

Литература:

1. Азиева Р.Х. Возможности и перспективы развития возобновляемых источников энергии. [Текст] / Х. А. Мунаева // Естественно-гуманитарные исследования, 2022, № 39 (1), С. 14–18.
2. Якимович Б.А., Геотермальные источники - путь к энергосбережению и снижению загрязнения окружающей среды. [Текст] / Е. Г. Какушина, О. М. Крастелёв // Энергетические установки и технологии, 2022, т. 8, № 4, с. 50–53.
3. Гацаева Л.С. Геотермальная энергетика: вчера, сегодня, завтра. [Текст] / З. Х. Гайтукиева, С. А. Гацаева // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. Серия: Науки о Земле, 2020, № 3 (19), С. 65–72.
4. Касымов М.А. Геотермический режим и перспективы использования геотермальной энергии в пределах кыргызской части Тянь-Шаня. [Текст] / А. Н. Акимбеков, К. А. Каныбек // Горный журнал, 2022, т. 3, С. 15–22.
5. Мурзакулов Н.А. возможностях использования геотермальных источников энергии Кыргызстана. [Текст] / М. П. Токоев, Д. О. Акимов // ReFocus, 2023, № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-vozmozhnosti-ispolzovaniya-geotermalnyh-istochnikov-energii-kyrgyzstana>.
6. Ахмедов С. А. Расчет температурного режима галереи при разработке термального месторождения. [Текст] / З. Х. Ахмедова // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН, 2021, № 2 (85), С. 15–18.
7. Осокин Н.И. Термическое сопротивление снежного покрова и его влияние на промерзание грунта. [Текст] / А. В. Сосновский, П. Р. Накалов, С. В. Ненашев // Лёд и Снег, 2013, т. 53, № 1, с. 93–103. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2013-1-93-103>.
8. Thompson A.B. Geothermal Gradients through Time. [Text] // Holland H.D., Trendall A.F. (eds) Patterns of Change in Earth Evolution. Dahlem Workshop Reports Physical, Chemical, and Earth Sciences Research Reports, vol 5, Springer, Berlin, Heidelberg, 1984. https://doi.org/10.1007/978-3-642-69317-5_20.
9. Horai K. Thermal Conductivity of Sediments and Igneous Rocks Recovered during Deep Sea Drilling Project Leg 60. 1982. <https://doi.org/10.2973/DSDP.PROC.60.149.1982>.

УДК: 664.66:664.641.1:579.67

Кузнецова Елена Анатольевна, д.т.н.,
Орловский государственный университет им.
И.С. Тургенева, г. Орел, Российская Федерация,
Ирматова Жылдыз Камиловна, к.т.н., доцент,
SPIN-код: 1323-6910, AuthorID: 1191661
Асанова Бегимай Нурмамаатовна, магистрант,
Ошский технологический университет
г. Ош, Кыргызская Республика
E-mail: julduz75@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ФЕРМЕНТАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЗЕРНА В ПРОИЗВОДСТВЕ ЗЕРНОВОГО ХЛЕБА

В статье обсуждается применение ферментации для подготовки зерна к производству зернового хлеба с разрешением повысить его безопасность. Основное внимание уделяется использованию ферментного препарата Целловиридин Г20 в сочетании с селенитом натрия на стадии замачивания зерна. Рассматривается влияние ферментативного гидролиза некрахмальных полисахаридов, оболочек частиц на основе твердых металлов, таких как свинец, кадмий, хром и никель. Также

анализируются механизмы загрязнения частиц, включая распад комплексных соединений с предметами с поврежденными металлами и выведение их в промывные воды. В статье изложены оптимальные параметры процесса, одобрено снижение содержания металлов в готовом зерновом хлебе, что делает предлагаемую перспективной для повышения качества и безопасности продукции.

Ключевые слова: Зерно пшеницы, ферментный препарат, селенит натрия, тяжелые металлы, модификация, некрахмальные полисахариды, оболочки зерна

Кузнецова Елена Анатольевна, т.и.д.,
И.С. Тургенев атындагы Орлов мамлекеттик
университет, Россия Федерациясы,
Ирматова Жылдыз Камилловна, т.и.к., доцент,
Асанова Бегимай Нурмаматовна, магистрант,
Ош технологиялык университет

БҮТҮН ДАНДУУ НАН ӨНДҮРҮШҮНДӨ ДАНДЫН КООПСУЗДУГУН ЖОГОРУЛАТУУ МАКСАТЫНДА ФЕРМЕНТАЦИЯНЫ КОЛДОНУУ

Макалада данды нан жасоого даярдоо үчүн ачытууну колдонуу талкууланат, анын коопсуздугун жогорулатууга уруксат берилет. Негизги көңүл данды сиңирүү стадиясында Целловиридин Г20 ферменттик препараттын натрий селенити менен бирге колдонууга багытталган. Крахмалсыз полисахариддердин ферменттик гидролизинин, коргошун, кадмий, хром жана никель сыяктуу катуу металлдарга негизделген бөлүкчөлөрдүн кабыктарынын таасири каралат. Ошондой эле бөлүкчөлөрдүн булгануу механизмдери, анын ичинде бузулган металлдары бар объекттер менен комплекстүү бирикмелердин ыдырашы жана аларды жууган сууга чыгаруу талданат. Макалада процесстин оптималдуу параметрлери баяндалган, даяр дан нанынын металлдарын азайтуу жактырылган, бул сунуш кылынганды продукциянын сапатын жана коопсуздугун жогорулатуу үчүн келечектүү кылат.

Негизги сөздөр: буудай даны, ферменттик препарат, натрий селенити, оор металлдар, модификация, крахмалдуу эмес полисахариддер, дан кабыктары

Kuznetsova Elena Anatolyevna,
Doctor of technical sciences,
Orlov State University named after I. S. Turgenev,
Orel city, Russian Federation,
Irmatova Zhyldyz Kamilovna,
candidate of technical sciences, associate professor,
Asanova Begimai Nurmamatovna, graduate student,
Osh Technological University,
Osh city, Kyrgyz Republic

THE USE OF FERMENTATION TO IMPROVE GRAIN SAFETY IN THE PRODUCTION OF GRAIN BREAD

The article discusses the use of fermentation for grain preparation for grain bread production with the permission to increase its safety. The main attention is paid to the use of the enzyme preparation Celloviridin G20 in combination with sodium selenite at the stage of grain soaking. The effect of enzymatic hydrolysis of non-starch polysaccharides, particle

shells based on hard metals such as lead, cadmium, chromium and nickel is considered. The mechanisms of particle contamination are also analysed, including the breakdown of complex compounds with objects with damaged metals and their excretion into the wash water. The paper outlines the optimum process parameters and approves the reduction of metal content in finished grain bread, which makes the proposed promising for improving the quality and safety of products.

Key words: wheat grain, enzyme preparation, sodium selenite, heavy metals, modification, non-starch polysaccharides, grain shells

Введение. В условиях стремительного развития индустриализации загрязнение окружающей среды тяжёлыми металлами становится всё более заметным. В экосистему попадает большое количество тяжёлых металлов, что приводит к загрязнению в сельском хозяйстве [1]. Кадмий (Cd), мышьяк (As), свинец (Pb), хром (Cr) и никель (Ni) входят в число приоритетных металлов, представляющих опасность для здоровья населения, из-за их высокой токсичности, распространённости и устойчивости в экосистеме [2]. Мышьяк, свинец, кадмий, хром и никель внесены Международным агентством по изучению рака в список канцерогенов 1-й группы. Согласно ряду исследований, воздействие этих веществ вызывает окислительное повреждение, которое нарушает активность метаболических ферментов, механизмы восстановления повреждений и экспрессию генов-супрессоров опухолей [3, 4]. Повышенные концентрации кадмия и свинца в растениях могут привести к увеличению их концентрации в пищевой цепи и вызвать различные проблемы и заболевания у человека. Высокое содержание свинца в рационе человека может привести к проблемам с нервной системой, недостаточности кровообращения, ферментативным нарушениям, повреждениям эндокринной системы и раку [5, 6]. Наличие высоких концентраций кадмия приводит к повышению уровня АФК в клетках, что вызывает окислительный стресс. Кроме того, кадмий может вызывать повреждения ДНК в основном посредством косвенных механизмов, что может способствовать развитию опухолей [7].

Концентрация кадмия в зерновых в наибольшей степени влияла на воздействие кадмия в рационе питания. Это означает, что наиболее эффективным способом снижения воздействия кадмия на население может быть контроль или снижение концентрации кадмия в этих продуктах [8]. Было обнаружено, что хром и его соединения вызывают серьезные заболевания, такие как рак легких, кожная аллергия с дерматитом и заболевания почек [9].

Согласно различным исследованиям, воздействие никеля способствует окислительному стрессу из-за снижения выработки антиоксидантных ферментов и одно- и двухцепочечных разрывов ДНК [10,11]

Есть доказательства того, что сочетание доз/концентраций нескольких родственных химических веществ может дать достоверные оценки совокупного воздействия при условии, что у них схожий механизм действия [12,13]. Например, аддитивное и синергетическое воздействие тяжёлых металлов на крыс при субхроническом воздействии может вызывать аномалии развития; а сочетание кадмия, свинца, мышьяка и ртути (в органической или элементарной форме) оказывает кумулятивное негативное воздействие как на функции почек, так и на нейронные функции водных организмов [13].

Все пять упомянутых выше металлов, по-видимому, обладают схожим механизмом нейротоксичности, при этом их основной мишенью является гиппокамп. Они напрямую воздействуют на канал N-метил-D-аспартата (рецептор которого необходим для синаптической пластичности, обучения и памяти), тем самым

нарушая работу нейронных компонентов в области гиппокампа. В то же время для почечной токсичности у этих пяти металлов также действует один и тот же механизм (связывание с тиоловыми группами на поверхности белков и нарушение их функций) [8].

Проведенные нами предыдущие исследования распределения минеральных веществ в зерне злаковых культур показывают, что максимальное количество тяжелых металлов аккумулируется в периферических частях зерна [14]. Технологии сортовых помолов позволяют повысить безопасность зерновых продуктов, так как с отрубями удаляются основные загрязнители. Но вместе с загрязнителями теряется значительная часть биологически активных веществ. В оболочках и алейроновом слое концентрируются пищевые волокна, олигосахариды, аминокислоты, витамины, микроэлементы, антиоксиданты [15]. Оболочки зерна злаковых культур представляют собой клеточные стенки растений, которые являются матрицей, состоящей из некрахмальных полисахаридов: целлюлозы и гемицеллюлоз, а также лигнина, минеральных веществ и других компонентов, которые плотно связаны между собой, создавая гидрофобную сеть с высокой прочностью и жесткостью [16].

Несмотря на то, что большинство потребителей предпочитает безопасный с точки зрения загрязнения тяжелыми металлами белый хлеб из очищенной муки, диетологи рекомендуют ежедневно включать в пищевой рацион хлеб из цельного зерна [17]. Использование в питании целых зёрен хлебных злаков способствует снижению риска возникновения сахарного диабета 2 типа, сердечно-сосудистых заболеваний, различных типов рака и ожирения [18]. Однако, нами установлено, что хлеб из цельного зерна не только может быть небезопасен, но и отличается низкими сенсорными показателями по сравнению с хлебом из муки высшего сорта. По этой причине при подготовке зерна к использованию в пищевых технологиях требуется предварительная обработка сырья, которая является важным этапом разрушения естественной структуры клеточной стенки растения [19].

При производстве хлебобулочных изделий из цельного зерна пшеницы используют ферментные препараты на основе целлюлаз. Применение ферментных препаратов в технологии хлеба позволяет улучшить органолептические и физико-химические свойства продукта и продлить срок его свежести [19]. Кроме того, в предыдущих работах мы установили, что применение ферментных препаратов целлюлолитического действия позволяет снизить содержание тяжелых металлов в зерне пшеницы [14, 20].

Известно, что селен является важным микроэлементом для человека и животных. Биологические функции селена в системах млекопитающих в основном осуществляются через селенопротеины, участвующие в поддержании окислительно-восстановительного баланса клеток. Также сообщалось, что селен может ослаблять окислительное повреждение, вызванное некоторыми тяжелыми металлами, включая кадмий и хром [21, 22, 23].

Известно, что токсичность тяжелых металлов – свинца и кадмия можно снизить введением селеносодержащих соединений. Однако поведение каждого из соединений селена сильно различается в зависимости от выбранного иона металла. Селен противодействует токсичности свинца и кадмия в основном за счёт связывания этих элементов в биологически инертные комплексы и/или за счёт действия Se-зависимых антиоксидантных ферментов [24, 25].

Цель исследований. Целью работы было обоснование использования ферментации при подготовке зерна к производству зернового хлеба в комплексе с внесением селеносодержащего препарата для повышения безопасности.

Материалы и методы. При подготовке зерна пшеницы к производству зернового хлеба мы применяли комплексный ферментный препарат Целловиридин Г20х (производитель *Trichoderma reesei*). В состав препарата входят целлобиогидролаза

(активность – 3522 ед/г), β -глюканаза (активность – 3084 ед/г), ксиланаза (активность – 728 ед/г).

Зерно пшеницы сорта Московская 39 перед использованием для производства хлеба очищали и промывали водопроводной воды в течение 0,4 часа. Порошкообразный ферментный препарат Целловиридин Г20х помещали в цитратный буфер (рН 5,0) при концентрации 0,09 % от массы сухих веществ зерна, одновременно добавляли селенсодержащий препарат (селенит натрия) в виде порошка в концентрации 1 мкг/100 г зерна и перемешивали все ингредиенты с помощью магнитной мешалки в течение 0,3 часа. Затем зерно пшеницы заливали подготовленным раствором, соотношение зерно:вода составляло 1:2. Замачивание зерна проводили при температуре 40 °С в термостате.

Подбор рациональных доз ферментного препарата осуществляли экспериментально, определяя количество токсических элементов свинца и кадмия в зерне после замачивания при продолжительности процесса 6, 12 и 18 часов и промывания водой. Методом пробных выпечек зернового хлеба доказали, что установленная рациональная дозировка ферментного препарата позволяет получить хлеб с высокими органолептическими и физико-химическими показателями качества. Установлено, что оптимальная продолжительность замачивания зерна пшеницы составила 12 часов. За это время влажность зерна пшеницы достигла значения 42 %, что является оптимальным значением для проведения диспергирования зерна.

Определение минеральных элементов в зерне пшеницы проводили после сухого озоления в муфельной печи при температуре 450 °С и растворения золы в 10% смеси соляной и азотной кислот методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии в воздушно-ацетиленовом пламени на приборе фирмы Hitachi (Япония), с дейтериевым корректором фона. Для калибровки прибора использовались стандартные растворы элементов фирмы «Merk» (Германия).

Содержание глутатиона в зерне определяли йодометрическим методом.

Микроструктурные исследования проводили на электронном сканирующем микроскопе JEOL JSM 6390. ЭДС-анализ на содержание основных химических элементов в образцах зерна методом энергодисперсионной спектрометрии (EDS) в системе сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM 6390. Образцы поперечных срезов зерна напыляли платиной в настольной вакуумной установке JEC-3000FC и затем устанавливали на предметный столик, покрытый диоксидом углерода. Разрешение микроскопа составляет 4 Нм при ускоряющем напряжении 20 кВ. В каждом образце исследовали 20 точек. Локальный анализ составил 3 мкм, площадь сканирования в среднем 12 мкм. Статистическая обработка проводилась с использованием программного обеспечения Statgraphics Centurion XVII.

После замачивания зерна проводили промывание его водой в течение 0,3 часа и двукратное измельчение предварительно замоченного зерна пшеницы проводили на диспергаторе Homogenizer 1094 фирмы Текатор. Инактивация ферментов не проводилась.

Тесто для хлеба зернового пшеничного на основе диспергированной зерновой массы готовили безопасным способом. Замес теста в лабораторных условиях осуществляли в ручную, созревание – в лабораторной бродильной камере при температуре 35°С и относительной влажности воздуха 75-80%. Выпечку разделанных тестовых заготовок массой 0,35 кг – в лабораторной печи при температуре 220°С.

Результаты и обсуждение. Для эксперимента было выбрано зерно пшеницы, характеризующееся повышенным содержанием тяжелых металлов. В таблице (табл.1) приведены результаты определения содержания тяжелых металлов в нативном зерне пшеницы, в зерне после шелушения и в отрубях.

Содержание тяжелых металлов в зерне пшеницы

Химический элемент	Нативное зерно	Шелушенное зерно	Отруби
Свинец	0.41±0,014	0.21±0,011	0.39±0,018
Кадмий	0.35±0,016	0.05±0,010	0.33±0,012
Хром	0.37±0,013	0.12±0,012	0.32±0,014
Никель	0.58±0,011	0.28±0,011	0.48±0,010

Результаты определения свинца, кадмия, хрома и никеля показывают, что шелушение зерна является отличным приемом получения безопасного зерна для использования в хлебопечении. Повышенное содержание тяжелых металлов в отрубях указывает на то, что металлы концентрируются на поверхности зерна, в оболочках, алейроновом слое. Для того чтобы экспериментально подтвердить преимущественное распределение свинца, кадмия, хрома и никеля в периферических частях зерна пшеницы использовали метод энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии. На рисунке (рис.1) представлена микроструктурная картина структур поверхности поперечных и продольных срезов зерна пшеницы, которые были выбраны для проведения микроанализа. Результаты рентгеновского микроанализа характеризуют относительное содержание химических элементов в выбранной точке образца, выраженные в масс%.

Проведенный рентгеновский микроанализ подтвердил, что свинец, кадмий, хром и никель находятся в нативном зерне пшеницы преимущественно в плодовой оболочке, бородке и зародыше. В них обнаруживаются 0.09-0.17 масс% свинца, 0.05-0.07 масс% кадмия, 0.12-0.84 масс% хрома и 0.03-0.14 масс% никеля. Свинец образует хелаты с органическими лигандами, содержащими донорские атомы S, N, O. Существенная часть свинца связана с коллоидами [16]. Накопление свинца в клеточных стенках происходит в основном в виде орто- и пирофосфата. Кадмий образует комплексы с большим количеством лигандов при природных значениях pH. Элемент может легко передвигаться в растениях в форме металлоорганических комплексов. Кадмий легко занимает обменные позиции в полисахаридах клеточных стенок [17].

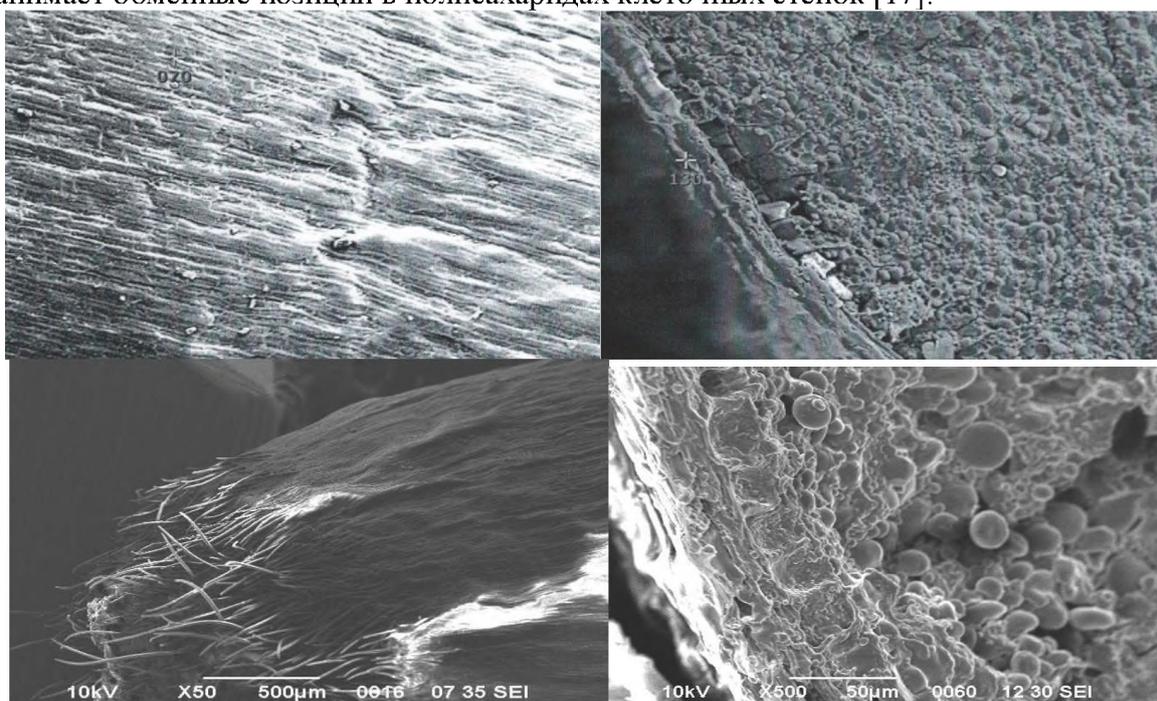


Рис. 1. Микрофотографии структур поверхности срезов зерна пшеницы

Замачивание зерна пшеницы в воде и в растворе ферментного препарата Целловиридин Г20х в комплексе с селенитом натрия привело к снижению количества свинца и кадмия в зерне пшеницы (рис. 2).

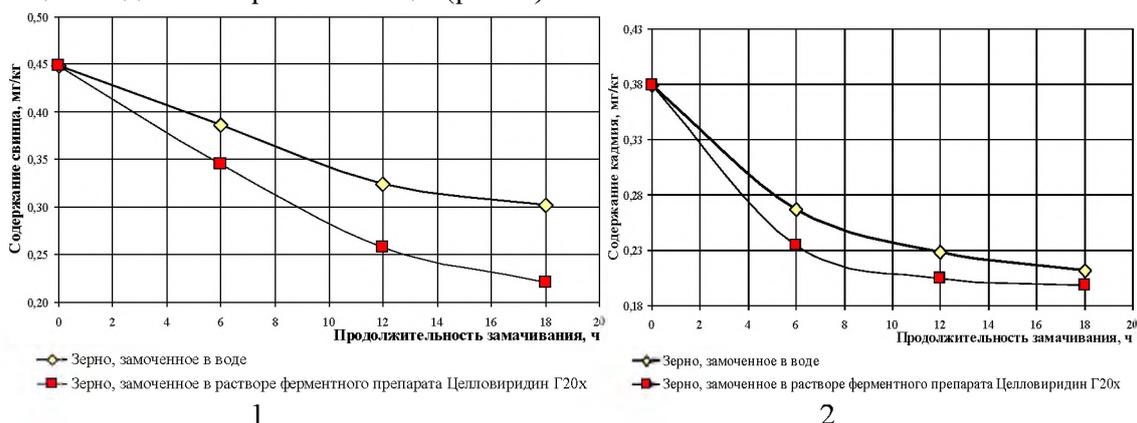


Рис. 2. Динамика снижения содержания свинца (1) и кадмия (2) в зерне пшеницы в процессе замачивания с ферментным препаратом Целловиридин Г20х и селенитом натрия

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что при замачивании зерна пшеницы в растворе ферментного препарата происходит равномерное снижение содержания свинца в течение 18 часов замачивания зерна.

Результаты исследования динамики снижения содержания кадмия в зерне пшеницы свидетельствуют о том, что содержание кадмия наиболее интенсивно падает в первые 6 часов замачивания. Динамика снижения содержания хрома и никеля в зерне пшеницы в процессе замачивания аналогична динамике снижения содержания кадмия.

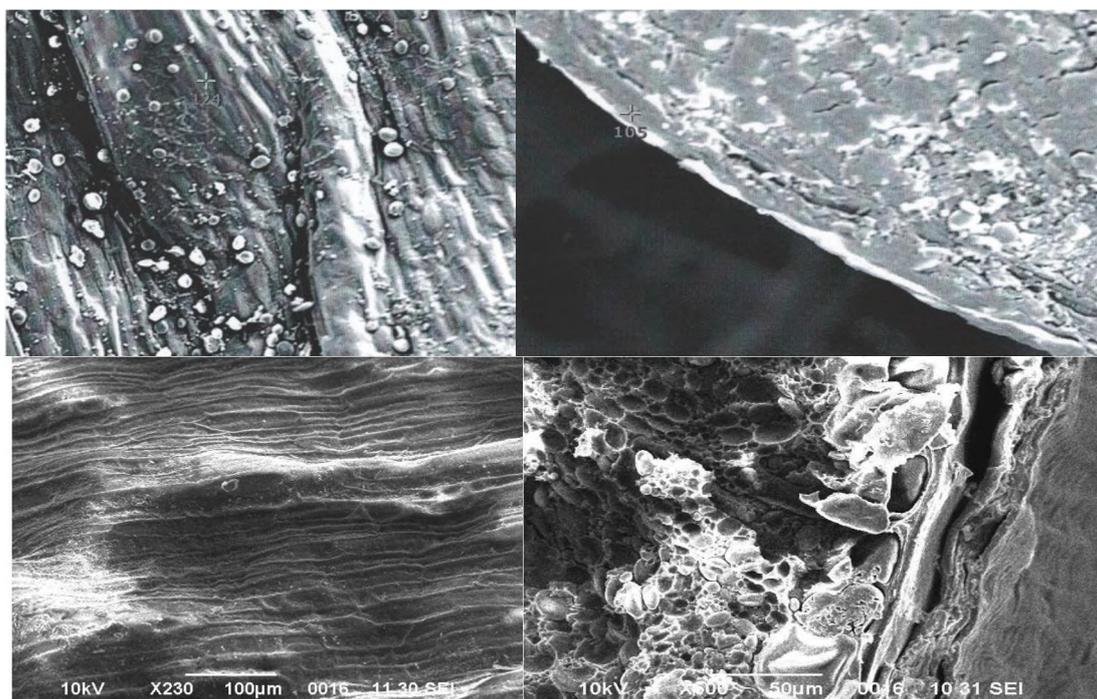


Рис. 3. Микрофотографии поверхности срезов зерна пшеницы после ферментативного гидролиза

Установлено, что при замачивании зерна пшеницы в воде снижение содержания тяжелых металлов происходит медленнее, чем при проведении ферментации с использованием препарата Целловиридин Г20х в комплексе с селенитом натрия. В состав ферментного препарата Целловиридин Г20х входит комплекс ферментов,

катализирующих гидролиз некрахмальных полисахаридов целлюлозы, β -глюканазы и ксиланазы. Ферментация зерна пшеницы в течение 10-18 часов приводит к модификации полисахаридного матрикса клеточных стенок плодовых и семенных оболочек зерна. Отдельные полимеры частично фрагментируются, кристаллические фрагменты полимерных цепей приобретают аморфную структуру. Это подтверждают полученные микрофотографии поверхности продольных и поперечных срезов зерна пшеницы после ферментативного гидролиза (рис.3).

На рисунке (рис.4) приведены микрофотографии поверхности плодовых оболочек зерна пшеницы, выполненные с помощью электронного сканирующего микроскопа. На приведенных микрофотографиях обнаружены поры в оболочках. Установлено, что поры в плодовых оболочках зерна пшеницы различаются по размерам в зависимости от способа замачивания зерна. После замачивания зерна пшеницы в воде в течение 12 часов при температуре 50°C размер пор в плодовых оболочках составляет в среднем 132,0 нм.

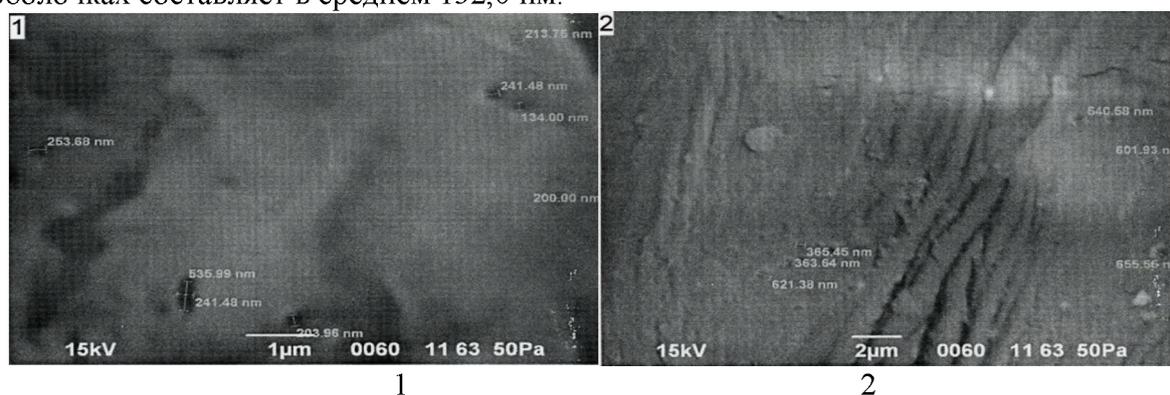


Рис. 4. Микрофотографии поверхности плодовых оболочек зерна пшеницы (1- замоченного в воде, 2 – замоченного в растворе, содержащем ферментный препарат и селенит натрия)

При обработке в процессе замачивания зерна пшеницы в цитратном буферном растворе, содержащем ферментный препарат Целловиридин Г20х и селенит натрия, размеры пор возрастают и в среднем составляют 321,3 нм. Вероятно, увеличение размеров пор в оболочках после ферментативного гидролиза приводит к более интенсивной миграции через поры ионов тяжелых металлов.

После проведения ферментативной обработки зерно пшеницы промывали водопроводной водой. Методом рентгеновского микроанализа установлено, что относительное содержание тяжелых металлов в зерне пшеницы снижается после промывания ферментированного зерна пшеницы. Исследуемые химические элементы обнаруживаются в промывных водах (табл.2).

Замачивание зерна пшеницы в водном растворе селенита натрия и в растворе ферментного препарата Целловиридин в комплексе с селенитом натрия способствует снижению содержания свинца и кадмия в связи с тем, что соединения селена образуют коллоидные комплексы с этими металлами комплексы, тем самым предотвращая их накопление в тканях [23]. Основной механизм защитного действия селенита на распределение тяжелых металлов в тканях заключается в переходе селенита в селенид в ходе реакций с восстановленным глутатионом, рост которого наблюдается при набухании зерна в процессе замачивания.

Таблица 2

Относительное содержание химических элементов в зерне после гидролиза и промывания водой и в промывных водах, масс %

Химический элемент	Промывные воды	Зерно пшеницы после ферментации и промывания водой
Cd	0.06-0.10	0-0.02
Pb	0.28-0.42	0.02-0.04
Хром	1.18-2.22	0.12-0.20
Никель	0.87-1.22	0.18-0.28

Определение содержания глутатиона в зерне пшеницы после ферментации показало, что оно увеличилось в среднем на 52 % по сравнению с зерном, замоченным в воде. Селенид в результате взаимодействия с ионами тяжелых металлов, появившимися после модификации некрахмальных полисахаридов плодовых и семенных оболочек зерна под действием комплексного ферментного препарата Целловиридин Г20х, образует биологически инертные стабильные комплексы [18], которые располагаются на поверхности модифицированных структур клеточных стенок и при промывании водой после гидролиза переходят в промывные воды. Был рассчитан коэффициент перехода тяжелых металлов из зерна в промывные воды (Кп) (табл.3).

Таблица 3

Коэффициент перехода тяжелых металлов из зерна пшеницы в промывные воды (Кп)

Вариант опыта	Кадмий	Свинец	Никель	Хром
Контроль без ферментного препарата	1,31	1,38	1,73	1,80
Зерно после ферментации	8,33	4,57	5,62	3,28

Приведенные данные показывают, что тяжелые металлы из зерна пшеницы извлекаются после замачивания и промывания водой не в равной степени. Наибольшее значение коэффициента перехода из зерна в промывные воды наблюдается для кадмия – элемента чрезвычайной подвижности при рН 4,5-5,5. В меньшей степени мигрирует в промывные воды при использовании всех изучаемых технологических приемов хром, вероятно это связано с тем, что в условиях рН ниже 5,5 соединения хрома образуют комплексы с органическими веществами, которые считаются стабильными. Высвобождение тяжелых металлов происходит благодаря модификации нативной структуры оболочек под действием ферментов, входящих в состав препарата, и в определенных условиях при замачивании зерна к миграции за пределы зерновки, обеспечив тем самым снижение их концентрации в зерне и повышение безопасности продуктов его переработки.

После замачивания зерна пшеницы в буферном растворе ферментного препарата целлюлолитического действия в комплексе с селенитом натрия, зерно диспергировали и готовили зерновой хлеб безопасным способом. В качестве контрольного варианта был взят хлеб, приготовленный из диспергированного зерна пшеницы, замоченной в воде без ферментного препарата и селенита натрия. В таблице (табл. 4) приведены результаты по определению тяжелых металлов в зерновом хлебе.

Таблица 4

Содержание тяжелых металлов в зерновом хлебе

Тяжелый металл	Зерновой хлеб	
	Контроль	Хлеб из ферментированного зерна

Кадмий	0.15±0.010	0.05±0.005
Свинец	0.38±0.011	0.09±0.010
Хром	0.36±0.009	0.11±0.009
Никель	0.49±0.011	0.16±0.010

Результаты исследования показывают, что зерновой хлеб содержит тяжелые металлы в количестве, не превышающем ПДК.

Таким образом, замачивание зерна пшеницы в цитратном буферном растворе, содержащем комплексный ферментный препарат Целловиридин Г20х и селенит натрия способствуют модификации некрахмальных полисахаридов оболочек зерна, распаду комплексных соединений с ионами тяжелых металлов и снижению их содержания в зерне пшеницы после замачивания и промывания водой. Этот прием может быть использован для снижения уровня загрязнения зерна злаковых культур тяжелыми металлами в технологии зернового хлеба. После подготовки зерна пшеницы к производству зернового хлеба содержание в хлебе тяжелых металлов ниже ПДК.

Автор Кузнецова Е.А. выражает благодарность РНФ за финансовую поддержку исследований, проведенных в рамках выполнения Гранта № 24-26-00259.

Литература:

1. Peng J.Y. «Soil heavy metal pollution of industrial legacies in China and health risk assessment», [Text] / Zhang, S., Han, Y., Bate, B., Ke, H., Chen, Y. *Sci. Total Environ.* 816:151632, (2022). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151632>
2. Ali A.S. «Meta-analysis of public health risks of lead accumulation in wastewater, irrigated soil, and crops nexus», [Text] / Ambelu A., Gari S.R. // *Front. Public Health*, 10, (2022) <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.977721>
3. Kim H.S. «An Overview of Carcinogenic Heavy Metal: Molecular Toxicity Mechanism and Prevention» [Text] / Kim, Y.J., Seo, Y.R. // *Journal of cancer prevention.*, 20(4):232-40, (2015) DOI: 10.15430/JCP.2015.20.4.232
4. Ghosh R. «Heavy Metal Accumulation in Human Body: A Molecular Toxicity Leading to Cancer», [Text] // *IGSR*, 13(2):501-513, (2024) doi.org/10.21275/SR24202163057
5. Khan, S., «Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China» [Text] / Cao Q., Zheng Y., Huang, Y., Zhu Y. // *Environ. Pollut.* 152 (3):686–92, (2008), [doi:10.1016/j.envpol.2007.06.056](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.056).
6. Wang, M., Zhang, H. «Accumulation of heavy metals in roadside soil in urban area and the related impacting factors», *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 15 (6):1064, (2018) [doi:10.3390/ijerph15061064](https://doi.org/10.3390/ijerph15061064).
7. Cowley, M., Skaar, D.A., Jima, D.D., Maguire, R.L., Hudson, K.M., Park, S.S., Sorrow, P., Hoyo, C. (2018) «Effects of cadmium exposure on DNA methylation at imprinting control regions and genome-wide in mothers and newborn children» *Environ. Health Perspect*, 126(3):037003, (2018) <https://doi.org/10.1289/EHP2085>
8. Mhangu, F., Cheng, Y., Zhou, Z., Zhang, W., Liu Y. «Estimation of the cumulative risks from dietary exposure to cadmium, arsenic, nickel, lead and chromium in Guangzhou, China». *Food and Chemical Toxicology*, 178, 113887 (2023) <https://doi.org/10.1016/j.fct.2023.113887> Get rights and content
9. Costa, M., Klein, C.B. «Toxicity and carcinogenicity of chromium compounds in humans», *Critical reviews in toxicology*. 36(2):155-63, (2006)
10. Kasprzak, K.S., Salnikow, K. «Nickel toxicity and carcinogenesis», In book: «Nickel and its surprising impact in nature», 2:619-60, (2007) DOI: 10.1002/9780470028131.ch17
11. Arita, A., Costa, M. «Epigenetics in metal carcinogenesis: nickel, arsenic, chromium and cadmium», *Metallomics*, 1(3):222-8, (2009) DOI: 10.1039/b903049b

12. Fu, Y., Liu, Y., Wang, Y., *et al.* «Relationship between cumulative exposure to metal mixtures and heart rate among Chinese preschoolers», *Chemosphere*, 300(10):134548, (2022) DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.134548
 13. Wang, H., Mao, W.F., Giang, D.G., *et al.* «Cumulative risk assessment of exposure to heavy metals through aquatic products in China», *Biomed. Environ. Sci.*, 34(8): 606-615, (2021) doi: 10.3967/bes2021.084
 14. Кузнецова, Е.А., Черепнина, Л.В., Щербакова, А. А. «Распределение токсичных элементов в зерновом сырье и снижение их содержания при применении ферментных препаратов», *Успехи современного естествознания*, 12(1): 91-92 (2007), URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=11863>
 15. Buddrick, O., Jones, O. A. N., Cornell, H. J., Small, D. M. «The influence of fermentation processes and cereal grain sin whole grain breadonre ducing phytate content», *Journal of Cereal Science*, 59: 3-8, (2014)
 16. van der Crujisen, K., Al, H. M., van Erven, G., Dolstra, O., Trindade, L.M. «Breeding targets to improve biomassquality in miscanthus», *Molecules*. 2021. 26(2): 254, (2021) <https://doi.org/10.3390/molecules26020254>.
 17. Vitaglione, P., Napolitano, A., Fogliano, V. «Cereal dietary fibre: a natural functional ingredient to deliver phenolic compounds into the gut», *Trends in Food Science and Technology*, 19: 451-463 (2008) DOI: 10.1016/j.tifs.2008.02.005
 18. Baksi ,S., Saha, D., Saha, S., Sarkar, U., Basu, D., Kuniyal, J.C. «Pretreatment of lignocellulosic biomass:review of various physico-chemical and biological meth-ods influencing the extent of biomass depolymerization», *International Journal of Environmental Science and Technology*. 20: 13895-13922, (2023). <https://doi.org/10.1007/s13762-023-04838-4>.
 19. Корячкина, С.Я., Кузнецова, Е.А., Синицин, А.П. «Применение ферментного препарата целловиридин Г20х для производства зернового хлеба», *Хлебопечение России*, 3: 24-25, (2004)
 20. Кузнецова, Е.А. «Накопление тяжелых металлов зерном злаковых культур и пути снижения их содержания», *Гигиена и санитария*. 4: 50-53 (2007)
 21. Lee, K.H., Jeong, D. «Bimodal actions of selenium essential for antioxidant and toxic pro-oxidant activities: the selenium paradox (Review)», *Mol. Med. Rep.*, 5 (2): 299-203 (2012) DOI: 10.3892/mmr.2011.651
 22. Zhang, L., Yang, F., Li, Y., Cao, H., Huang, A., Zhuang, Y. «The protection of selenium against cadmium-induced mitophagy via modulating nuclear xenobiotic receptors response and oxidative stress in the liver of rabbits», *Environ. Pollut.*, 285, 117301, (2021) DOI: 10.1016/j.envpol.2021.117301
 23. Şlencu, B. G. «Selenium protection against cadmium and lead-induced oxidative stress», in book: *Toxicology. Oxidative Stress and Dietary Antioxidants*, 419-434, (2021) <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819092-0.00041-8>
 24. Zwolak, I. «The Role of Selenium in Arsenic and Cadmium Toxicity: an Updated Review of Scientific Literature», *Biol. Trace Elem. Res.* 193: 44–63 (2020). <https://doi.org/10.1007/s12011-019-01691-w>
 25. Feroci, G., Badiello, R., Fini, A. «Interactions between different selenium compounds and zinc, cadmium and mercury», *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 18 (3): 227-234, (2005) DOI: 10.1016/j.jtemb.2004.09.005
 - 26.
-