

Оценка различными методами содержания поврежденного крахмала в пшеничной муке высшего сорта

Ирина М. Жаркова	¹	zharir@mail.ru	 0000-0001-8662-4559
Инесса В. Плотникова	¹	plotnikova_2506@mail.ru	 0000-0001-5959-6652
Данил Иванчиков	¹	ivanchikov_99@mail.ru	 0000-0001-9814-6005

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. В процессе помола зерна в муку происходит механическое разрушение целостности некоторой части крахмальных гранул. Доля разрушенного крахмала в муке может существенно различаться в зависимости от принятой на предприятии технологии и особенностей работы используемого оборудования и оказывает значительное влияние на свойства замешиваемого теста и качество продукции. Цель работы – исследование взаимосвязи между содержанием поврежденного крахмала в пшеничной муке высшего сорта и способностью удерживать растворитель на примере образцов муки, выработанной на индустриальных мукомольных предприятиях и в условиях мини-производств. Объекты исследования: 13 образцов пшеничной муки высшего сорта, приобретенные в магазинах розничной торговли г. Воронеж, а также на маркетплейсах: 11 образцов произведены на высокопроизводительных мукомольных предприятиях (9 российских и 2 белорусских), а 2 образца произведены на российских мини-предприятиях. Методы исследования: Массовую долю влаги определяли методом высушивания, содержание поврежденного крахмала – с помощью анализатора SDmatic, способность муки удерживать растворитель (solvent retention capacity, SRC) – на анализаторе SRC-Chopin. Анализ всей совокупности представленных в статье экспериментальных данных свидетельствует о возможности получения обширной взаимодополняющей информации о хлебопекарных качествах пшеничной муки высшего сорта с помощью амперометрического метода определения содержания поврежденного крахмала и SRC-теста с набором диагностических растворителей. Результаты: В муке крупных индустриальных производителей России и Беларуси содержание поврежденного крахмала находилось в интервале 20,4-27,9 UCD. В образцах, выработанных на мини-производствах, отмечены более высокие значения поврежденного крахмала – 30,6 и 33,3 UCD и максимальные значения водопоглощаемости. Индекс эффективности глютена (GPI) в муке крупных индустриальных производителей находился в интервале 0,69...0,89. Заключение: Полученная информация может быть использована на хлебопекарных, кондитерских и макаронных предприятиях, что позволит выбрать поставщика муки, максимально соответствующей для выработки высококачественной продукции из разных товарных сегментов (формовой хлеб, плоский хлеб (лаваш), лепешки, печенье, крекеры и т.п.). Вопрос о существовании устойчивой корреляционной зависимости между характеристиками поврежденного крахмала в муке, полученными с помощью амперометрического метода и SRC-теста, требует дальнейшего изучения. Мука, выработанная крупными мелькомбинатами, характеризуется меньшей вариабельностью показателей качества по сравнению с мини-предприятиями. Выявленные различия в исследованных образцах муки по содержанию поврежденного крахмала и способности удерживать растворитель (SRC) могут служить основанием для дальнейшей классификации по направлениям ее использования.

Ключевые слова: пшеничная мука, технологические свойства, поврежденный крахмал, способность удерживать растворитель, хлебобулочные изделия, технология.

Evaluation of damaged starch content in premium wheat flour using different methods

Irina M. Zharkova	¹	zharir@mail.ru	 0000-0001-8662-4559
Inessa V. Plotnikova	¹	plotnikova_2506@mail.ru	 0000-0001-5959-6652
Danil Ivanchikov	¹	ivanchikov_99@mail.ru	 0000-0001-9814-6005

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. During the process of grinding grain into flour, some of the starch granules are mechanically destroyed. The proportion of destroyed starch in flour can vary significantly depending on the technology adopted at the enterprise and the operating characteristics of the equipment used, and has a significant impact on the properties of the kneaded dough and the quality of the product. The aim of the work is to study the relationship between the content of damaged starch in premium wheat flour and the ability to retain solvent using flour samples produced at industrial flour mills and in mini-production conditions as an example. Objects of study: 13 samples of premium wheat flour purchased in retail stores in Voronezh, as well as on marketplaces: 11 samples were produced at high-performance flour mills (9 Russian and 2 Belarusian), and 2 samples were produced at Russian mini-enterprises. Research methods: The mass fraction of moisture was determined by the drying method, the content of damaged starch was determined using an SDmatic analyzer, and the solvent retention capacity (SRC) of flour was determined using an SRC-Chopin analyzer. The analysis of the entire set of experimental data presented in the article indicates the possibility of obtaining extensive complementary information on the baking qualities of premium wheat flour using the amperometric method for determining the content of damaged starch and the SRC test with a set of diagnostic solvents. Results: In the flour of large industrial producers in Russia and Belarus, the content of damaged starch was in the range of 20.4-27.9 UCD. In the samples produced in mini-production facilities, higher values of damaged starch were noted - 30.6 and 33.3 UCD and maximum values of water absorption. The gluten efficiency index (GPI) in the flour of large industrial producers was in the range of 0.69 ... 0.89. Conclusions: The obtained information can be used in bakeries, confectionery and pasta enterprises, which will allow choosing a supplier of flour that is most suitable for the production of high-quality products from different product segments (pan bread, flat bread (lavash), flat cakes, cookies, crackers, etc.). The question of the existence of a stable correlation between the characteristics of damaged starch in flour obtained using the amperometric method and the SRC test requires further study. Flour produced by large flour mills is characterized by less variability in quality indicators compared to mini-enterprises. The revealed differences in the studied flour samples in terms of damaged starch content and solvent retention capacity (SRC) can serve as a basis for further classification by areas of its use.

Keywords: wheat flour, technological properties, damaged starch, solvent retention capacity, bakery products, technology.

Для цитирования

Жаркова И.М., Плотникова И.В., Иванчиков Д.С. Оценка различными методами содержания поврежденного крахмала в пшеничной муке высшего сорта // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 193–200. doi:10.20914/2310-1202-2024-3-193-200

For citation

Zharkova I.M., Plotnikova I.V., Ivanchikov D.S. Evaluation of damaged starch content in premium wheat flour using different methods. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 193–200. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-3-193-200

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Пшеничная мука представляет собой продукт мукомольного производства, полученный путем измельчения зерна пшеницы. В зависимости от крупности частиц муки и степени очистки зерна от оболочек (плодовых и семенных), в Российской Федерации вырабатывают шесть сортов хлебопекарной пшеничной муки (ГОСТ 26574–2017), качество которой оценивают, в частности, по показателям зольности, белизне, количеству и качеству клейковины, числу падения и влажности. Техническим комитетом по стандартизации ТК 002 «Зерно, продукты его переработки и маслосемена» утвержден проект национального стандарта РФ на муку пшеничную, предназначенную для экспорта, которым предусмотрены

три типа муки ТП-55, ТП-65 и ТП-75 с дополнительным введением требования к ним по таким показателям качества, как глютен-индекс, показатель седиментации, кислотное число жира, показатели фаринографа (валоригрофа), характеризующие реологические свойства теста, и содержание поврежденного крахмала [1].

В процессе помола зерна в муку происходит механическое разрушение целостности некоторой части крахмальных гранул. Среди факторов, влияющих на то, в какой степени будут повреждены гранулы крахмала, можно выделить три основных параметра: тип пшеницы, процесс кондиционирования зерна, процесс помола (рисунок 1) [2, 3].

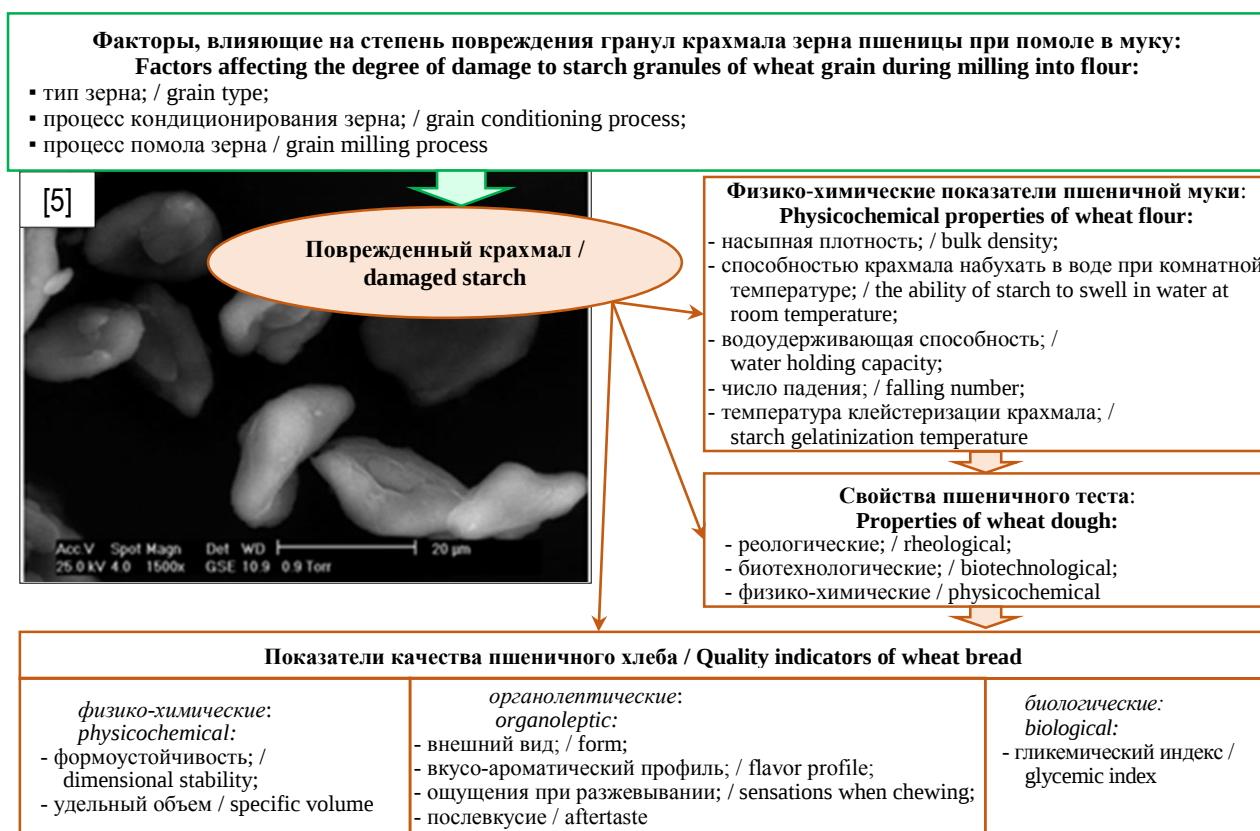


Рисунок 1. Факторы, влияющие на повреждение гранул крахмала муки и качество пшеничного хлеба

Figure 1. Factors Affecting Flour Starch Granule Damage and Wheat Bread Quality

Доля разрушенного крахмала в муке может существенно различаться в зависимости от принятой на предприятии технологии и особенности работы используемого оборудования [4]. Статистически значимое влияние на величину содержания поврежденного крахмала в муке оказывает зазор между валками и скорость вращения валков вальцово-мельничной [2, 4].

С помощью сканирующей электронной микроскопии, атомно-силовой микроскопии и текстурного анализа изображений Barrera G.N. с соавт. на микроструктурном уровне исследовано влияние механического повреждения на поверхность гранул пшеничного крахмала [5].

Отмечено, что гранулы нативного крахмала имели гладкие, плоские поверхности и гладкие края, а при механическом повреждении в них происходили структурные изменения на наноразмерном уровне: гранулы поврежденного крахмала имели зернистую деформацию и меньшую однородность с углублениями различной формы и размера.

Наряду с термином «содержание поврежденного крахмала» при описании степени механической модификации пшеничной муки применяют другой термин – «уровень механической модификации крахмала» (mechanical starch modification) [6].

При механическом повреждении целостности крахмальных гранул повышается шероховатость их поверхности, увеличивается площадь контакта с другими компонентами (в т. ч. с водой), как следствие, возрастает водоудерживающая способность¹; при существенной доле поврежденных гранул крахмала объем хлеба значительно уменьшается [5–7]. Такой эффект можно объяснить тем, что наличие в муке чрезмерного количества разрушенного крахмала приводит к отрицательным зависимостям альвеографических характеристик качества теста, а именно увеличивается водопоглотительная способность, разжижение, повышается липкость (адгезия), при этом снижается устойчивость теста [8–10].

С увеличением содержания поврежденного крахмала возрастает слеживаемость муки [11].

Путем двукратного измельчения зерна в шаровой мельнице *Hackenberg S.* с соавт. получили высокомеханически модифицированную пшеничную муку с уровнем механической модификации (разрушения) крахмала 7,46–8,15 г/100 г муки, тогда как в образце, полученном на вальцовой мельнице, наблюдался умеренный уровень механической модификации крахмала – 4,78 г/100 г муки [12]. Авторами отмечено, что при замесе теста из муки с высокой степенью разрушения крахмала клейковинная сеть имела разрывы и наблюдались участки плотных скоплений, образованных гранулами крахмала.

Объяснением такого явления может служить повышенная способность разрушенных крахмальных гранул к набуханию в присутствии жидкости с образованием капиллярных мостиков между соседними частицами при возникновении сил адгезии [13]. *Dörmann M.* И *Schmid H.* – J. установлено, что набухшие гранулы

крахмала могут сильнее взаимодействовать друг с другом, так как капиллярная сила возрастает с увеличением размера частиц [13]. Преобладание в пшеничной муке частиц размером 25–43 мкм приводит к изменению параметров клейстеризации (температуры, вязкости) [14–16]. Также могут возникать изменения на молекулярном уровне при взаимодействии поверхности механически поврежденной крахмальной гранулы с окружающим белком [5]. В результате перечисленных процессов, хлеб из муки с чрезмерно механически поврежденным крахмалом, имел низкий удельный объем. Для улучшения качества продукции из муки с высокой степенью повреждения крахмала *Hackenberg S.* с соавт. было рекомендовано увеличивать продолжительность замеса теста, что будет способствовать образованию более разветвленной и непрерывной структуры клейковины [6].

Общепринятой методикой определения содержания поврежденного крахмала является амперометрическая, результат определения выражают в единицах Шопен–Дюбуа (UCD) [17].

Необходимо отметить, что наиболее целесообразно рассматривать вопрос о содержании поврежденного крахмала в муке в комплексе с другими показателями, характеризующими количество и качество белков (рисунок 2) [18], способность полимеров муки (белков, поврежденного крахмала, пентозанов) связывать различные диагностические растворители (solvent retention capacity) [19].

Цель работы – исследование взаимосвязи между содержанием поврежденного крахмала в пшеничной муке высшего сорта и способностью удерживать растворитель на примере образцов муки, выработанной на промышленных мукомольных предприятиях и в условиях мини-производств.

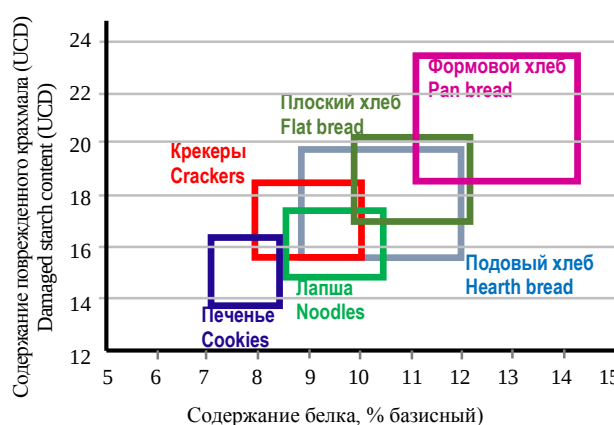


Рисунок 2. Рекомендации по выбору пшеничной муки с учетом оптимального содержания в ней поврежденного крахмала и белка для выработки целевых групп мучной продукции [18]

Figure 2. Recommendations for the selection of wheat flour taking into account the optimal content of damaged starch and protein for the production of target groups of flour products [18]

¹ термины «водоудерживающая» или «водопоглотительная способность», или «водопоглощение» используются в

зависимости от применяемой методики оценки способности муки связывать и удерживать воду

Объекты и методы

Объектами исследований являлись 13 образцов пшеничной муки высшего сорта, приобретенные в магазинах розничной торговли г. Воронеж,

а также на маркетплейсах: 11 образцов произведены на высокопроизводительных мукомольных предприятиях (9 российских и 2 белорусских), а 2 образца – на российских мини-предприятиях (таблица 1).

Таблица 1.

Table 1.

Образцы муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта
Samples of premium grade wheat flour

Основные данные Basic data	Номер образца Sample number												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Торговая марка Trademark	Мука «Императорский рецепт» Flour "Imperial recipe"	Тверской Мелькомбинат, 140 лет Tverskoy Melkombinat, 140 years	С. Пудовь S. Pudov	Увелка Uvelka	MAKFA MAKFA	Курский комбинат хлебопродуктов Kursk Bread Products Plant	Мука посольская Ambassadorial flour	Славна Slavna	ОАО Мелькомбинат Бутурлиновский OJSC Melkombinat Buturlinovsky	Мука «Шугуровская» Flour "Shugurovskaya"	Черный хлеб Black bread	Климовичский комбинат хлебопродуктов Klimovich grain products plant	Лидская Мука Lida Flour
Город, изготовитель City, manufacturer	Воронежская обл., г. Воронеж, АО «Мукомольный комбинат «Воронежский» Voronozhsk region, Voronezh, JSC "Voronozhsk Flour Mill"	Тверская область, г. Тверь, ОАО «Мелькомбинат» Tver region, Tver, OJSC "Melkombinat"	Саратовская обл., г. Балашихов, АО «Балком» Saratov region, Balashov, JSC "Balkom-bread-product"	Челябинская обл., пос. Увельский, АО КХП «ЗЛАК» Chelyabinsk region, village Uvelskiy, JSC KHP "CEREAL"	Ставропольский край, г. Георгиевск, АО МАКФА Stavropol'skiy region, Georgievsk, JSC MAKFA	Курская обл., г. Курск, АО «Курский комбинат хлебопродуктов» Kursk region, Kursk, JSC "Kursk Combine of bakery products"	Орловская обл., пгт. Верховье, ООО «Наш союз» Orlov region, village Upper reaches, Nash Soyuz LLC	Белгородская обл., г. Старый Оскол, АО «Комбинат хлебопродуктов Старооскольский» Belgorod region, Staroy Oskol, JSC "Combine of bread products Starooskolskiy"	Воронежская обл., г. Бутурлиновка, ОАО «Бутурлиновский мелькомбинат» Voronozhsk region, Buturlinovka, OJSC "Buturlinovskiy melkombinat"	Пензенская обл., пос. Красное Полюе, ТНВ «Пугачевское» Penzance-kaya region, village The Red Field, FBP "Pugachevskoye"	Тульская обл., д. Хатманово, ООО «Черный хлеб» Tula region, village Khatmanovo, LLC "Cherny Khleb"	Могилевская обл., г. Климовичи, ОАО «Климовичский комбинат хлебопродуктов» Mogilev region, Klimovich city, OJSC "Klimovichki bakery plant"	Гомельская обл., г. Лида, ОАО «Лидский хлебопродукт» Gomel region, Lida, OJSC "Lidaskhleboprodukt"
Дата упаковки Date of packing	29.12.23 г. 29.12.23	09.02.24 г. 09.02.24	07.04.23 г. 07.04.23	27.01.24 г. 27.01.24	23.10.23 г. 23.10.23	18.11.23 г. 18.11.23	20.09.23 г. 20.09.23	10.02.24 г. 10.02.24	25.09.23 г. 25.09.23	22.02.24 г. 22.02.24	07.03.24 г. 07.03.24	27.04.23 г. 27.04.23	28.11.23 г. 28.11.23
Внешний вид упаковки Appearance of the packaging													
Страна производитель Country of origin	Российская Федерация Russian Federation												
	Республика Беларусь Republic of Belarus												

Массовую долю влаги определяли методом высушивания в сушильном шкафу ЕМ10 по ГОСТ 13586.5, содержание поврежденного крахмала – с помощью анализатора SDmatic по ГОСТ ISO 17715, способность муки удерживать растворитель (solvent retention capacity, SRC) – на анализаторе SRC-Chopin по методике [19, 20].

Результаты и обсуждение

Все проанализированные образцы пшеничной муки высшего сорта соответствовали требованию ГОСТ 26574 по влажности: ее значения колебались в интервале от 9,2 до 13,1% (рисунок 3), причем минимальное и максимальное значения отмечены у образцов муки, выработанной в условиях мини-производств. Мука крупных промышленных производителей характеризовалась значительно меньшим разбросом значений по влажности – 10,2–12,2%.

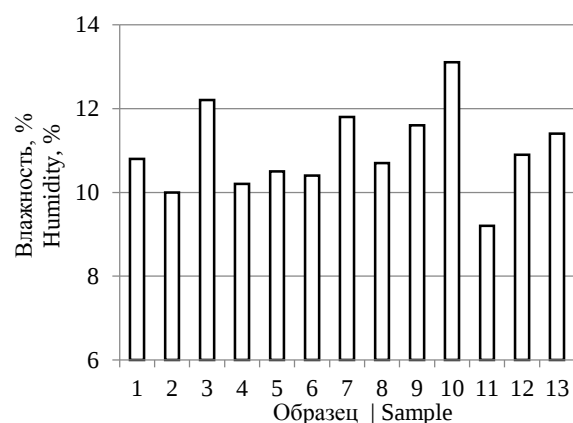


Рисунок 3. Влажность образцов пшеничной муки высшего сорта различных производителей

Figure 3. Moisture content of premium wheat flour samples from various manufacturers

Результаты определения содержания поврежденного крахмала в образцах муки на приборе SDmatic представлены на рисунок 4.

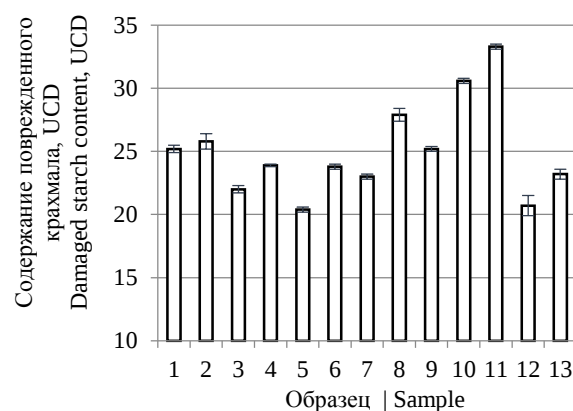


Рисунок 4. Содержание механически поврежденного крахмала в пшеничной муке высшего сорта различных производителей

Figure 4. Content of mechanically damaged starch in premium wheat flour of various manufacturers

Анализируя данные, представленные на рисунок 4, можно констатировать чрезмерно высокую степень повреждения крахмала в муке образцов под номером 10 и 11, выработанных на мини-предприятиях: 30,6 и 33,3 UCD (соответственно). В пшеничной муке высшего сорта крупных промышленных производителей этот показатель варьируется в интервале 20,4–27,9 UCD, что согласуется с данными Мелешкиной Е.П. с соавт. [7]. Полученные экспериментальные данные могут быть полезны для принятия решения о способах корректировки технологического процесса с целью улучшения качества вырабатываемой мучной продукции, поскольку ряд проб имел повышенные значения UCD, что свидетельствует о большем количестве разрушенных гранул крахмала. Экспериментально установлены ориентировочные значения UCD, при которых мука в большей или меньшей степени подходит для выработки определенных групп изделий. Так, для производства формового хлеба целесообразно использовать пшеничную муку с содержанием поврежденного крахмала 19–24 UCD (рисунок 2), а для производства хлеба французского типа (багет) – 17–20 UCD [4, 7, 18].

Поскольку с повышением степени механического повреждения крахмальных гранул в муке одновременного происходят изменения и в белковых веществах, то дополнительная информация о способности муки удерживать растворитель (SRC), дает возможность технологам проанализировать индивидуальный вклад каждого полимера муки (белки, поврежденный крахмал, пентозаны) в ее общую функциональность и позволит принять верное решение о целевом использовании конкретной партии муки или необходимости корректировки ее свойств или параметров технологического процесса производства мучных изделий [19]. SRC-тест (в международной классификации AACC 56–11.02) – это сольватационный тест для муки, в котором используется избыток диагностического растворителя, создаются условия для набухания полимеров. В качестве диагностических растворителей используют деионизированную (или дистиллированную) воду, 5% водный раствор молочной кислоты, 5% водный раствор Na_2CO_3 , 50% водный раствор сахарозы [19, 20].

Выбор диагностических растворителей обусловлен следующим. Вода является универсальным (эталонным) растворителем, поскольку в ней способны к гидратации и набуханию все функционально значимые полимерные компоненты муки (белки, поврежденный крахмал, пентозаны), хотя и в различной степени. Глюteniны способны к максимальному набуханию в разбавленном растворе молочной кислоты,

амилопектин поврежденных крахмальных гранул (в отличие от нативного крахмала) – в разбавленном водном растворе Na_2CO_3 , а пентозаны – в концентрированном водном растворе сахарозы [19]. Результаты SRC-теста для проанализированных образцов пшеничной муки высшего сорта представлены в виде гистограммы на рисунок 5.

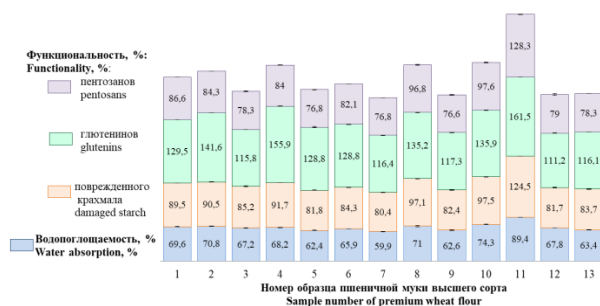


Рисунок 5. Гистограмма способности полимеров пшеничной муки высшего сорта удерживать растворитель (SRC)

Figure 5. Histogram of the solvent retention capacity of premium wheat flour polymers

Максимальные значения водопоглощаемости (рисунок 5) отмечены в образцах под номерами 10 и 11 (мини-предприятия), а максимальные значения SRC для всех диагностических растворов – в образце муки под номером 11. Среди образцов муки, произведенных крупными мелькомбинатами, образец под номером 4 обладал максимальной функциональностью глютеинов.

Сравнение данных о содержании поврежденного крахмала (рисунок 4) со значениями функциональности поврежденного крахмала (рисунок 5) свидетельствуют о наличии определенной корреляции между ними для большинства проанализированных образцов.

На основе данных SRC-теста проведен расчет индекса эффективности клейковины (GPI) по формуле [19]: $GPI = \frac{SRC_{LA}}{SRC_{SC} + SRC_{Suc.}}$, где SRC_{LA} , SRC_{SC} , $SRC_{Suc.}$ – значения, полученные при использовании растворов молочной кислоты, карбоната натрия и сахарозы (соответственно). Полученные результаты представлены в виде гистограммы на рисунок 6.

Индекс эффективности глютена учитывает вклад в функциональность муки всех основных полимеров (глютеина, поврежденного крахмала, пентозанов), что комплексно и более объективно характеризует ее хлебопекарные свойства. Максимальное значение GPI отмечено в образце под номером 4 – 0,89, что вероятно связано с регионом выращивания зерна (на Урале и в Сибири произрастает пшеница с сильной по качеству клейковине), минимальное значение – 0,64 в образце под номером 11, полученном на мини-предприятии.

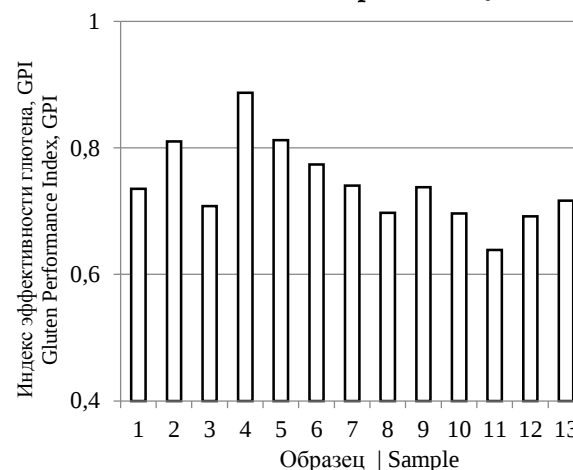


Рисунок 6. Значения индекса эффективности глютена (GPI) пшеничной муки высшего сорта различных производителей

Figure 6. Gluten Performance Index (GPI) values of premium wheat flour from different manufacturers

Заключение

Анализ всей совокупности представленных в статье экспериментальных данных свидетельствует о возможности получения обширной взаимодополняющей информации о хлебопекарных качествах пшеничной муки высшего сорта с помощью амперометрического метода определения содержания поврежденного крахмала и SRC-теста с набором диагностических растворов. Эта информация может быть использована на хлебопекарных, кондитерских и макаронных предприятиях, что позволит выбрать поставщика муки, максимально соответствующей для выработки высококачественной продукции из разных товарных сегментов (формовой хлеб, плоский хлеб (лаваш), лепешки, печенье, крекеры и т. п.). Вопрос о существовании устойчивой корреляционной зависимости между характеристиками поврежденного крахмала в муке, полученными с помощью амперометрического метода и SRC-теста, требует дальнейшего изучения.

Мука, выработанная крупными мелькомбинатами, характеризуется меньшей вариабельностью показателей качества по сравнению с мини-предприятиями. Выявленные различия в исследованных образцах муки по содержанию поврежденного крахмала и способности удерживать растворитель (SRC) могут служить основанием для дальнейшей классификации по направлениям ее использования.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-26-00275, <https://rscf.ru/project/24-26-00275/>.

Литература

- 1 ГОСТ Р (Проект, первая редакция) Мука пшеничная для экспорта. URL: https://vniiz.org/fm_content_folder/uploads/gost/gost-project/tk002/project_GOST_wheat_flour_export_red1.pdf?ysclid=m3sp9d5kv3786013958
- 2 Tapan N.A., Günay M.E., Yildirim N. Application of Machine Learning for the Determination of Damaged Starch Ratio as an Alternative to Medcalf and Gilles Principle // Food Analytical Methods. 2023. V. 16. P. 604–614. doi: 10.1007/s12161-022-02442-9
- 3 Liu X., Xiao X., Liu P. et al. Shear degradation of corn starches with different amylose contents. // Food Hydrocoll. 2017. V. 66. P. 199–205. doi: 10.1016/j.foodhy.2016.11.023
- 4 Bojanić N., Rakić D., Fišteš A. Effects of Roller Milling Parameters on Wheat-Flour Damaged Starch: A Comprehensive Passage Analysis and Response-Surface Methodology Optimization. // Foods (Basel, Switzerland). 2024. V.13. № 21. P. 3386. doi: 10.3390/foods13213386
- 5 Barrera G.N., Calderón-Domínguez G., Chanona-Pérez J. et al. Evaluation of the mechanical damage on wheat starch granules by SEM, ESEM, AFM and texture image analysis // Carbohydrate polymers. 2013. V. 98. № 2. P. 1449–1457. doi: 10.1016/j.carbpol.2013.07.056
- 6 Hackenberg S., Vogel C., Scherf K.A. et al. Impact of altered starch functionality on wheat dough microstructure and its elongation behavior // Food Chem. 2019. V. 290. P. 64–71. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.03.016
- 7 Мелешкина Е.П., Коломиец С.Н., Жильцова Н.С. Количество поврежденного крахмала в муке лабораторного и производственного помолов // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 3. С. 67–73. doi: 10.20914/2310-1202-2023-3-67-7373
- 8 Lin S., Gao J., Jin X. et al. Whole-wheat flour particle size influences dough properties, bread structure and in vitro starch digestibility // Food Funct. 2020. № 11(4). pp. 3610–3620. doi:10.1039/c9fo02587a
- 9 Teobaldi A.G., Barrera G.N., Severini H., Ribotta P.D. Influence of damaged starch on thermal and rheological properties of wheat starch and wheat starch-gluten systems in water and sucrose // J Sci Food Agric. 2023. V. 103. № 3. P. 1377–1384. doi: 10.1002/jsfa.12231
- 10 Ma S., Li L., Wang X.X. et al. Effect of mechanically damaged starch from wheat flour on the quality of frozen dough and steamed bread // Food Chem. 2016. V. 202. P. 120–124. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.01.075
- 11 Siliveru K., Ambrose R.K., Vadlani P.V. Significance of composition and particle size on the shear flow properties of wheat flour // Sci Food Agric. 2017. № 97(8). P. 2300–2306. doi:10.1002/jsfa.8038
- 12 Hackenberg S., Jekle M., Becker T. Mechanical wheat flour modification and its effect on protein network structure and dough rheology // Food chemistry. 2018. V. 248. P. 296–303. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.12.054
- 13 Dörmann M., Schmid H.-J. Simulation of capillary bridges between particles // Procedia Engineering. 2015. V. 102. P. 14–23.
- 14 Guan E., Yang Y., Pang J. et al. Ultrafine grinding of wheat flour: Effect of flour/starch granule profiles and particle size distribution on falling number and pasting properties. // Food Sci Nutr. 2020. V. 8. № 6. P. 2581–2587. doi: 10.1002/fsn3.1431
- 15 Wang N., Li C., Miao D. et al. The effect of non-thermal physical modification on the structure, properties and chemical activity of starch: A review // Int J Biol Macromol. 2023. V. 251. P. 126200. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2023.126200
- 16 Zhang K., Dai Y., Hou H. et al. Influences of grinding on structures and properties of mung bean starch and quality of acetylated starch // Food Chem. 2019. V. 294. P. 285–292. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.05.055
- 17 ГОСТ ISO 17715–2015. Мука из мягкой пшеницы. Амперометрический метод определения поврежденного крахмала. Москва: Стандартинформ, 2016. 11 с.
- 18 KPM Analytics. URL: <https://www.kpmanalytics.com/articles-insights/damaged-starch-impact-on-baking>
- 19 Kweon M., Slade L., Levine H. Solvent Retention Capacity (SRC) Testing of Wheat Flour: Principles and Value in Predicting Flour Functionality in Different Wheat-Based Food Processes and in Wheat Breeding-A Review // Cereal Chem. 2011. V. 88. № 6. P. 537–552.
- 20 Автоматическое измерение раствороудерживающей способности муки (SRC). URL: <https://agrofaktor.by/wp-content/uploads/2017/08/src-chopin-doc6pages-ru-151202.pdf>

References

- 1 GOST R (Draft, first edition) Wheat flour for export. Available at: https://vniiz.org/fm_content_folder/uploads/gost/gost-project/tk002/project_GOST_wheat_flour_export_red1.pdf?ysclid=m3sp9d5kv3786013958 (in Russian).
- 2 Tapan N.A., Günay M.E., Yildirim N. Application of Machine Learning for the Determination of Damaged Starch Ratio as an Alternative to Medcalf and Gilles Principle. Food Analytical Methods. 2023. vol. 16. pp. 604–614. doi: 10.1007/s12161-022-02442-9
- 3 Liu X., Xiao X., Liu P. et al. Shear degradation of corn starches with different amylose contents. Food Hydrocoll. 2017. vol. 66. pp. 199–205. doi: 10.1016/j.foodhy.2016.11.023
- 4 Bojanić N., Rakić D., Fišteš A. Effects of Roller Milling Parameters on Wheat-Flour Damaged Starch: A Comprehensive Passage Analysis and Response-Surface Methodology Optimization. Foods (Basel, Switzerland). 2024. vol.13. no. 21. pp. 3386. doi: 10.3390/foods13213386
- 5 Barrera G.N., Calderón-Domínguez G., Chanona-Pérez J. et al. Evaluation of the mechanical damage on wheat starch granules by SEM, ESEM, AFM and texture image analysis. Carbohydrate polymers. 2013. vol. 98. no. 2. pp. 1449–1457. doi: 10.1016/j.carbpol.2013.07.056
- 6 Hackenberg S., Vogel C., Scherf K.A. et al. Impact of altered starch functionality on wheat dough microstructure and its elongation behavior. Food Chem. 2019. vol. 290. pp. 64–71. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.03.016
- 7 Meleshkina E.P., Kolomiets S.N., Zhiltsova N.S. The amount of damaged starch in laboratory and industrial milled flour. Proceedings of VSUET. 2023. vol. 85. no. 3. pp. 67–73. doi: 10.20914/2310-1202-2023-3-67-7373 (in Russian).

- 8 Lin S., Gao J., Jin X. et al. Whole-wheat flour particle size influences dough properties, bread structure and in vitro starch digestibility. Food Funct. 2020. no. 11(4). pp. 3610–3620. doi:10.1039/c9fo02587a
- 9 Teobaldi A.G., Barrera G.N., Severini H., Ribotta P.D. Influence of damaged starch on thermal and rheological properties of wheat starch and wheat starch-gluten systems in water and sucrose. J Sci Food Agric. 2023. vol. 103. no. 3. pp. 1377–1384. doi: 10.1002/jsfa.12231
- 10 Ma S., Li L., Wang X.X. et al. Effect of mechanically damaged starch from wheat flour on the quality of frozen dough and steamed bread. Food Chem. 2016. vol. 202. pp. 120–124. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.01.075
- 11 Siliveru K., Ambrose R.K., Vadlani P.V. Significance of composition and particle size on the shear flow properties of wheat flour. Sci Food Agric. 2017. no. 97(8). pp. 2300–2306. doi:10.1002/jsfa.8038
- 12 Hackenberg S., Jekle M., Becker T. Mechanical wheat flour modification and its effect on protein network structure and dough rheology. Food chemistry. 2018. vol. 248. pp. 296–303. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.12.054
- 13 Dörmann M., Schmid H.-J. Simulation of capillary bridges between particles. Procedia Engineering. 2015. vol. 102. pp. 14–23.
- 14 Guan E., Yang Y., Pang J. et al. Ultrafine grinding of wheat flour: Effect of flour/starch granule profiles and particle size distribution on falling number and pasting properties. Food Sci Nutr. 2020. vol. 8. no. 6. pp. 2581–2587. doi: 10.1002/fsn3.1431
- 15 Wang N., Li C., Miao D. et al. The effect of non-thermal physical modification on the structure, properties and chemical activity of starch: A review. Int J Biol Macromol. 2023. vol. 251. pp. 126200. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2023.126200
- 16 Zhang K., Dai Y., Hou H. et al. Influences of grinding on structures and properties of mung bean starch and quality of acetylated starch. Food Chem. 2019. vol. 294. pp. 285–292. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.05.055
- 17 GOST ISO 17715–2015. Soft wheat flour. Amperometric method for the determination of damaged starch. Moscow, Standartinform, 2016. 11 p. (in Russian).
- 18 KPM Analytics. Available at: <https://www.kpmanalytics.com/articles-insights/damaged-starch-impact-on-baking>
- 19 Kweon M., Slade L., Levine H. Solvent Retention Capacity (SRC) Testing of Wheat Flour: Principles and Value in Predicting Flour Functionality in Different Wheat-Based Food Processes and in Wheat Breeding-A Review. Cereal Chem. 2011. vol. 88. no. 6. pp. 537–552.
- 20 Automatic measurement of the solution holding capacity of flour (SRC). Available at: <https://agrofaktor.by/wp-content/uploads/2017/08/src-chopin-doc6pages-ru 151202.pdf>

Сведения об авторах

Ирина М. Жаркова д.т.н., доцент, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, zharir@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-8662-4559>

Инесса В. Плотнокова к.т.н., доцент, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, plotnikova_2506@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-5959-6652>

Данил Иванчиков магистрант, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ivanchikov_99@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-9814-6005>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Irina M. Zharkova Dr. Sci. (Engin.), Bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, zharir@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-8662-4559>

Inessa V. Plotnikova Cand. Sci. (Engin.), Bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, plotnikova_2506@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-5959-6652>

Danil Ivanchikov postgraduate student, Bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, ivanchikov_99@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-9814-6005>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 11/08/2024	После редакции 14/09/2024	Принята в печать 24/09/2024
Received 11/08/2024	Accepted in revised 14/09/2024	Accepted 24/09/2024