (повышенные влажность и температура).

Предложенную гипотезу проверяли на основании сравнительной оценки данных содержания α -амилазы в семенном материале тритикале и результатов оценки устойчивости различных сортов, линий и гибридов этой зерновой культуры, полученных при проведении многолетних экспериментальных исследований на опытных участках в полевых условиях. По результатам анализа данных была проведена сравнительная оценка количественного содержания фермента α -амилазы в муке зерновой культуры тритикале урожая 2020 и 2021 гг. Для опытов использовали не проросшие зерна тритикале, отобранные из состава семенного фонда, находящиеся в состоянии покоя в период межсезонного хранения семенного материала. Для обеспечения полной экстракции фермента из состава семенного материала зерно подвергали помолу и затем полученный продукт (муку) использовали для анализа в соответствии с предлагаемой методикой определения α -амилазы в сыворотке крови и моче кинетическим методом, адаптированным применительно к сырью растительного происхождения.

Помол и просеивание муки производили в одинаковых условиях для всех испытанных образцов с соблюдением стандартных процедур в лабораторных условиях. Полученные результаты размолы для муки тритикале сорта Зубр и 3-х гибридов тритикале представлены на гистограмме (рис. 2).

В связи с отсутствием тест-систем для определения α -амилазы в объектах на основе растительного сырья была проведена оценка возможности применения стандартных тест-систем, используемых для определения активности α -амилазы в сыворотке крови и моче кинетическим методом. Для реализации методики при решении задачи настоящего исследования была применена стандартная процедура организации анализа, использованная при тестировании биологических объектов в медицинской практике.

Каждая из проб муки тритикале проходила процедуру подготовки, и затем ее анализировали путем проведения 3-х параллельных измерений количественного содержания α -амилазы. Обработку экспериментальных результатов производили с использованием стандартных методов математической статистики, вычисление медианы было проведено с привлечением программы Excel 15.0. Пример полученных экспериментальных данных и результаты вычислений для тритикале сорта Зубр и линии тритикале Водолей/АДП-2//Colina представлены в табл. 2.

Для получения массива экспериментальных данных по результатам анализа количественного содержания α -амилазы в муке тритикале были привлечены сорта, гибриды и линии культуры, возделываемые в режиме озимого выращивания. Отбор проб производили в местах межсезонного хранения зерна (посевого материала). Полученные результаты анализа муки на содержание α -

Таблица 2. Данные анализа количественного содержания α -амилазы в муке и величины показателей проведенных расчетов для образцов муки тритикале сортов Зубр, Водолей/АДП-2//Colina и линии тритикале Водолей/АДП-2//Colina (урожай 2021 г.)

Сорт, линия, (год урожая)	Образец	Повторность	Активность α -амилазы			
			ед./л	ед./кг		
				в пробе	медиана в серии	медиана в группе
Зубр (2021 г.)	1/1	1/1/1	50	290	250	271
		1/1/2	43	250		
		1/1/3	33	189		
	1/2	1/2/1	48	281	305	
		1/2/2	53	305		
		1/2/3	55	321		
	1/3	1/3/1	45	264	264	
		1/3/2	80	465		
		1/3/3	34	198		
Водолей/АДП-2// Colina (2021 г.)	2/1	2/1/1	40	234	222	106
		2/1/2	38	222		
		2/1/3	32	187		
	2/2	2/2/1	16	95	99	
		2/2/2	17	99		
		2/2/3	18	104		
	2/3	2/3/1	21	120	106	
		2/3/2	18	106		
		2/3/3	17	99		

амилазы в период межсезонного хранения зерна представлены в табл. 3. Кроме того, в сводную таблицу включены эмпирические данные, характеризующие устойчивость различных озимых сортов, гибридов и линий, полученные при проведении многолетних исследований опытных полевых тритикале.

На основании данных, представленных в табл. 3, прослежена тенденция, свидетельствующая о различиях содержания α -амилазы в составе муки тритикале в зависимости от года культивации. Показатели зерна урожая 2020 г. были более низкими, чем результаты, полученные при анализе зерна тритикале урожая 2021 г. Кроме того, отмечена корреляция между содержанием α -амилазы в составе муки и результатами наблюдений устойчивости зерна тритикале к предуборочному прорастанию. На этом основании можно сделать заключение о получении подтвержденной зави-

симости показателей количественного содержания α -амилазы в зерне тритикале и устойчивостью исследованной зерновой культуры к факторам, определяющим стабильность состояния зерновки в предуборочной фазе вегетации.

Количественные показатели содержания α -амилазы в зерне различных линий, сортов и гибридов тритикале позволили составить диаграмму, предназначенную для прогнозной оценки при планировании сезонных агротехнических мероприятий, на основании данных устойчивости к предуборочному прорастанию. График прогнозной оценки представлен на рис. 3.

Методика количественного определения α -амилазы, адаптированная для анализа состава растительного сырья, освоенная в процессе проведения настоящего исследования, может быть рекомендована к внедрению в селекционную работу для прогноза характеристики устойчивости

Таблица 3. Содержание α -амилазы в муке тритикале различных сортов, линий, гибридов

Наименование сорта, линии/гибриды	Характеристика устойчивости к предуборочному прорастанию	Среднее содержание α -амилазы, ед./кг	
		2020 г.	2021 г.
МАГ/АДЛеук1701 h 389/Сар 8	Высокая	99.2	113
Л-14, Воронеж/Дон	Средняя	111	121
Зубр	Низкая	247	271
Водолей/АДП-2//Colina	Высокая	91.6	106
КС-1 Саргау/Полесский		76.6	112
Водолей/АДП//Modus	Средняя	105	124
Студент/Патриот//Корнет	Очень высокая	49.9	92.0
Водолей/АДП-2//Л.39 (озимая пшеница)		30.7	59.3
Newton/Саргау//KS-88Т-142///Корнет		11.6	34.8
Водолей/АДП-2	Средняя	108	128
Студент/Водолей//Полесский 10///АДП-2	Очень высокая	60.9	74.5
Зубр/ТИ-17	Средняя	117	141
Маг/Кентавр	Низкая	150	165

к предуборочному прорастанию вновь создаваемых сортов, гибридов и линий тритикале.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Зерновая культура тритикале, являющаяся самостоятельным ботаническим родом – *Triticosecale* Wittmack ex A. Camus, перспективна для культивации в различных регионах средней полосы России. Стабильная урожайность, высокая устойчивость к неблагоприятным условиям выращивания, а также сбалансированный по содержанию ценных пищевых компонентов состав позволяют рассматривать это злаковое растение в качестве перспективного источника получения высококачественной пищевой продукции. Разработанные к настоящему времени способы переработки зерна тритикале позволяют получать хлебопекарские и крупяные изделия, крахмал, а также кормовые смеси для вскармливания животных.

Многолетние исследования, проведенные с зерновым материалом, показали, что качество получаемых на основе тритикале пищевых продуктов в значительной степени определяется компонентным составом растительного сырья. В частности, установлено, что значительную роль играет содержание в муке тритикале фермента α -амилазы. Кроме того, известно, что при проведе-

нии сезонных агротехнических мероприятий, осуществляемых при возделывании тритикале, количественное содержание α -амилазы в зерне влияет на сроки ростовых циклов: чрезмерное содержание этого фермента способствует преждевременному прорастанию зерновок и препятствует сохранности посевного материала в период межсезонья.

В рамках настоящего исследования проведена работа по оценке возможности использования набора реагентов для определения активности α -амилазы в сыворотке крови и моче кинетическим методом для установления количественного содержания этого фермента в зерне тритикале. Отработана методика экстракции активного компонента из продукта помола зерна тритикале и проведены измерения активности α -амилазы в образцах различных сортов, линий и гибридов исследованной зерновой культуры.

На основании полученных данных по содержанию α -амилазы в зерне различных сортов, линий и гибридов тритикале проведена сравнительная оценка количества фермента в муке в зависимости от сорта и установлена корреляция экспериментальных данных содержания α -амилазы в зерне с наблюдаемой характеристикой явления предуборочного прорастания семян. Показатель количественного содержания α -амилазы в

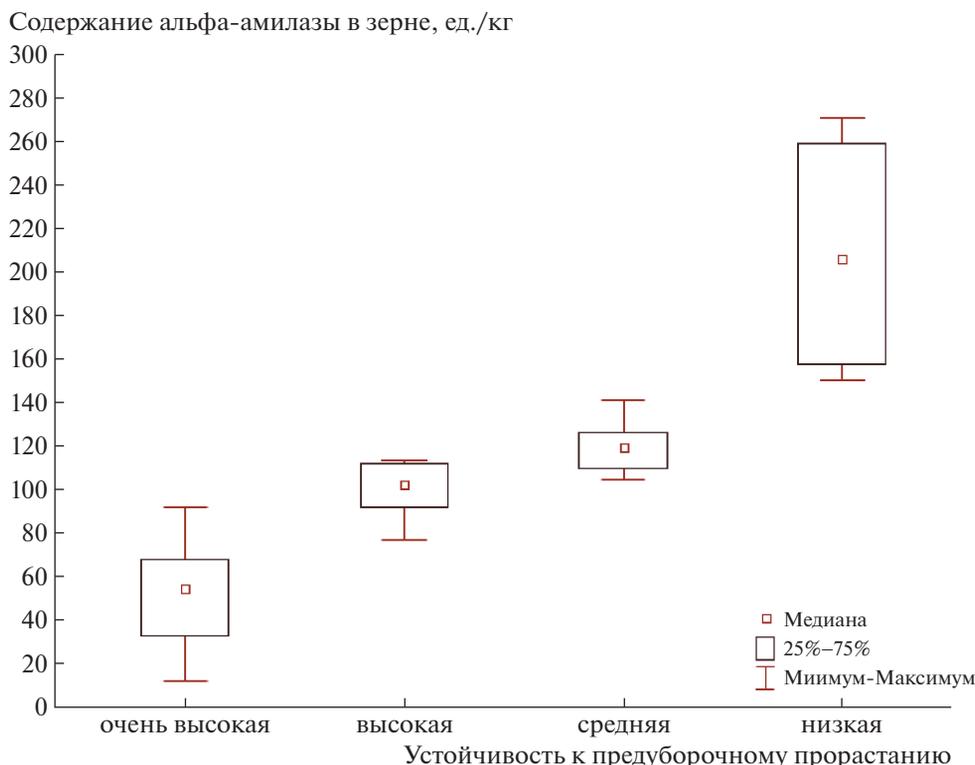


Рис. 3. Диапазоны содержания α -амилазы в зерне линий, сортов и гибридов тритикале с различной устойчивостью к предуборочному прорастанию.

зерне может быть рекомендован для использования в процессе планирования сезонных агротехнических мероприятий при культивировании тритикале.

Адаптированная методика количественного определения α -амилазы в составе растительного сырья может быть использована при проведении селекционной работы для прогноза характеристики устойчивости к предуборочному прорастанию вновь создаваемых сортов и линий тритикале.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Паныковский Г.А. Продукты переработки зерна тритикале в технологии хлебобулочных изделий // Пищ. и перерабат. пром-ть. 2004. № 1. С. 100.
2. Леонова С.А., Погонец Е.В. Технология крупы из пророщенного зерна тритикале // Технол. и товаровед. инновац. пищ. продуктов. 2016. № 1 (36). С. 30–33.
3. Bellil I., Bouguennec A., Khelifi D. Diversity of seven glutenin and secalin loci within triticale cultivars grown in France // Notul. Bot. Horti Agrobi. Cluj-Napoca. 2010. V. 38. № 2. P. 48–55.
4. Лукин Н.Д., Уланова Р.В., Кравченко И.К., Колпакова В.В., Гольдштейн В.Г. Биоконверсия вторичных продуктов переработки зерна тритикале на крахмал с использованием гриба *Pleurotus ostreatus* 23 // Химия раст. сырья. 2018. № 4. С. 225–234.
5. Витол И.С., Карпиленко Г.П., Кандроков Р.Х., Старищенков А.А., Коваль А.И., Жильцова Н.С. Белково-протеиназный комплекс зерна тритикале // Хранение и перераб. сельхозсырья. 2015. № 8. С. 36–39.
6. Aprodu I., Banu I. Comparative analyses of physicochemical and technological properties of triticale, rye and wheat // Ann. Univers. Dunarea De Jos of Galati, Fascicle ViFood Technol. 2016. V. 40. № 2. P. 31–39.
7. Jiang Q.-T., Wei Y.-M., Pu Z.-E., Peng Y.-Y., Zheng Y.-L., Andre L., Lu Z.-X. Characterization of omegasccalin genes from rye, triticale, and a wheat 1BL/1RS translocation line // J. Appl. Genet. 2010. T. 51. № 4. С. 403–411.
8. Данаева М.А., Бободжанов В.А., Исмоилов М.И. Роль индивидуального отбора в селекции яровых гексаплоидных тритикале // Хранение и перераб. сельхозсырья. 2003. № 8. С. 192–194.
9. Погонец Е.В., Леонова С.А. Характеристика технологических свойств тритикале сорта Башкирская короткостебельная // Зерн. хоз-во России. 2011. № 3. С. 63–67.
10. Бадамшина Е.В., Лещенко Н.И., Калужина О.Ю., Леонова С.А. Влияние сортовых особенностей на технологию переработки зерна тритикале селекции Республики Башкортостан // Вестн. КрасГАУ. 2022. № 7 (184). С. 86–94.

11. Чумикина Л.В., Арапова Л.И., Колпакова В.В., Топунов А.Ф. Активность ферментов обмена глутамина в прорастающем зерне тритикале // Физиология растений і генетика. 2013. Т. 45. № 5. С. 390–398.
12. Дьячук Т.И., Акинина В.Н., Жилин С.В., Хомякова О.В., Барнашова Е.К., Калашникова Э.В., Окладникова В.П. Гаплоидия тритикале *in vitro* (обзор лит-ры) // Зерн. хоз-во России. 2022. № 1 (79). С. 39–45.
13. Дьячук Т.И., Акинина В.Н., Жилин С.В., Хомякова О.В., Барнашова Е.К., Калашникова Э.В., Куликова В.П. Новый сорт озимого тритикале Зубр // Аграрн. научн. журн. 2022. № 6. С. 19–22.
14. Дьячук Т.И., Рудных С.К., Барнашова Е.К., Грибова Е.Д. Разработка процесса выделения глиадина из зерновой культуры тритикале и способа идентификации образца методом капиллярного электрофореза // Вестн. Международ. ун-та природы, общества и человека “Дубна”. Сер. Естеств. и инж. науки. 2020. № 4 (49). С. 23–29.
15. Минеев В.Г. Агрехимия. М.: Колос, 2004. 720 с.
16. Кошкин Е.И., Гатаулина Г.Г., Дьяков А.Б. Частная физиология полевых культур. М.: Колос, 2005. 344 с.
17. Каримов О.С., Шарипова М.Б., Икрами М.Б. Влияние рН на активность и стабильность фермента амилазы в пшеничной муке // Вестн. технол. ун-та Таджикистана. 2021. № 1 (44). С. 49–54.
18. Казаков Е.Д., Кретович В.Л. Биохимия зерна и продуктов его переработки. М.: Агропромиздат, 1989. 368 с.
19. Munoz-Insa A., Gastl M., Becker T. Influence of malting on the protein composition of *Triticale* (\times *Triticosecale* Wittmack) “Trigold” // Cereal Chem. 2016. Т. 93. № 1. С. 10–19.
20. Мацкевич И.В., Невзоров В.Н., Кох Ж.А., Безъязыков Д.С. Совершенствование технологии подготовки зерна к переработке // Научно-практические аспекты развития АПК: Мат-лы нац. научн. конф. Красноярск, 12 ноября 2020 г. Т. 2. Красноярск: КрасГАУ, 2020. С. 25–27.
21. Панкратов Г.Н., Мелешкина Е.П., Витол И.С., Кандроков Р.Х. Мука из тритикале – ценный продукт питания // Кондит. и хлебопек. производ-во. 2017. № 9–10. С. 54–59.
22. Казаков Е.Д., Карпиленко Г.П. Биохимия зерна и хлебопродуктов. СПб.: ГИОРД, 2005. 512 с.

Adaptation of the Method of Analytical Control of the Content of α -Amylase in Triticale Grain

E. K. Barnashova^a, A. N. Ostyshev^b, O. V. Sluzova^b,
Yu. S. Gardina^b, S. V. Zhilin^a, and K. A. Taraskin^{a, #}

^aFederal Agrarian Scientific Center of the South-East
ul. Tulaykova 7, Saratov 410010, Russia

^bScientific Research Institute of Applied Acoustics
ul. 9 May 7a, Moscow region, Dubna 141981, Russia

[#]E-mail: kant1958@yandex.ru

Triticale grain crop is promising for cultivation in various regions of central Russia. Stable yield, high resistance to adverse conditions, allow us to consider this cereal plant as a reliable source of food production. The purpose of this study was to quantify the content of active α -amylase in triticale grain to provide a forecast of agrotechnical measures. The analysis of the quantitative content of α -amylase was carried out on a laboratory spectrofluorimeter using standard bioassays conducted on the basis of a set of reagents for determining the activity of α -amylase in blood serum and urine; the conversion factor for calculating enzyme activity was calculated using a multiparametric calibrator of biochemical analyzers. To improve the methodology for the determination of α -amylase in real samples of plant raw materials, flour of winter triticale varieties grown in the field was used. Based on the results of measuring the activity of α -amylase in triticale grain, a comparative assessment of the enzyme content in the flour of grain crops of 2020 and 2021 was carried out; the dependence of pre-harvest seed germination on the content of α -amylase in grain of various varieties, lines and hybrids was shown. Based on the data obtained on the content of α -amylase in triticale grain, a comparative assessment of the characteristics of pre-harvest seed germination was carried out. The indicator of the quantitative content of α -amylase can be recommended for use in the diagnosis of pre-harvest germination of grain, as well as in breeding work when creating new varieties of grain crops.

Keywords: α -amylase, analysis technique, triticale, seed material.