

Определение эффективности способов конверсии пшеничных отрубей для использования их в технологии продуктов питания

Погорелова Наталья Анатольевна

ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет им. П.А.Столыпина»

Адрес: 644008, город Омск, Институтская площадь, дом 1

E-mail: na.pogorelova@omgau.org

Гаврилова Наталья Борисовна

ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет им. П.А.Столыпина»

Адрес: 644008, город Омск, Институтская площадь, дом 1

E-mail: gavrilov49@mail.ru

Рогачев Евгений Анатольевич

ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет»

Адрес: 644050, город Омск, проспект Мира, дом 11

E-mail: evg.rogachev@ya.ru

Щетинина Елена Михайловна

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

Адрес: 656000, город Барнаул, проспект Ленина, дом 46

E-mail: schetinina2014@bk.ru

В работе исследовали эффективность распада полисахаридов пшеничных отрубей кислотным и ферментативным способами. Проведен сравнительный анализ биотрансформации растительных полимеров нативных и механически активированных пшеничных отрубей мультиэнзимными комплексами: амилалитического, глюколитического и целлюлолитического действия. С целью модификации белковых компонентов пшеничных отрубей использовали композицию ферментных препаратов амилалитического и протеолитического действия. Количественный и качественный состав моно- и дисахаридов в полученных гидролизатах определяли методом ВЭЖХ, содержание аминного азота – методом Поппе-Стевенса. Установлено, что при высокотемпературном химическом гидролизе полисахаридов образуется высокий уровень пентоз – 62,4 мг/г сырья; увеличилось общее содержание моно- и дисахаридов до 125,6 мг/г пшеничных отрубей. При ферментативном методе обработки как нативных так и механически обработанных пшеничных отрубей комплексом препаратов: ГлюкоЛюкс А (1%), АмилоЛюкс АТС (0,5%), ЦеллоЛюксА (0,5%) определено наибольшее суммарное содержание моно- и дисахаридов – 215,2 и 216,8 мг/г отрубей соответственно, что выше в 1,7 раза в сравнении с композицией ферментов протеолитического действия. Установлено содержание аминного азота при биоконверсии комплексом ферментных препаратов Протеаза кислая и Биоферм составила 39,52 мг/г сырья.

Ключевые слова: биоконверсия, пшеничные отруби, ферментные препараты, гидролиз полисахаридов, вторичное растительное сырье, аминный азот, хроматографический метод

Введение

Во всем мире организации, которые занимаются вопросами продовольствия и здравоохранения, рекомендуют увеличить потребление цельно-

зерновых злаков, основываясь на результатах исследований о снижении риска некоторых хронических заболеваний при включении в рацион большего количества цельнозерновых продуктов (Frølich, Aman, Tetens, 2013, p. 57-62). Цельные злаки являются ценным источником макронутриентов, а также пищевых волокон, минеральных

веществ и фенольных соединений. При этом необходимо отметить, что и структура и текстура зерновых продуктов положительно влияет на здоровье человека (Frølich, 2013). В этом смысле одной из наиболее важных задач по увеличению потребления здоровых продуктов с использованием зерновых культур, является улучшение их потребительской привлекательности. Разработка новых технологий для улучшения сенсорных и технологических свойств пшеничных отрубей и цельнозерновой муки может также уменьшить различия в качестве цельного зерна по сравнению с рафинированным зерновым хлебом (Poutanen, 2012, p. 58-62).

В настоящее время основной причиной низкой степени использования пшеничных отрубей в хлебопекарной промышленности является грубая текстура, горький и острый вкус и грубый вкус хлеба, вызванный отрубями (Zhang, Moore, 1999, p. 805-809). Более того, включение в рецептуру теста пшеничных отрубей вызывает технологические сложности. Было показано, что добавление фракций отрубей в белую муку отрицательно влияет как на свойства теста, так и на качество выпечки хлеба, что связано с негативным действием отрубей на образование клейковинного каркаса (Noort, Haaster, Hemery, Schols, Name, 2010, p. 59-64). Добавка отрубей может влиять на крахмал-глютеновую матрицу (на гидрофильность глютена и гидратацию белка), что отрицательно сказывается на структуре теста пшеницы (Laurikainen, Härkönen, Autio, Poutanen, 1998, p. 239-249; Rosell, Santos, Collar, 2006, p. 333-340).

В связи с этим предложены новые методы сухого фракционирования для улучшения свойств отрубей при выпечке, разрабатываются новые технологии процессов их трансформации для лучшего использования питательного потенциала (Delcour, Rouaou, Courtina, Poutanen, Ranieri, 2012, p. 78-86). В производстве нутрицевтиков и функциональных пищевых продуктов перспективными являются биотрансформация, микро- и нанотехнологии (Chen, Weiss, Shahidi, 2006, p. 30-36). В пищевых продуктах определено, что уменьшение размера частиц различных растительных материалов, богатых клетчаткой, изменяет структуру, площадь поверхности и функциональные свойства растительного сырья (Hemery, Chaurand, Holopainen, Lampi, Lehtinen, Piironen, 2011, p. 1-8). Исследования пищевой ценности хлеба, обогащенного отрубями, показали, что биодоступность фенольных кислот и минералов улучшалась с уменьшением размера частиц отрубей и увеличением количества измельченных

частиц алейронового слоя (Hemery, Mabilie, Martelli, Rouaou, 2010, p. 360-369). С этой точки зрения для пищевой промышленности использование мелких фракции отрубей дает возможность получения новых функциональных ингредиентов в производстве некоторых пищевых продуктов (Esposito, Arlotti, Bonifati, Napolitano, Vitale, Fogliano, 2005, p. 1167-1173). Важно учитывать, что кроме пищевой ценности, в основном связанной с пищевыми волокнами, фенольными и минеральными веществами, отруби оказывают негативное влияние на органолептические и технологические свойства продуктов, что ограничивает их использование в качестве пищевого ингредиента в целом и в производстве хлебобулочных изделий в частности.

Одним из способов преодоления этого эффекта является предварительная биологическая обработка отрубей ферментами, специальными заквасочными дрожжевыми и молочнокислыми бактериями и/или ферментами, разрушающими клеточную стенку (Delcour, et al., 2012; Pogorelova, 2017, p. 1705-1710), что увеличивает содержание биологически активных соединений в хлебе с последующим возможным положительным физиологическим эффектом (Mateo Anson, Aura, Selinheimo, Mattila, Poutanen, van den Berg, Havenaar, Bast, Haenen, 2011, p. 137-143). Использование методов биотрансформации показано и для улучшения биодоступности соединений пшеничных отрубей полезных для здоровья (Coda, Kärki, Nordlund, Heiniö, Poutanen, Katina, 2014, p. 69-77; Katina, Laitila, Juvonen, Liukkonen, Kariluoto, Piironen, 2007, p. 175-186; Mateo Anson, van den Berg, Havenaar, Bast, Haenen, 2009, p. 296-300). В процессе ферментации компоненты зерна модифицируются под действием как отдельных ферментных препаратов, так и экзогенных бактериальных ферментов, что влияет на их структуру, биологическую активность и усвояемость (Hole, Rud, Grimmer, Sigle, Narvhus, Sahlström, 2012, p. 6369-6375). Определено, что ферментация с участием дрожжей улучшает биологическую активность и хлебопекарные свойства пшеничных отрубей и приводит к солибилизации арабиноксиланов (Katina, Juvonen, Laitila, Flander, Nordlund, Kariluoto, 2012, p. 126-134). Ферментация может оказывать влияние на качество пищевых продуктов из цельного зерна и воздействие их на здоровье человека. Например, биотрансформация молочнокислыми бактериями улучшает питательные свойства, а также структуру и вкусовые качества цельного зерна и продуктов, богатых клетчаткой (Poutanen, Flander, Katina, 2009, p. 693-699). Такая предварительная обработка повы-

шает уровень биологически активных пептидов, растворимость пищевых волокон и минеральную биодоступность, а также снижает гликемический индекс (Rizzello, Cassone, DiCagno, Gobbetti, 2008, p. 6936-6943). Определено, что ферментация отрубей амилолитическими и фитодеградирующими ферментами повысило биодоступность минеральных веществ и уменьшило негативное действие отрубей на технологические показатели теста (Sanz-Penella, Collar, Haros, 2008, p. 715-721). Поэтому биодegradация пшеничных отрубей амилолитическими ферментами является важным технологическим этапом для получения конкретных результатов, и определение соотношения ферментных препаратов является определяющей для успешных деструкции полимеров растительного сырья.

Переработка растительного сырья осложнена его химическим составом. Очевидно, что в комплексном лигноцеллюлозном сырье, к которому относятся пшеничные отруби, процессы кислотного или ферментативного разложения полимеров будут происходить неравномерно. Исследования по определению количества структурообразующих компонентов сырья до обработки, а также контроль за выходом целевых веществ в процессе гидролиза являются актуальными. Определение изменения качественного и количественного состава углеводов и растворимых белковых соединений на различных технологических этапах биоконверсии углеводсодержащего сырья значим для дальнейшего производства не только для получения кормового белка и биоэтанола, но и для производства пищевых продуктов функционального назначения.

Целью настоящего исследования является оценка эффективности способов конверсии компонентов вторичного растительного сырья для использования их в технологии продуктов питания.

Для достижения поставленной цели поставлены следующие задачи:

1. На основании проведенных исследований высокотемпературного кислотного гидролиза полисахаридов растительного сырья определить качественный и количественный состав углеводов полученных гидролизатов;
2. Установить эффективность действия ферментных препаратов амилолитического, глюколитического и целлюлолитического действия и мультиэнзимной композиции на

их основе при биоконверсии продуктов переработки зерна пшеницы (отруби);

3. Исследовать биоконверсию механически активированных пшеничных отрубей, фракции со средним размером частиц до 100 мкм для определения зависимости содержания восстанавливающих сахаров от глубины размолла пшеничных отрубей;
4. Провести подбор композиции ферментных препаратов амилолитического и протеолитического действия с целью модификации белковых компонентов пшеничных отрубей.

Объекты и методы исследования

Объектами исследований являлись нативные пшеничные отруби производства ООО «МельКом» по ГОСТ Р 7169-66. Отруби. Технические условия.

Фракцию 100 мкм пшеничных отрубей получали методом механической активации (МА) в центробежной роликовой мельнице РМ-20, оснащенной водяным охлаждением (производство ИХТТМ СО РАН, г. Новосибирск). Мелющие тела – стальные ролики, зафиксированные на ведущих валах. Режимы механической обработки: 20 и 40 Гц.

Определение аминного азота проводили методом йодометрического титрования по методу Поппе-Стевенса (ОФС.1.2.3.0022.15 – Определение аминного азота методами формольного и йодометрического титрования). Сущность методики заключается во взаимодействии аминокислот в щелочном растворе с ионами двухвалентной меди. Навеску образца растворяют в воде и в присутствии тимолфталейна добавляют раствор гидроксида натрия до голубого окрашивания, после этого добавляют суспензию фосфата меди. Раствор фильтруют, далее проводят йодометрическое титрование в присутствии уксусной кислоты.

Проведение хроматографического анализа углеводов способом ВЭЖХ и электрофореза:

- подготовительные операции;
 - приготовление калибровочных растворов. В мерные колбы объемом 250 мл взяли навески стандартных веществ – лактозы, глюкозы, маннозы, ксилозы – для получения пяти калибровочных растворов с концентрацией каждого вещества 0,2; 0,4; 0,9; 1,5 мг/мл. Колбы довели до метки заранее приготовленным и охлажденным раствором 20% этилового спирта.

- приготовление производных для хроматографии: в пластиковые пробирки ёмкостью 1,5 мл с плотно закручивающейся крышкой поместили по 40 мкл калибровочных растворов, а также анализируемых гидролизатов пшеничных отрубей (гидролизаты были предварительно отцентрифугированы при 6000 об./мин в течение 15 минут). Затем в пробирки были добавлены: 100 мкл флуорофора, 100 мкл восстанавливающего агента и 100 мкл катализатора "Start-1". Пробирки встряхнули и установили в термостат при 30°C. Спустя 1 час в пробирки добавили ещё 20 мкм восстанавливающего агента, 100 мкм катализатора "Start-2" и поместили в термостат при 30°C. Реакционную смесь интенсивно встряхивали каждые полчаса, визуально контролировали уровень жидкости и образование пузырьков газа в пробирках. Спустя 7 часов в пробирки добавили ещё 20 мкм восстанавливающего агента, 100 мкм катализатора "Start-4" и поместили в термостат при 90°C. Спустя 30 минут пробирки вынули из термостата, охладили до комнатной температуры, а содержимое – использовали для анализа;
- проведение хроматографического анализа: опытные образцы и калибровочные точки анализировали на ВЭЖХ-хроматографе «Миллихром А-02». Сорбент хроматографической колонки Prontosil-C18 (ЗАО «Эконова, г. Новосибирск). Температура анализа 40°C. Давление в колонке – 3-7 МПа. Детектор фотометрический. Длины волн: 220 нм, 310 нм, 350 нм, 400 нм. Режим анализа – градиентный (растворитель Б – от 20 до 22% за 3000 мкл). Расход элюента 250 мкл/мин. Объём пробы – 2 мкл. Предпроба не использовалась;
- регистрация и обработка хроматограмм проводилась при помощи программного обеспечения «Мультихром», идущего в комплекте с хроматографом.

Обработку полученных результатов исследования проводили с помощью программ «Microsoft Excel 2010», «Microsoft Word 2010» и STATISTICA 6.0, которая включает в себя широкий набор основных статистик в понятном русифицированном интерфейсе со всеми преимуществами. Сущность расчета оптимального значения из огромной базы экспериментальных исследований состоит в том, что набор и обработка статистической информации осуществляется на специально подготовленных таблицах для усовершенствования технологических процессов глубокой переработки зерна и пшеничных

отрубей. Минимальное количество результатов наблюдений, регламентированное этим стандартом – три.

Результаты и их обсуждение

Наиболее признанным методом для анализа качественного и количественного состава моносахаридов, например, в гидролизатах крахмалсодержащего сырья является хроматография (газовая или жидкостная). Поэтому качественный и количественный состав гексоз: глюкоза + галактоза, манноза, сумма пентоз, сумма дисахаридов; определяли хроматографическим методом после химической предобработки серной кислотой, а также ферментативно обработанных нативных и измельченных до фракции 100 мкм пшеничных отрубей.

Выбрана композиция ферментных препаратов, которая способствовала наибольшей конверсии углеводов – ГлюкоЛюкс А (1%), АмилоЛюкс АТС (1%), ЦеллоЛюкс А (0,5%), концентрации ферментных препаратов взяты на единицу массы сырья. Перспективным, по нашему мнению, является включение препарата Протеаза кислая в комплекс ферментных препаратов амилолитического и ксилоназного действия с целью увеличения содержания растворимых белковых соединений. Для оценки реакционной способности механически обработанных отрубей исследовали ферментативно обработанную фракцию 100 мкм. Ферментативную обработку проводили при одинаковых условиях: температура 50°C, pH 4,5, время ферментации 6 часов, оптимальный гидромодуль 1:8. Условия проведения эксперимента были оптимальными для действия ферментов композиций в соответствии с рекомендациями, изложенными в спецификации фирм-производителей.

ВЭЖХ-анализ моносахаридов показал (Рисунок 1-3) наличие в гидролизатах глюкозы, ксилозы и незначительного количества маннозы, что характерно для моносахаридного состава отрубей.

Содержание глюкозы варьируется от 2,8 до 23,7 мг/мл, пентоз (в пересчёте на ксилозу) – от 0,2 до 7,8 мг/мл, маннозы – от 0,5 до 2,5 мг/мл. В образцах 1, 2 (Рисунок 1(А) и (В)) и 5 (Рисунок 3) обнаружены другие моносахариды неуставленной природы, предположительно, галактоза. Лактоза и другие дисахариды не были обнаружены ни в одном образце.

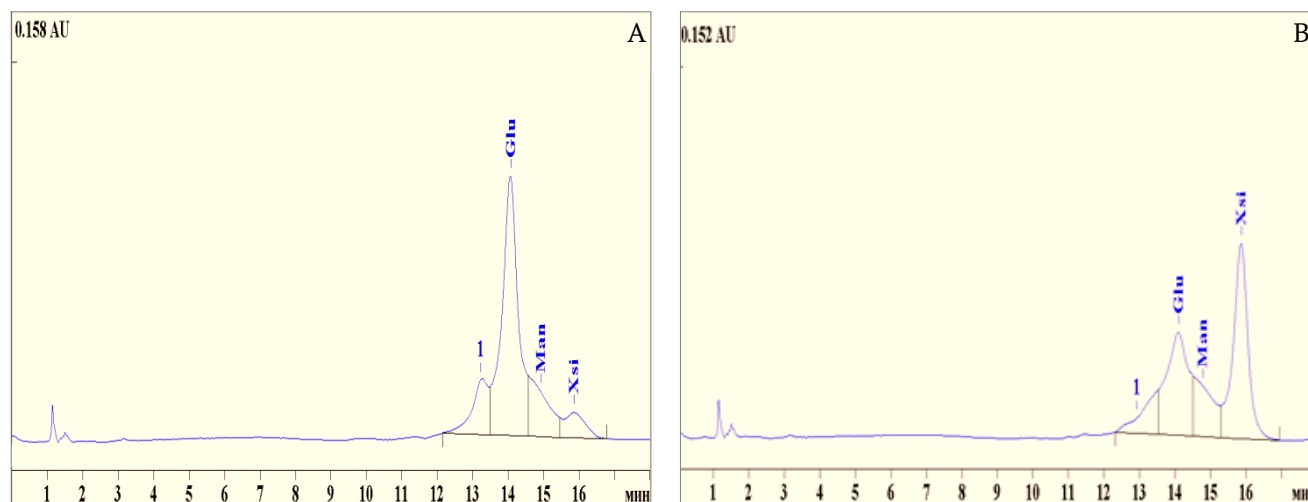


Рисунок 1. Хроматограмма экстракта нативных пшеничных отрубей (А) и гидролизата химически обработанных серной кислотой пшеничных отрубей (В).

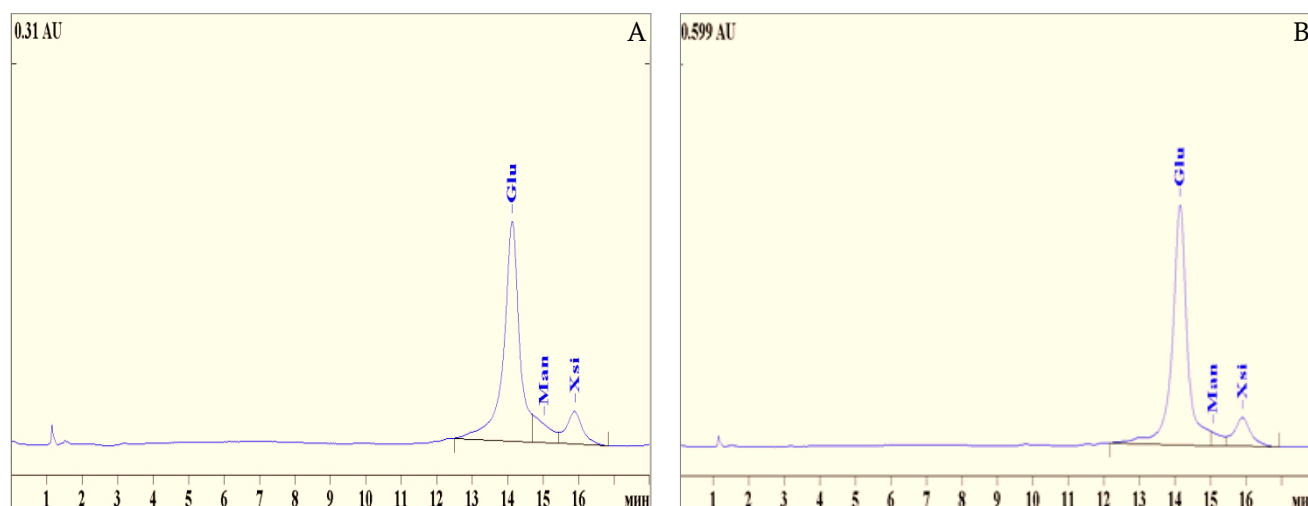


Рисунок 2. Хроматограмма гидролизата ферментативно обработанных комплексом: ГлюкоЛюкс А 1%, АмилоЛюкс АТС 0,5%, ЦеллоЛюкс А 0,5% пшеничных отрубей: (А) – нативных; (В) – фракции 100 мкм.

В предыдущих исследованиях (Погорелова, Молибога, Сарницкая, 2018, с. 31-35) определено высокое содержание редуцирующих веществ при гидролизе углеводов пшеничных отрубей серной кислотой. Поэтому актуальным является анализ качественного и количественного состава углеводов как при химическом, так и при ферментативном гидролизе полисахаридов растительного сырья. Результаты обработки хроматограмм в программе «Мультихром «ОАО «Амперсэнд» представлены в Таблице 1.

По данным хроматографического анализа, качественный и количественный состав гидролизатов моно- и дисахаридов различен. Так наибольшее содержание глюкозы определено при ферментативном гидролизе комплексом

препаратов ГлюкоЛюкс А 1%, АмилоЛюкс АТС 0,5%, ЦеллоЛюкс А 0,5% нативных и механически предобработанных (фракции размером 100 мкм) пшеничных отрубей, что составило 2,25% и 2,37% в гидролизате. А количество глюкозы на массу ферментативно обработанных этих образцов пшеничных отрубей составило 18,0 и 19,0% (180,0 и 189,6 мг/г сырья соответственно). Количество глюкозы в результате биоконверсии пшеничных отрубей комплексом ферментов АмилоЛюкс АТС (1%), Биоферм (0,5%) и Протеаза кислая (0,5%) ниже в 4,3 раза по сравнению с действием предыдущего комплекса препаратов амилазного и целлюлазного действия. Хочется заострить внимание, что в гидролизате пшеничных отрубей, обработанных комплексом АмилоЛюкс АТС (1%), Биоферм (0,5%) и Протеаза кислая (0,5%),

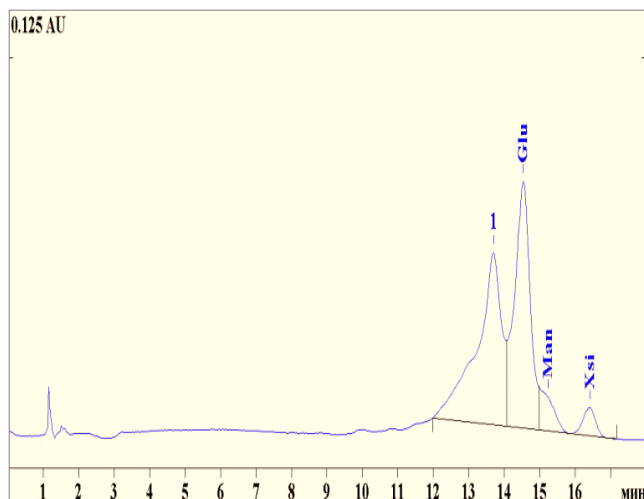


Рисунок 3. Хроматограмма гидролизата ферментативно обработанных нативных пшеничных отрубей комплексом: АмилоЛюкс АТС 1%, Биоферм 0,5%, Протеаза кислая 0,5%.

содержание неуставленного моносахарида сопоставимо с содержанием основного компонента – глюкозы.

Определено, что химическая обработка пшеничных отрубей в условиях высоких температур является эффективным методом гидролиза полисахаридов растительного сырья. Установлено, что максимальное содержание редуцирующих веществ (Погорелова, Молибога, Сарницкая, 2018, с. 31-35) достигает 0,45-0,49 г/г отрубей. Однако, количество глюкозы в гидролизате химически обработанных пшеничных отрубей ниже на 76%, чем при ферментативной обработке комплексом целлюлазных и амилазных ферментов, но одинаково при действии комплекса ферментов

амилолитического и протеолитического действия, что составило 43,2 мг/г отрубей (Таблица 1).

Наибольшее содержание маннозы определено при ферментативной обработке растительного сырья комплексом, включающим протеолитический фермент Протеаза Кислая, что составило 56,0 мг/г сырья. Количество маннозы при ферментативной обработке нативных и механически обработанных (фракция 100 мкм) пшеничных отрубей составляет 14,4 и 9,6 мг/г отрубей соответственно, что ниже в 1,4 раза по сравнению с химической обработкой.

Наиболее высокий уровень пентоз определен при химической обработке серной кислотой пшеничных отрубей, что составило 62,4 мг/г сырья. Содержание пентоз ниже при ферментативной обработке как комплексами амилолитических, целлюлазных и амилазных, так и протеолитических ферментных препаратов. Определены другие моносахариды, предположительно галактоза, в гидролизате ферментативно обработанного растительного сырья комплексом, включающим протеолитический фермент Протеаза Кислая, содержание которых составляет 28,0 мг/г пшеничных отрубей. В гидролизатах пшеничных отрубей выбранными методами биоконверсии других моносахаридов не обнаружено.

Таким образом, наибольшее суммарное содержание моно- и дисахаридов, значимых для дальнейшей биоконверсии растительного сырья микроорганизмами, установлено при ферментативном методе обработки как нативных, так и механически обработанных пшеничных отрубей комплексом препаратов ГлюкоЛюкс А (1%), АмилоЛюкс АТС (0,5%), ЦеллоЛюкс А

Таблица 1

Изменение содержания растворимых веществ химически и ферментативно обработанных пшеничных отрубей

Растворимые вещества, мг/мл Способ конверсии	Глюкоза	Манноза	Пентозы	Другие моносахариды	Аминный азот, мг/г отрубей
контроль	2,8	0,5	0,2	0,4	2,24
нативные отруби химически обработанные (C(H ₂ SO ₄) = 0,8%, T = 120°C, t _{гидролиза} = 45 мин)	5,4	2,5	7,8	0	2,46
ферментированные нативные отруби (ГлюкоЛюкс А 1% + АмилоЛюкс АТС 0,5% + ЦеллоЛюкс 0,5%)	22,5	1,8	2,6	0	2,69
ферментированные механически активированные отруби (ГлюкоЛюкс А 1% + АмилоЛюкс АТС 0,5% + ЦеллоЛюкс 0,5%)	23,7	1,2	2,2	0	2,24
ферментированные нативные отруби (Биоферм 0,5% + АмилоЛюкс АТС 0,5% + Протеаза кислая 0,5%)	5,2	7	0,5	3,5	4,94

(0,5%), и составило 215,2 и 216,8 мг/г отрубей соответственно. Обработка пшеничных отрубей химическим способом или комплексом с протеолитическим ферментным препаратом определяет одинаковый суммарный уровень моно- и дисахаридов в гидролизатах, который ниже в 1,7 раза в сравнении с комплексом амилалитических и амилазных ферментных препаратов.

Определение аминного азота подтвердило рабочую гипотезу о том, что ферментативная обработка растительного сырья повышает содержание растворимых белковых соединений. Так, при биоконверсии комплексом ферментных препаратов Биоферн (0,5%), АмилоЛюкс АТС (0,5%) и Протеаза кислая (0,5%) содержание аминного азота составило 39,52 мг/г сырья. Содержание растворимого аминного азота в гидролизатах пшеничных отрубей выбранными нами другими методами сохранялся на одинаковом уровне, но значительно ниже (в 2 раза) в сравнении с ферментативной обработкой комплексом, включающим препарат Протеаза кислая.

Количество сухих веществ в гидролизатах ферментативно обработанных нативных и механически измельченных до 100 мкм пшеничных отрубей максимально при биоконверсии комплексом препаратов АмилоЛюкс АТС (1,0%), ЦеллоЛюкс А (0,5%), Протеаза кислая (0,5%), и составило 5,31%, что выше контроля в 3,1 раза. Однако, содержание сухих веществ в гидролизатах нативных и механически обработанных отрубей при биоконверсии комплексом ГлюкоЛюкс А (1,0%), АмилоЛюкс АТС (0,5%), ЦеллоЛюкс А (0,5%) ниже на 12,8%, а содержание редуцирующих веществ больше в 1,7 раза, чем предыдущим комплексом с препаратом Протеаза кислая. Полученные результаты указывают на наибольшую степень биоконверсии полимеров растительного сырья с использованием препарата Протеаза кислая, о чем свидетельствует повышенное содержание сухих веществ в экстракте – 0,425 г/г отрубей, в сравнении с действием других комплексов ферментных препаратов.

Механическая обработка пшеничных отрубей способствует увеличению в экстракте количества сухих веществ на 6,1% и редуцирующих веществ на 2,1% при ферментативном гидролизе комплексом ГлюкоЛюкс А (1,0%), АмилоЛюкс АТС (1,0%), ЦеллоЛюкс А (0,5%) в сравнении с пшеничными отрубями, не подвергнутыми механическому воздействию (нативные).

Выводы

Химическая обработка серной кислотой является эффективным методом гидролиза полисахаридов пшеничных отрубей, однако условия высокотемпературного режима воздействия приводят к деградации сахаров, к низкому содержанию моно- и дисахаридов – 125,6 мг/г пшеничных отрубей и образованию побочных продуктов, которые в дальнейшем могут ингибировать процессы брожения в сравнении с ферментативной биоконверсией.

Механическая активация пшеничных отрубей с получением фракции 100 мкм не дает значимого эффекта для увеличения степени биоконверсии полисахаридов вследствие высокого удельного содержания крахмала.

Ферментативная обработка пшеничных отрубей комплексом ГлюкоЛюкс А, АмилоЛюкс АТС и ЦеллоЛюкс А приводит к синергизму гидролитического действия на полисахариды сырья, что выражается максимальным содержанием моно- и дисахаридов – 215,2 и 216,8 мг/г пшеничных отрубей.

Включение в комплекс ферментных препаратов АмилоЛюкс АТС, Биоферм препарата Протеаза Кислая способствует образованию растворимых белковых соединений, что подтверждается повышенным содержанием в гидролизатах аминного азота – 5,15 мг/г сырья.

Таким образом, биоконверсия полимеров пшеничных отрубей увеличивает содержание усвояемых в них нутриентов, а полученный продукт обладает функциональными свойствами и повышенной пищевой ценностью.

Литература

- Погорелова Н.А., Молибога Е.А., Сарницкая Н.А. Исследование процесса биоконверсии полимеров пшеничных отрубей ферментным препаратом протеолитического действия // Вестник Омского ГАУ. 2018. № 4(32). С. 31-35.
- Chen H.D., Weiss J.C., Shahidi F. Nanotechnology in nutraceuticals and functional foods // Food Technology. 2006. Vol. 60. P. 30-36.
- Coda R., Kärki I., Nordlund E., Heiniö R.-L., Poutanen K., Katina K. Influence of particle size on bioprocess induced changes on technological functionality of wheat bran // Food Microbiology. 2014. Vol. 37. P. 69-77.

- Coda R., Rizzello C.G., Curiel J.A., Poutanen K., Katina K. Effect of bioprocessing and particle size on the nutritional properties of wheat bran fractions // *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2014. Vol. 25. P. 19-27.
- Delcour J.A., Rouaub X., Courtina C.M., Poutanen K., Ranieri R. Technologies for enhanced exploitation of the health-promoting potential of cereals // *Trends in Food Science & Technology*. 2012. Vol. 25. P. 78-86.
- Elleuch M., Bedigian D., Roiseux O., Besbes S., Blecker C., Attia H. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review // *Food Chemistry*. 2011. Vol. 124. P. 411-421.
- Esposito F., Arlotti G., Bonifati A.M., Napolitano A., Vitale D., Fogliano V. Antioxidant activity and dietary fibre in durum wheat bran by-products // *Food Research International*. 2005. Vol. 38. P. 1167-1173.
- Frølich W., Aman P., Tetens I. Whole grains foods and health – A Scandinavian perspective // *Food Nutrition and Research*. 2013. Vol. 57. P. 57-62.
- Hemery Y., Chaurand M., Holopainen U., Lampi A.M., Lehtinen P., Piironen V. Potential of dry fractionation of wheat bran for the development of food ingredients, part I: Influence of ultra-fine grinding // *Journal of Cereal Science*. 2011. Vol. 53. P. 1-8.
- Hemery Y., Mabilie F., Martelli M., & Rouau X. Influence of water content and negative temperatures on the mechanical properties of wheat bran and its constitutive layers // *Journal of Food Engineering*. 2010. Vol. 98. P. 360-369.
- Hole A.S., Rud I., Grimmer S., Sigle S., Narvhus J., Sahlstrøm S. Improved bioavailability of dietary phenolic acids in whole grain barley and oat groat following fermentation with probiotic *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus johnsonii*, and *Lactobacillus reuteri* // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2012. Vol. 60. P. 6369-6375.
- Katina K., Laitila A., Juvonen R., Liukkonen K.H., Kariluoto S., Piironen V. Bran fermentation as a means to enhance technological properties and bioactivity of rye // *Food Microbiology*. 2007. Vol. 24. P. 175-186.
- Katina K., Juvonen R., Laitila A., Flander L., Nordlund E., Kariluoto S. Fermented wheat bran as a functional ingredient in baking // *Cereal Chemistry*. 2012. Vol. 89. P. 126-134.
- Laurikainen T., Härkönen H., Autio K., Poutanen K. Effects of enzymes in fibre-enriched baking // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1998. Vol. 76. P. 239-249.
- Mateo Anson N., Aura A.M., Selinheimo E., Mattila I., Poutanen K., van den Berg R., Havenaar R., Bast A., Haenen G.R.M.M. Bioprocessing of wheat bran in whole wheat bread increases the bioavailability of phenolic acids in men and exerts anti-inflammatory effects ex-vivo // *The Journal of Nutrition*. 2011. Vol. 141. P. 137-143.
- Mateo Anson N., van den Berg R., Havenaar R., Bast A., Haenen G.R.M.M. Bioavailability of ferulic acid is determined by its bioaccessibility // *Journal of Cereal Science*. 2009. Vol. 49. P. 296-300.
- Nara S., Komiya T. Studies on the Relationship Between Water-saturated State and Crystallinity by the Diffraction Method for Moistened Potato Starch // *Starch*. 1983. Vol. 35. No. 12. P. 407-410.
- Noort M.W.J., Haaster D., Hemery Y., Schols H.A., Hame R.J. The effect of particle size of wheat bran fractions on bread quality. Evidence for fibre-protein interactions // *Journal of Cereal Science*. 2010. Vol. 52. P. 59-64.
- Nordlund E., Katina K., Aura A.-M., Poutanen K. Changes in bran structure by bioprocessing with enzymes and yeast modifies the in vitro digestibility and fermentability of bran protein and dietary fibre complex // *Journal of Cereal Science*. 2013. Vol. 58. P. 200-208.
- Pogorelova N.A., Moliboga E.A. Defining qualitative indicators of the pumpkin semi-finished product included in the confectionary technology in terms of competitiveness // *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 2017. Vol. 9. No. 10. P. 1705-1710.
- Poutanen K. Past and future of cereal grains as food for health // *Trends in Food Science and Technology*. 2012. Vol. 25. P. 58-62.
- Poutanen K., Flander L., Katina K. Sourdough and cereal fermentation in a nutritional perspective // *Food Microbiology*. 2009. Vol. 26. P. 693-699.
- Rizzello C.G., Cassone A., Di Cagno R., Gobbetti M. Synthesis of angiotensin I-converting enzyme (ACE)-inhibitory peptides and γ -aminobutyric acid (GABA) during sourdough fermentation by selected lactic acid bacteria // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008. Vol. 56. P. 6936-6943.
- Rosell C.M., Santos E., Collar C. Mixing properties of fibre enriched wheat bread doughs: a response surface methodology study // *European Food Research and Technology*. 2006. Vol. 223. P. 333-340.
- Sanz-Penella J.M., Collar C., Haros M. Effect of wheat bran and enzyme addition on dough functional performance and phytic acid levels in bread // *Journal of Cereal Science*. 2008. Vol. 48. P. 715-721.
- Zhang D., Moore W.R. Wheat bran particle size effects on bread baking performance and quality // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1999. Vol. 79. P. 805-809.

Determining the Effectiveness of Wheat Bran Conversion Methods for Use in Food Technology

Natalya A. Pogorelova

*Omsk State Agrarian University after named P.A. Stolypin
1 Teatralnaya sq., Omsk, 644008, Russian Federation
E-mail: na.pogorelova@omgau.org*

Natalya B. Gavrilova

*Omsk State Agrarian University after named P.A. Stolypin
1 Teatralnaya sq., Omsk, 644008, Russian Federation
E-mail: gavrlov49@mail.ru*

Evgeny A. Rogachev

*Omsk State Technical University
11 Mira ave., Omsk, 644050, Russian Federation
E-mail: evg.rogachev@ya.ru*

Elena M. Schetinina

*Altai State Technical University after named I.I. Polzunova
46, Lenin ave., Barnaul, 656000, Russian Federation
E-mail: schetinina2014@bk.ru*

In this work, the effectiveness of the breakdown of wheat bran polysaccharides by acid and enzymatic methods was investigated. A comparative analysis of the biotransformation of plant polymers of native and mechanically activated wheat bran multienzyme complexes: amylolytic, glucolytic and cellulolytic action. In order to modify the protein components of wheat bran, a composition of amylolytic and proteolytic enzyme preparations was used. The quantitative and qualitative composition of mono- and disaccharides in the obtained hydrolysates was determined by the HPLC method, the content of amine nitrogen was determined by the Pope-Stevens method. It was found that high-temperature chemical hydrolysis of polysaccharides produces a high level of pentose-62.4 mg/g of raw materials; the total content of mono- and disaccharides increased to 125.6 mg/g of wheat bran. When the enzymatic method of processing both native and mechanically processed wheat bran complex of drugs Glucolux A (1%), Amylolux ATS (0.5%), Cellolux (0.5%) determined the highest total content of mono- and disaccharides – 215.2 and 216.8 mg/g of bran, respectively, which is higher by 1.7 times in comparison with the composition of proteolytic enzymes. The content of amine nitrogen at bioconversion by a complex of enzyme preparations of protease acid and Bioferm was found to be 39.52 mg/g of raw materials.

Keywords: bioconversion, wheat bran, enzyme preparations, hydrolysis of polysaccharides, secondary plant raw materials, amine nitrogen, chromatographic method

Reference

- Pogorelova N.A., Moliboga E.A., Sarnickaya N.A. Issledovanie processa biokonversii polimerov pshenichnyh otrubej fermentnym preparatom proteoliticheskogo dejstviya [Investigation of the process of bioconversion of wheat bran polymers with a proteolytic enzyme preparation]. *Vestnik Omskogo GAU [Bulletin of Omsk state agrarian university]*, 2018, no. 4(32), pp. 31-35.
- Chen H.D., Weiss J.C., Shahidi F. Nanotechnology in nutraceuticals and functional foods. *Food Technology*, 2006, vol. 60, pp. 30-36.
- Coda R., Kärki I., Nordlund E., Heiniö R.-L., Poutanen K., Katina K. Influence of particle size on bioprocess induced changes on technological

- functionality of wheat bran. *Food Microbiology*, 2014, vol. 37, pp. 69-77.
- Coda R., Rizzello C.G., Curiel J.A., Poutanen K., Katina K. Effect of bioprocessing and particle size on the nutritional properties of wheat bran fractions. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2014, vol. 25, pp. 19-27.
- Delcour J.A., Rouaub X., Courtina C.M., Poutanen K., Ranieri R. Technologies for enhanced exploitation of the health-promoting potential of cereals. *Trends in Food Science & Technology*, 2012, vol. 25, pp. 78-86.
- Elleuch M., Bedigian D., Roiseux O., Besbes S., Blecker C., Attia H. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food Chemistry*, 2011, vol. 124, pp. 411-421.
- Esposito F., Arlotti G., Bonifati A.M., Napolitano A., Vitale D., Fogliano V. Antioxidant activity and dietary fibre in durum wheat bran by-products. *Food Research International*, 2005, vol. 38, pp. 1167-1173.
- Frølich W., Aman P., Tetens I. Whole grains foods and health – A Scandinavian perspective. *Food Nutrition and Research*, 2013, vol. 57, pp. 57-62.
- Hemery Y., Chaurand M., Holopainen U., Lampi A.M., Lehtinen P., Piironen V. Potential of dry fractionation of wheat bran for the development of food ingredients, part I: Influence of ultra-fine grinding. *Journal of Cereal Science*, 2011, vol. 53, pp. 1-8.
- Hemery Y., Mabilille F., Martelli M., & Rouau X. Influence of water content and negative temperatures on the mechanical properties of wheat bran and its constitutive layers. *Journal of Food Engineering*, 2010, vol. 98, pp. 360-369.
- Hole A.S., Rud I., Grimmer S., Sigle S., Narvhus J., Sahlstrøm S. Improved bioavailability of dietary phenolic acids in whole grain barley and oat groat following fermentation with probiotic *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus johnsonii*, and *Lactobacillus reuteri*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2012, vol. 60, pp. 6369-6375.
- Katina K., Laitila A., Juvonen R., Liukkonen K.H., Kariluoto S., Piironen V. Bran fermentation as a means to enhance technological properties and bioactivity of rye. *Food Microbiology*, 2007, vol. 24, pp. 175-186.
- Katina K., Juvonen R., Laitila A., Flander L., Nordlund E., Kariluoto S. Fermented wheat bran as a functional ingredient in baking. *Cereal Chemistry*, 2012, vol. 89, pp. 126-134.
- Laurikainen T., Härkönen H., Autio K., Poutanen K. Effects of enzymes in fibre-enriched baking. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1998, vol. 76, pp. 239-249.
- Mateo Anson N., Aura A.M., Selinheimo E., Mattila I., Poutanen K., van den Berg R., Havenaar R., Bast A., Haenen G.R.M.M. Bioprocessing of wheat bran in whole wheat bread increases the bioavailability of phenolic acids in men and exerts anti-inflammatory effects ex-vivo. *The Journal of Nutrition*, 2011, vol. 141, pp. 137-143.
- Mateo Anson N., van den Berg R., Havenaar R., Bast A., Haenen G.R.M.M. Bioavailability of ferulic acid is determined by its bioaccessibility. *Journal of Cereal Science*, 2009, vol. 49, pp. 296-300.
- Nara S., Komiya T. Studies on the Relationship Between Water-saturated State and Crystallinity by the Diffraction Method for Moistened Potato Starch. *Starch*, 1983, vol. 35, no. 12, pp. 407-410.
- Noort M.W.J., Haaster D., Hemery Y., Schols H.A., Hame R.J. The effect of particle size of wheat bran fractions on bread quality. Evidence for fibre-protein interactions. *Journal of Cereal Science*, 2010, vol. 52, pp. 59-64.
- Nordlund E., Katina K., Aura A.-M., Poutanen K. Changes in bran structure by bioprocessing with enzymes and yeast modifies the in vitro digestibility and fermentability of bran protein and dietary fibre complex. *Journal of Cereal Science*, 2013, vol. 58, pp. 200-208.
- Pogorelova N.A., Moliboga E.A. Defining qualitative indicators of the pumpkin semi-finished product included in the confectionary technology in terms of competitiveness. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2017, vol. 9, no. 10, pp. 1705-1710.
- Poutanen K. Past and future of cereal grains as food for health. *Trends in Food Science and Technology*, 2012, vol. 25, pp. 58-62.
- Poutanen K., Flander L., Katina K. Sourdough and cereal fermentation in a nutritional perspective. *Food Microbiology*, 2009, vol. 26, pp. 693-699.
- Rizzello C.G., Cassone A., Di Cagno R., Gobbetti M. Synthesis of angiotensin I-converting enzyme (ACE)-inhibitory peptides and γ -aminobutyric acid (GABA) during sourdough fermentation by selected lactic acid bacteria. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, vol. 56, pp. 6936-6943.
- Rosell C.M., Santos E., Collar C. Mixing properties of fibre enriched wheat bread doughs: a response surface methodology study. *European Food Research and Technology*, 2006, vol. 223, pp. 333-340.
- Sanz-Penella J.M., Collar C., Haros M. Effect of wheat bran and enzyme addition on dough functional performance and phytic acid levels in bread. *Journal of Cereal Science*, 2008, vol. 48, pp. 715-721.
- Zhang D., Moore W.R. Wheat bran particle size effects on bread baking performance and quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1999, vol. 79, pp. 805-809.