

Научная статья

УДК 633.13:631.52

DOI: 10.30901/2658-6266-2024-2-02



Разработка методических подходов к оценке технологических свойств зерна овса

И. А. Кибкало, И. Г. Лоскутов, Н. П. Войцуцкая, М. В. Соловьева, Н. С. Обухова, Е. В. Блинова

Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Илья Анатольевич Кибкало, i.kibkalo@vir.nw.ru

Набор методов оценки качества зерна и его технологических свойств у крупяных культур, и в частности овса, крайне ограничен. Имеющиеся методы трудоёмки и не всегда достаточно информативны. Разнообразие современных способов переработки диктует поиск более универсальных и информативных методов оценки. В скоростных и мало затратных методах оценки качества зерна нуждается и селекция крупяных культур. Представленная работа является методической, где на ограниченном наборе контрастных по технологическим свойствам образцов овса разнообразного географического происхождения из генетической коллекции ВИР разрабатывается новая методика оценки качества зерна, опробуются новые способы анализа технологических свойств. Полученные критерии сравниваются между собой и с более традиционными показателями. Предложены новые системы оценки технологических свойств зерна голозёрного и пленчатого овса. Предложена новая методика седиментационного анализа для крупяных культур. Показано разнообразие белкового комплекса овса на примере результатов седиментационного анализа, а также углеводного комплекса – по результатам его оценки с помощью микро виско-амилографа. Показано разнообразие взаимодействия запасных веществ зерна овса с пшеничным материалом при совместной переработке с помощью оценки реологических свойств смесового теста на фаринографе. Полученные результаты могут быть рекомендованы для селекционной оценки, а также для получения полноценной информации о качестве зерна овса с целью дальнейшей переработки.

Ключевые слова: седиментация, белок, крахмал, качество зерна, переработка, натура, стекловидность, микро виско-амилограф, фаринограф

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ по теме FGEM-2022-0009 «Структурирование и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».

Для цитирования: Кибкало И.А., Лоскутов И.Г., Войцуцкая Н.П., Соловьева М.В., Обухова Н.С., Блинова Е.В. Разработка методических подходов к оценке технологических свойств зерна овса. *Биотехнология и селекция растений*. 2024;7(2):6-15. DOI: 10.30901/2658-6266-2024-2-02

Прозрачность финансовой деятельности: Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы. Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы.

© Кибкало И.А., Лоскутов И.Г., Войцуцкая Н.П., Соловьева М.В., Обухова Н.С., Блинова Е.В., 2024

Original article

DOI: 10.30901/2658-6266-2024-2-o2

Development of methodological approaches to assessing the technological properties of oat grain

Iliya A. Kibkalo, Igor G. Loskutov, Nina P. Voitsutskaya, Maria V. Solovyova, Natalia S. Obukhova, Elena V. Blinova

N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia

Corresponding author: Ilya A. Kibkalo, i.kibkalo@vir.nw.ru

The range of methods for assessing the quality of grain and its technological properties in cereal crops, of oat in particular, is extremely limited. The available methods are labor-intensive and not always sufficiently informative. The variety of modern processing methods dictates the necessity in searching for more universal and informative assessment methods. Cereal crop breeding also requires high-speed and low-cost methods for assessing grain quality. The present work is a methodological study that uses a limited set of oat accessions from the genetic collection of VIR, differing in geographical origin and contrasting technological properties, in order to develop a new grain quality assessment, new ways of analyzing technological properties are being tested. The resulting criteria are compared with each other and with more traditional indicators. New systems for assessing the technological properties of grain of naked and covered oat have been proposed. A new method of sedimentation analysis for cereal crops is proposed. The diversity of the oat protein complex is exemplified in the results of sedimentation analysis, and of the carbohydrate complex – in the results of its testing by a micro-visco-amylograph. The variety of interactions between oat grain storage substances and wheat material during joint processing is shown by assessing the rheological properties of the dough mixture using a farinograph. The obtained results can be recommended for the assessment for breeding purposes, as well as for obtaining complete information about the quality of oat grain for the purpose of its further processing.

Keywords: sedimentation, protein, starch, grain quality, processing, test weight, vitreousness, micro-visco-amylograph, farinograph

Acknowledgments: the work was carried out within the framework of the State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, topic FGEM-2022-0009 “Structuring and unlocking the potential of hereditary variability in the VIR global collection of cereal and groat crops for the development of an optimized gene bank and rational use in breeding and crop production.”**For citation:** Kibkalo I.A., Loskutov I.G., Voitsutskaya N.P., Solovyova M.V., Obukhova N.S., Blinova E.V. Development of methodological approaches to assessing the technological properties of oat grain. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2024;7(2):6-15. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2024-2-o2

Financial transparency: The authors have no financial interest in the presented materials or methods. The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work. The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employers.

© Kibkalo I.A., Loskutov I.G., Voitsutskaya N.P., Solovyova M.V., Obukhova N.S., Blinova E.V., 2024

Введение

Качество зерна овса принято характеризовать биохимическими показателями: содержание протеина и крахмала, а также масла и β -глюканов (Abugalieva et al., 2021). При оценке пищевой или кормовой ценности традиционно обращают внимание на фракционный и аминокислотный состав белка и соотношение амилозы и амилопектина в крахмале. Все эти данные непосредственно влияют на питательную ценность образцов овса, которая может значительно различаться в зависимости от разновидности и сорта (Loskutov, 2007). Отмечаются качественные различия в биохимическом составе запасных веществ голозёрной и пленчатой форм. Вместе с тем, несмотря на широчайшее применение зерна овса в различных отраслях и направлениях пищевой промышленности, возможности технологической оценки как селекционных, так и производственных образцов достаточно скромны. Биохимический анализ зерна продолжает оставаться дорогостоящим и трудозатратным, а его данные не всегда объясняют результирующие технологические свойства при его переработке. Для оценки технологических свойств предлагается способ оценки качества овсяных хлопьев по их развариваемости (GOST 26312.2-84, 2010), который, впрочем, характеризует не зерновое сырьё, а продукт его переработки – крупу. Однако различные модификации данного метода применяются для оценки качества зерна всех крупяных культур (Kulevatova et al., 2017). Вкупе с показателем натурной массы зерна они составляют практически весь список возможных инструментов технологической оценки зерна овса. При этом с развитием пищевой промышленности многократно увеличилось разнообразие способов переработки зерна. Очевидна потребность в достаточно простом универсальном способе, характеризующем технологические свойства зерна овса, дающем представление как переработчикам, так и селекционерам о потенциале испытываемых образцов.

Поскольку в основе практически любых способов переработки зерна лежит способность продуктов его размола к устойчивому набуханию, то в качестве способа экспресс-оценки технологического потенциала зерна может рассматриваться седиментация продуктов его размола. На пшеничном материале этот способ получил широкое распространение и признание (Korus et al., 2022). Однако потенциал метода и в применении к крупяным культурам также очевиден. Ранее нами была применена авторская модификация двухфазной SDS-седиментации на материале зернового сорго и кукурузы (Kibkalo, 2022). Первая фаза заключалась в набухании продуктов размола зерна в уксусной кислоте, вторая – в добавлении додецилсульфата натрия. Рассчитывалось также и соотношение величин объема седиментационного осадка второй и первой фазы. Была получена существенная дифференциация образцов по всем трём получаемым показателям. Причем, все три показателя не повторяли друг друга, а дополняли. Интерпретация полученных

результатов заключалась в следующем. Если рассматривать двухфазное ведение анализа как процесс с последовательным увеличением физико-химической нагрузки на частицы размола зерна, белковые макромолекулы или белково-углеводно-липидные комплексы, то образцы делились по прочности внутренних биохимических и биофизических связей испытываемых конгломератов. Одни образцы достигали максимума своего набухания (гидратации) в первой фазе испытания, и при увеличении физико-химической нагрузки во второй фазе испытывали деструкцию набухших частиц размола зерна через разрушение упомянутых внутренних связей. В результате наблюдалось резкое осаждение набухших частиц размола зерна со значительным уменьшением объема осадка. Прочности внутренних биохимических связей других образцов хватало для сохранения достигнутого объема набухания и при увеличении физико-химической нагрузки во второй фазе испытания. В результате объем седиментационного осадка существенно не изменялся. Третья категория образцов достигала максимума своего объема и раскрытия своего потенциала набухания только во второй фазе испытания. В результате наблюдалось значительное увеличение объема седиментационного осадка в завершающей фазе опыта. Таким образом, отношение объема седиментационного осадка во второй фазе испытания к объему осадка в первой фазе характеризовало образцы с точки зрения устойчивости биохимического комплекса запасных полимеров зерна к длительности и силе физико-химических нагрузок. Кроме этого, внутри каждой из описанных категорий образцов наблюдалась их существенная дифференциация по максимуму объема седиментационного осадка. Таким образом предполагается, что, накладывая на динамику изменения объема набухания при седиментационном анализе те или иные технологические циклы переработки зерна, можно подобрать образцы, наиболее отвечающие технологическим запросам к сырью конкретного способа переработки.

Материалы и методы

В качестве экспериментального материала привлекали 18 образцов овса различных разновидностей и различного географического происхождения из коллекции генетических ресурсов растений ВИР. В связи с тем, что известны различия в биохимическом составе зерна голозёрной и пленчатой форм, в экспериментальном материале присутствовали обе формы. В опыте были использованы следующие голозёрные образцы: 'Гаврош' (к-15439, Кемеровская область) выращенный в двух регионах (Кубань и Санкт-Петербург), У-115/14 (к-15577, Ульяновская область), 'Бекас' (к-15615, Кировская область), 'Lennon' (к-15631, Великобритания), 'Vazec' (к-15641, Словакия), 'Inovec' (к-15644, Словакия), 'Ba You 8' (к-15664, Китай), 'Hronec' (к-15642, Словакия), 'Beer' (к-15645, Словакия). Нами были изучены следующие плёчатых образцы: 'Валдин' (к-14574, Краснодарский край), 'Spontanie 169'

(к-15593, Алжир), 'Ассоль' (к-15617, Краснодарский край), местный сорт (к-14449, Эфиопия), UFRGS 1 (к-15529, Бразилия), 'Erwin' (к-15636, Австрия), 'Привет' (к-14787, Московская область), местный сорт (к-3228, Тюменская область).

Для изучения влияния овсяного компонента на технологические свойства пшеничной муки при совместной переработке зерна овса и пшеницы была использована хлебопекарная пшеничная мука высшего сорта.

Для проведения методических изысканий на материале овса была выбрана модификация метода микро-седиментационного анализа, протестированная ранее на зерновом сорго и кукурузе (Kibkalo, 2022). Анализ проводили в градуированных пробирках или цилиндрах объемом около 20 мл, в которых один грамм размоленного зерна овса смешивали с 12 мл 2%-ного раствора уксусной кислоты, ёмкости закрывали пробками и интенсивно встряхивали в течение 7-10 секунд. Далее производили отстаивание полученной взвеси в течение 5 минут, после чего регистрировали объём осадка (Ф1). Далее во взвесь добавляли четыре мл 1,9% раствора SDS и переворачивали пробирки вверх дном при закрытых пробках 10 раз так, чтобы пузырь воздуха каждый раз поднимался вверх. После этого производили отстаивание взвеси ещё в течение пяти минут с последующей регистрацией объёма осадка (Ф2). Также рассчитывали отношение объёма осадка второй фазы испытания к объёму осадка первой фазы испытания (Ф2/Ф1).

Для регистрации технологических свойств зерна овса также применили микро-модификацию метода развариваемости, которая заключалась в следующем. Два грамма зерна овса помещали в стандартную вискозиметрическую пробирку, заливали 25 мл дистиллированной воды и помещали на водяную баню. Развариваемость контролировали по увеличению массы варёного зерна, для чего производили периодические контрольные взвешивания. Испытания проводили до устойчивой постоянной массы или до уменьшения массы варёного зерна. В последнем случае учитывали результаты предыдущего взвешивания. Кроме максимальной массы вареного зерна (Масса) и времени, потребовавшегося для достижения максимальной массы (Время), регистрировали объём варёного зерна (Объём), а также оценивали количество вещества, перешедшего в воду в процессе варки по мутности раствора. Для этого с помощью спектрофотометра В-1100 определяли коэффициент пропускания света и оптическую плотность раствора. Также оценивали развариваемость зерна по его массе в начальный период варки – после первых 25 минут испытания (Масса 25) и в завершающей стадии варки. Для характеристики развариваемости во второй части испытания, из значения мак-

симальной массы варёного зерна вычитали массу зерна после первых 25 минут варки (М–М25).

Известно, что качество крахмала зерна часто носит независимый характер по отношению к свойствам белкового комплекса. В связи с этим, для определения термодинамических свойств углеводного комплекса привлекали микро-виско-амилограф фирмы Brabender (Германия) с использованием протокола испытания MVAG-Starch. В процессе анализа регистрировали: время начала клейстеризации при нагреве мучной суспензии (Ам-1), вязкость начала клейстеризации (Ам-2), температуру начала клейстеризации (Ам-3), время максимальной вязкости в горячем состоянии (Ам-4), максимальную вязкость в горячем состоянии (Ам-5), температуру максимальной вязкости в горячем состоянии (Ам-6), время минимальной вязкости в горячем состоянии (Ам-7), минимальную вязкость в горячем состоянии (Ам-8), максимальную вязкость в охлажденном состоянии (Ам-9), а также рассчитывали падение вязкости при максимальной температуре (Ам-10), подъем вязкости при охлаждении (Ам-11), разницу между максимальной вязкостью в охлажденном и горячем состояниях (Ам-12).

Широко распространена совместная переработка зерна овса и пшеницы (Anisimova, Soltan, 2017). В связи с этим актуально изучение влияния овсяного компонента на технологические свойства пшеничной муки, которые определяют качество готовой продукции. Для определения степени такого влияния использовали фаринограф фирмы Brabender (Германия) с миксером на 10 граммов. К десяти граммам хлебопекарной пшеничной муки высшего сорта добавляли один грамм размоленного зерна овса. Регистрировали водопоглотительную способность муки (ВПС), время образования теста (ВОТ), стабильность теста, разжижение теста, валориметрическое число по стандартному протоколу испытаний.

Содержание протеина в зерне овса определяли на ИК-анализаторе IM 9500, (Pertin, Швеция). Консистенцию эндосперма зерна овса оценивали по показателям полной и общей стекловидности на диафаноскопе. Зерно пленчатых форм овса отшелушивали на лабораторном шелушителе «Мини» (Россия), размол зерна производили на лабораторной мельнице ЛМТ-1 фирмы Плаун (Россия). Натуру зерна определяли на микропурке (Vasilenko, Komarov, 1987).

Результаты и обсуждение

Регистрируемые показатели технологических свойств зерна позволили в различной степени дифференцировать изучаемый материал (таблица).

Таблица. Дифференцирующая способность показателей технологических свойств зерна овса
Table. Differentiating ability of indicators of technological properties of oat grain

Показатели/ Indicators	Пределы варьирования/ Limits of variation	Среднее значение в опыте/ Average for the experiment	Стандартная ошибка среднего Sx/ Standard error of average Sx	Коэффициент вариации V/ Coefficient of variation V
Натура, г/л/ Test weight, g/L	556-691	647,17	8,44	5,54
Стекловидность полная, %/ Full vitreousness, %	0-47	13,94	3,22	95,28
Стекловидность общая, %/ General vitreousness, %	21-70	44,72	3,15	29,84
Протеин, %/ Protein, %	6,5-11,5	8,82	0,31	14,66
Седиментация/ Sedimentation				
Ф1, мл/ F1, ml	59-106	80,44	3,03	15,98
Ф2, мл/ F2, ml	21-110	56,61	6,53	48,94
Ф2/Ф1/ F2/F1	0,28-1,25	0,68	0,07	42,99
Микро виско-амилограф/ Micro-visco-amylograph				
Ам-1, мин/ Am-1, min	4,9-7,68	6,45	0,19	11,75
Ам-2, ед. приб./ Am-2, instrument units	30-41	37,80	0,82	8,38
Ам-3, °C/ Am-3, °C	67,0-86,6	78,51	1,51	6,05
Ам-4, мин/ Am-4, min	8,27-10,98	8,68	0,05	2,49
Ам-5, ед.приб./ Am-5, instrument units	259-466	352,29	11,91	13,94
Ам-6, °C/ Am-6, °C	91,3-94,9	93,62	0,24	1,03
Ам-7, мин/ Am-7, instrument units	13,32-13,78	13,62	0,03	0,98
Ам-8, ед. приб./ Am-8, instrument units	241-317	271,94	5,10	7,73
Ам-9, ед. приб./ Am-9, instrument units	546-898	726,24	19,25	10,93
Ам-10, ед. приб./ Am-10, instrument units	12-149	82,06	7,93	39,86
Ам-11, ед. приб./ Am-11, instrument units	299-617	455,24	16,35	14,81
Ам-12, ед. приб./ Am-12, instrument units	287-483	374,87	11,71	12,09
Фаринограф/ Farinograph				
ВПС, %/ Water absorption, %	74-77	75,22	0,24	1,33
ВОТ, мин/ Dough formation time, min	6,47-9,13	8,14	0,16	8,34
Стабильность, мин/ Dough stability, min	1,57-2,97	2,56	0,11	18,31
Разжижение, ед приб./ Dough liquefaction, instrument units	117-162	129,17	3,52	11,5

Показатели/ Indicators	Пределы варьирования/ Limits of variation	Среднее значение в опыте/ Average for the experiment	Стандартная ошибка среднего Sx/ Standard error of average Sx	Коэффициент вариации V/ Coefficient of variation V
Число валориметра, ед. приб./ Valorimeter number, instrument units	60-71	67,18	0,76	4,69
Развариваемость зерна/ Cooking behavior of grain				
Масса 25, г/ Weight 25, g	4,35-8,07	5,46	0,25	19,67
Макс. масса, г/ Max. weight, g	5,34-8,61	6,69	0,20	12,94
М–М 25, г/ W–W 25, g	0,52-2,34	1,23	0,13	44,92
Время, мин/ Time, min	35-80	53,06	3,80	30,35
Объём, мл/ Volume, ml	7,5-11,0	8,97	0,23	11,06
Оптическая плотность/ Optical density	0,306-2,320	1,459	0,143	52,38
Коэффициент пропускания, %/ Light transmission coefficient, %	0,5-45,6	14,96	3,95	111,97

Примечание: расшифровка сокращённых названий показателей представлена в разделе «Материалы и методы»

Судя по размерности коэффициента вариации (V), образцы овса не сильно различались по натуре зерна, по вязкости в начале клейстеризации при нагреве мучной суспензии, температуре начала клейстеризации, времени максимальной вязкости клейстера в горячем состоянии, температуре максимальной вязкости в горячем состоянии, времени минимальной вязкости в горячем состоянии, минимальной вязкости в горячем состоянии, водопоглотительной способности смесевой муки, времени образования теста, числу валориметра. На среднем уровне материал разграничивали данные по содержанию протеина, объёму осадка первой фазы седиментации, времени начала клейстеризации, максимальной вязкости клейстера в горячем состоянии, максимальной вязкости в холодном состоянии, подъёму вязкости при охлаждении, подъёму вязкости от максимума в горячем состоянии до максимума в холодном состоянии, по стабильности и разжижению смесового теста, по массе зерна после 25 минут варки, максимальной массе варёного зерна, максимальному объёму варёного зерна. В большой степени дифференцировали материал общая и полная стекловидность, величина объёма второй фазы седиментации и её отношение к объёму первой фазы седиментации, падение вязкости клейстера при максимальной температуре, прирост массы варёного зерна после 25 минут варки, время варки до максимальной массы зерна, оптическая плотность и коэффициент пропускания света через отвар.

Несмотря на то, что только часть показателей виско-амилографирования продемонстрировали высокую дифференцирующую способность (см. таблица), можно было наблюдать индивидуальные, различающиеся по типу, кривые виско-амилографирования изучаемых образцов (рисунок).

Подобные кривые могут быть полезными при запуске различных циклов переработки овса. По ним, например, можно определять густоту и термодинамическую устойчивость продуктов переработки овсяной муки при горячей обработке, а также свойства сырья как загустителя при охлаждении.

Умеренная дифференциация образцов по реологии смесового теста (см. таблица) объясняется ведущей ролью в этом испытании клейковинного комплекса пшеницы. Различия же, видимо, были связаны с большей или меньшей способностью запасных полимеров зерна овса интегрироваться в полимерный комплекс пшеничного теста. Различные показатели развариваемости зерна (Приложение/ Supplement)¹ в целом хорошо разграничивали материал (см. таблица). Однако в ходе анализа возник ряд вопросов к этому методу. Очевидно, что в целом пленчатые образцы сильнее и быстрее разваривались, чем голозёрные. Однако, скорее всего, это было обусловлено тем, что первые уже были подвергнуты механическому воздействию в ходе отшелушивания и, таким образом, они не были в равных условиях с голо-

¹ Приложения доступны в онлайн версии статьи/ Supplementary materials are available in the online version of the paper: DOI: 10.30901/2658-6266-2024-2-o2

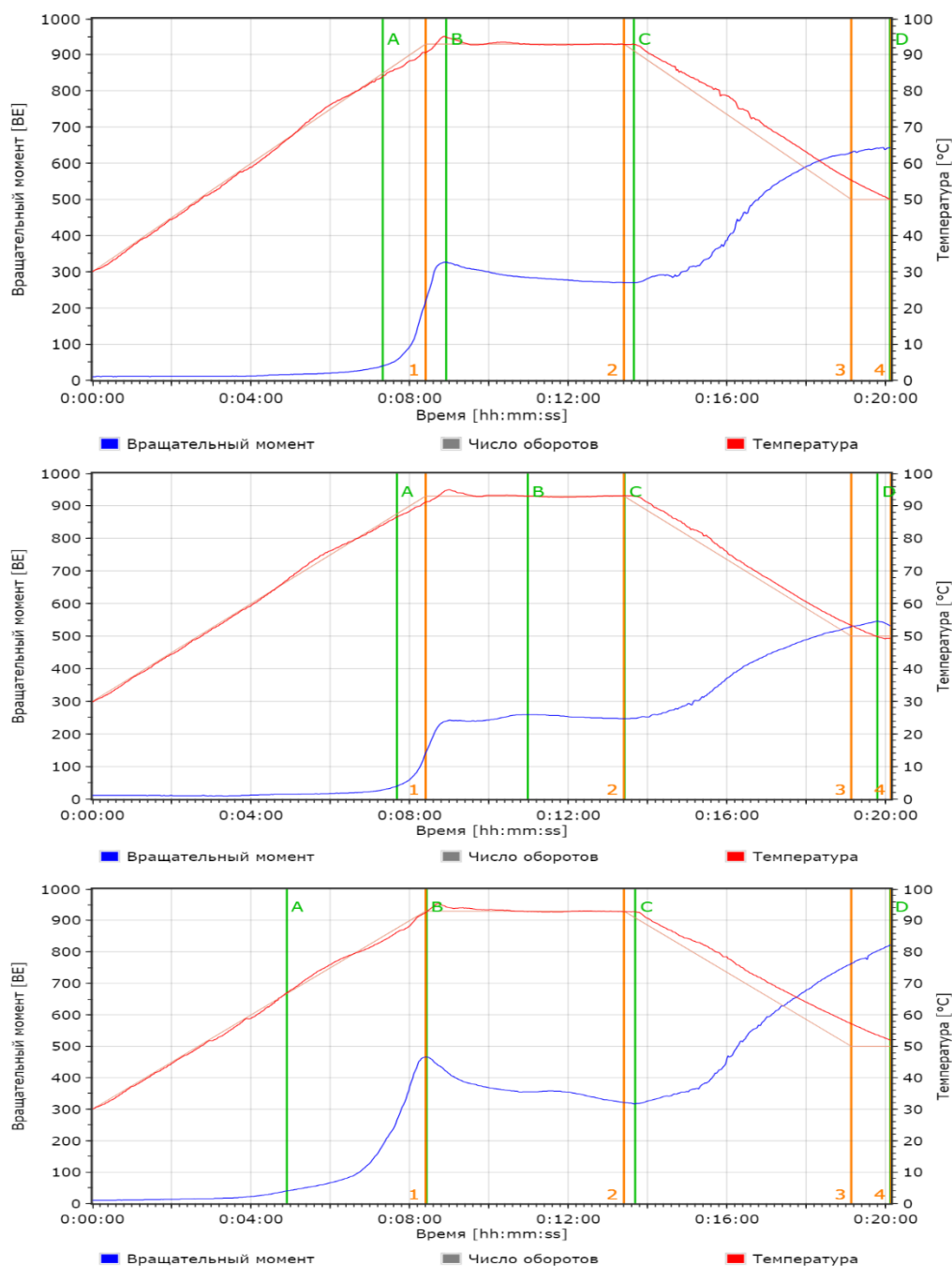


Рис. Различные типы виско-амилограмм овса

Примечание: сверху вниз: 'Spontanie 169' (к-15593, Алжир), местный сорт (к-14449, Эфиопия), UFRGS1 (к-15529, Бразилия)

Fig. Various types of visco-amylograms of oats

Note: from top to bottom: 'Spontanie 169' (k-15593, Algeria), local variety (k-14449, Ethiopia), UFRGS1 (k-15529, Brazil)

зерными. Также остается неочевидным вопрос зависимости развариваемости зерна от его размера. Кроме этого, у ряда образцов наблюдалось неравномерное разваривание зерна, что удлиняло время варки и увеличивало мутность отвара. Такая ситуация, при которой в одном образце находятся зерна с разной степенью развариваемости, снижает информативность метода с точки зрения пере-

работки зерна. Таким образом, для того, чтобы получить адекватную информацию о свойствах запасных полимеров зерна овса, очевидно необходим сравнительный анализ образцов, приведённых к стандартизированному состоянию. Такое состояние образца достигается только в случае использования зерна в размолотом виде. В этом смысле седиментационный анализ, а также виско-амило-

графирование, несомненно имеют преимущество. Данные двухфазной седиментации продемонстрировали разнообразную дифференциацию образцов по трём показателям и могут быть использованы для наиболее полного описания свойств продуктов размола зерна овса (см. таблица).

Для установления взаимосвязей различных технологических свойств был произведён корреляционный анализ экспериментальных данных (см. Приложение/ Supplement). Выяснилось, что в целом по выборке величины показателей двухфазной седиментации положительно сопряжены с содержанием белка: Ф1 (0,67* – здесь и далее – коэффициент корреляции, значимость на 5%-ном уровне), Ф2 (0,78*), Ф2/Ф1 (0,58*). Интересным образом распределились взаимосвязи при раздельном анализе голозёрных и плёнчатых образцов овса. Так выяснилось, что в случае голозёрной формы содержание протеина влияло только на первую фазу седиментации Ф1 (0,77*), тогда как в случае с плёнчатой – только на вторую фазу набухания Ф2 (0,79*), хотя и сохранялась некоторая тенденция к взаимосвязи и у первой фазы Ф1 (0,59), но эта взаимосвязь не была доказана в силу сокращения объёма выборки. Известно, что обычно голозёрные образцы овса уступают плёнчатым по содержанию нерастворимых фракций белка. Исходя из логики проведения анализа, этот факт объясняет полученные результаты. На объём осадка первой фазы седиментации наибольшее влияние оказывают легко гидратируемые фракции белка, возможно совместно с углеводами, а на объём второй фазы – трудно гидратируемые (нерастворимые) фракции (глютелины). Отсюда возникает общий акцент на первую фазу у голозёрной формы и акцент на вторую у плёнчатой.

При этом надо отметить, что в целом использование данных седиментационного анализа отнюдь не ограничивалось разделением материала по плёнчатости. И у той, и у другой формы наблюдалась дифференциация материала как по первой, так и по второй фазе. Так пределы варьирования объёма осадка Ф1 у голозёрных образцов составили 59-85 мл, у плёнчатых – 60-106 мл; по Ф2 соответственно 21-70 мл и 25-110 мл. Необходимо отметить, что у плёнчатых образцов и данные стекловидности зерна оказались достоверно отрицательно связаны с величиной Ф1, ответственной за легко гидратируемые фракции продуктов размола зерна, а именно -0,77* – для полной стекловидности и -0,74* – для общей стекловидности. Таким образом очевидно, что на стекловидность зерна плёнчатых образцов овса отрицательно влияет содержание легко гидратируемых запасных полимеров.

Полученные данные имеют аналогию и с опытами на пшеничном материале, в которых было показано, что более мучнистый сорт-филлер 'Альбидум 43' превосходил по объёму осадка твердозёрный высокостекловидный сорт 'Саратовская 55' при проведении уксусной седиментации, однако картина менялась на прямо противоположную при SDS-седиментации (Kibkalo, 2022).

Такая интерпретация данных (см. Приложение/

Supplement) находит своё отражение и в опыте по развариванию зерна овса. В целом в опыте доказана невысокая взаимосвязь массы зерна после варки в течение 25 минут с Ф2 (0,48*) и у Ф1 с максимальной массой варёного зерна (0,47*), объёмом варёного зерна (0,69*) и мутностью отвара по коэффициенту пропускания света (-0,47*). Однако у голозёрной формы максимальных значений взаимосвязи достигали именно у Ф1: с максимальной массой (0,71*), с объёмом варёного зерна (0,71*), с коэффициентом пропускания света (-0,79*), с увеличением массы зерна на заключительной стадии варки (0,69*). Таким образом, у голозёрной формы доминирующее значение для свойств зерна имели легко гидратируемые запасные полимеры.

Изучение термодинамических свойств продуктов размола зерна овса методом виско-амилографирования, на которые наибольшим образом влияют свойства крахмала, а не белка, показало в основном независимый их характер от данных седиментационного анализа (см. Приложение/ Supplement). Однако на отдельные показатели, по-видимому, всё же влияли количественные и качественные свойства белков. Так в опыте в целом (см. Приложение/ Supplement) была доказана взаимосвязь устойчивости белкового комплекса к физико-химическим нагрузкам (Ф2/Ф1) со временем начала клейстеризации при нагреве суспензии муки (0,53*) и температурой начала клейстеризации (0,48*); вязкости клейстера в начальный момент клейстеризации с Ф2 (0,61*) и Ф2/Ф1 (0,62*). Такая тенденция сохранялась и отдельно у разных форм овса, достигнув максимальной выраженности у плёнчатых образцов, у которых была установлена взаимосвязь вязкости начала клейстеризации с Ф2 (0,81*) и с Ф2/Ф1 (0,84*). У голозёрных образцов была выявлена достоверная сопряженность температуры максимальной вязкости клейстера с Ф1 (0,69*). Как мы видим, опять у плёнчатой формы наблюдается акцент, приходящийся на вторую фазу седиментации, а значит – на трудно гидратируемые фракции белка. Такие фракции проявляются в начальной фазе виско-амилографирования, видимо, по достижении температур, критичных для структурности белкового комплекса. У голозёрных образцов акцент приходится на первую фазу седиментации, а значит – на легко гидратируемые фракции, которые, вероятно, способны образовывать комплексы с углеводами и проявляться таким образом в термодинамике более продвинутых высокотемпературных стадий испытания.

Как уже отмечалось, испытания реологических свойств смесового пшенично-овсяного теста на фаринографе умеренно дифференцировали образцы овса (см. таблица). В опыте в целом была доказана умеренная взаимосвязь водопоглотительной способности смесовой муки с содержанием протеина (0,50*). У голозёрной формы была выявлена отрицательная сопряженность отношения Ф2/Ф1 со стабильностью теста (-0,75*) и положительная с разжижением теста (0,69*), которое само по себе имеет отрицательную выраженность. Таким обра-

зом, вероятно, свойства образцов голозерного овса с наиболее устойчивым к физико-химическим воздействиям белковым комплексом отрицательно сказывались на реологических свойствах пшеничного теста. Испытания реологии теста проводили при умеренной температуре (30°C) и при физическом воздействии лопастей миксера. Однако, как мы выяснили ранее, для реализации потенциала белкового комплекса отдельных образцов требуются повышенные физико-химические нагрузки. Особенно это касается пленчатых образцов с преобладанием трудно гидратируемых фракций. Отсюда, вероятно, отсутствие взаимосвязи параметров набухания материала у этой формы овса с параметрами фаринографирования. Полимерные комплексы зерна пленчатого овса просто не успевали гидратироваться до такой степени, чтобы быть интегрированными в полимеры пшеничного теста. У голозерного же овса образцы с низкой устойчивостью к нагрузкам (по Ф2/Ф1) не обладали достаточной прочностью белкового комплекса для интегрирования в клейковинный каркас пшеницы. Более устойчивые к нагрузкам белки других голозерных образцов, благодаря присутствию легко гидратируемых фракций, видимо, наиболее успешно интегрировались в клейковинный комплекс. И собственно наличие отрицательного влияния на реологические свойства смесового теста и может быть доказательством этой интеграции. В более ранних работах нами (Kibkalo, Zhuk, 2020; 2021), было показано, что интеграция белков зерна кукурузы и зернового сорго в пшеничную клейковину может приводить к её ослаблению. Видимо подобный эффект наблюдался и в этом опыте.

Выводы

Анализ полученных данных показывает, что для более полной характеристики технологических свойств зерна овса, дифференциации образцов овса по качеству зерна наиболее приемлема оценка овсяной муки с помощью двухфазного седиментационного метода и виско-амилографирования. Использование этих методов позволяет наиболее полно характеризовать технологические свойства основных запасных полимеров зерна. Для ускоренной и массовой экспресс-оценки селекционного материала подходит седиментационный анализ.

References/Литература

- Abugalieva A.I., Loskutov I.G., Savin T.V., Chudinov V.A. Evaluation of naked oat accessions from the VIR collection for their qualitative characteristics in Kazakhstan. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(1):9-21. [in Russian] (Абугалиева А.И., Лоскутов И.Г., Савин Т.В., Чудинов В.А. Изучение голозерного овса из коллекции ВИР на качественные показатели в условиях Казахстана. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021;182(1):9-21). DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-9-21
- Anisimova L.V., Soltan O.I.A. Rheological properties of dough were produced from mixture of wheat flour and whole oat flour. *Polzunovskiy vestnik*. 2017;3:9-13. [in Russian] (Анисимова Л.В., Солтан О.И.А. Реологические свойства теста из смеси пшеничной и цельносмолотой овсяной муки. *Ползуновский вестник*. 2017;3:9-13).
- GOST 26312.2-84. Groats. Methods for determination of organoleptic properties, cooking behaviour of buckwheat groats and oat flakes: Interstate standard. Moscow: Standardinform; 2010. [in Russian] (ГОСТ 26312.2-84. Крупа. Методы определения органолептических показателей, развариваемости гречневой крупы и овсяных хлопьев: межгосударственный стандарт. Москва: Стандартинформ; 2010).
- Kibkalo I. Effectiveness of and perspectives for the sedimentation analysis method in grain quality evaluation in various cereal crops for breeding purposes. *Plants*. 2022;11:1640. DOI: 10.3390/plants11131640
- Kibkalo I.A., Zhuk E.A. Varietal differences of grain sorghum in the quality of spare grain polymers. *The Agrarian Scientific Journal*. 2020;11:11-15. [in Russian] (Кибкало И.А., Жук Е.А. Сортовые различия зернового сорго по качеству запасных полимеров зерна. *Аграрный научный журнал*. 2020;11:11-15). DOI: 10.28983/asj.y2020i11pp11-15
- Kibkalo I.A., Zhuk E.A. Differentiation of corn samples by the interaction of its spare polymers with protein and carbohydrate complexes of wheat. *The Agrarian Scientific Journal*. 2021;1:14-17. [in Russian] (Кибкало И.А., Жук Е.А. Дифференциация образцов кукурузы по взаимодействию ее запасных полимеров с белковым и углеводным комплексами пшеницы. *Аграрный научный журнал*. 2021;1:14-17). DOI: 10.28983/asj.y2021i1pp14-17
- Kopus M.M., Kravchenko N.S., Alty-Sadykh Yu.N., Ivanisov M.M., Samofalov A.P. Productivity and SDS-sedimentation of the promising winter bread wheat varieties depending on forecrops. *Grain Economy of Russia*. 2022;14(5):47-51. [in Russian] (Копусь М.М., Кравченко Н.С., Алты-Садых Ю.Н., Иванисов М.М., Самофалов А.П. Урожайность и SDS-седиментация перспективных сортов озимой мягкой пшеницы в зависимости от предшественников. *Зерновое хозяйство России*. 2022;14(5):47-51). DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-5-47-51
- Kulevatova T.B., Zlobina L.N., Kozhemyakin V.V. Determination of the coefficient of grain sorghum cooking behavior (Opredelenie koefitsienta razvarimosti zernovogo sorgo). In: V.F. Kazarin et al. (eds). *The role of modern selection and agricultural technology in measures to combat drought: Materials of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 140th anniversary of the birth of Academician of the All-Union Academy of Agricultural Sciences P.N. Konstantinov; 2017 July 11-13; Kinel, Samara region, Russia (Rol' sovremennoy selekcii i agrotekhniki v merakh bor'by s zasuhoj: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 140 letiyu so dnya rozhdeniya akademika VASKHNIL P.N. Konstantinova; 11-13 iyulya 2017 g.: Kinel', Samarskaya oblast', Rossiya)*. Kazan; 2017. p.64-69. [in Russian] (Кулеватова Т.Б., Злобина Л.Н., Кожемякин В.В. Определение коэффициента разваримости зернового сорго. В кн.: *Роль современной селекции и агротехники в мерах борьбы с засухой: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 140-летию со дня рождения академика ВАСХНИЛ П.Н. Константинова; 11-13 июля 2017 г.; Кинель, Самарская обл., Россия* / под ред. В.Ф. Казарина [и др.]. Казань; 2017. С.64-69). URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_32437362_27584664.pdf [дата обращения: 13.04.2024].
- Loskutov I.G. Oat (*Avena L.*). Distribution, taxonomy, evolution and breeding value. St. Petersburg: VIR; 2007. [in Russian] (Лоскутов И.Г. Овес (*Avena L.*). Распространение, систематика, эволюция и селекционная ценность. Санкт-Петербург: ВИР; 2007). URL: http://vir.nw.ru/avena/Loskutov_52.pdf [дата обращения: 13.04.2024].
- Vasilenko I.I., Komarov V.I. Grain quality assessment. Handbook (Otsenka kachestva zerna. Spravochnik). Moscow: Agropromizdat; 1987. [in Russian] (Василенко И.И., Комаров В.И. Оценка качества зерна: Справочник. Москва: Агропромиздат; 1987).

Информация об авторах

Илья Анатольевич Кибкало, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Лаборатория комплексной оценки генетических ресурсов растений, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, i.kibkalo@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8870-121X>

Игорь Градиславович Лоскутов, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, заведующий, Отдел генетических ресурсов овса, ржи, ячменя, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, i.loskutov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9250-7225>

Нина Петровна Войцукская, научный сотрудник, Кубанская опытная станция – филиал ВИР, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 352183 Россия, Краснодарский край, Гулькевичский район, п. Ботаника, voycuckaya63@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-1155-2162>

Мария Викторовна Соловьева, младший научный сотрудник, Лаборатория постгеномных исследований, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, maria.soloveva.97@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6904-4488>

Наталья Сергеевна Обухова, ведущий специалист, Лаборатория комплексной оценки генетических ресурсов растений ВИР, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, natali0925@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1479-5997>

Елена Владимировна Блинова, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Отдел генетических ресурсов овса, ржи, ячменя, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, e.blinova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8898-4926>

Information about the authors

Ilya A. Kibkalo, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, Laboratory of Plant Genetic Resources Complex Evaluation, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, i.kibkalo@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8870-121X>

Igor G. Loskutov, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, Department Head, Department of Oat, Rye and Barley Genetic Resources, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, i.loskutov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9250-7225>

Nina P. Voitsutskaya, Researcher, Kuban Experiment Station – branch of VIR, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), Krasnodar Territory, Gulkevichsky District, Botanika village, 352183 Russia, voycuckaya63@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-1155-2162>

Maria V. Solovyova, Junior Researcher, Laboratory of Postgenomic Studies, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, maria.soloveva.97@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6904-4488>

Natalia S. Obukhova, Leading Specialist, Laboratory of Plant Genetic Resources Complex Evaluation, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, <https://orcid.org/0000-0002-1479-5997>

Elena V. Blinova, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, Department of Oat, Rye and Barley Genetic Resources, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, e.blinova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8898-4926>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 30.01.2024; одобрена после рецензирования 04.04.2024; принята к публикации 20.06.2024.

The article was submitted on 30.01.2024; approved after reviewing on 04.04.2024; accepted for publication on 20.06.2024.