

Влияние процесса проращивания зерен злаковых культур на их пищевую ценность

Зенькова Мария Леонидовна

Белорусский государственный экономический университет

Адрес: 220070, Беларусь, г. Минск, пр-т Партизанский, д. 26

E-mail: mariya_lz@mail.ru

Акулич Александр Васильевич

Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий

Адрес: 212027, Беларусь, г. Могилев, пр-т Шмидта, д. 3

E-mail: akulichav57@mail.ru

Процесс проращивания вызывает активацию и новосинтез гидролитических ферментов, которые делают питательные вещества доступными для роста и развития растений. Среди потребителей, которые придерживаются здорового питания, считается, что употребление пророщенных зерен полезно для здоровья человека. Позитивное восприятие потребителями пророщенных зерен злаковых культур стимулирует разработку новых продуктов питания. Однако из-за отсутствия базового определения «пророщенное зерно» неясно, когда зерно следует называть пророщенным. Более того, в настоящее время отсутствуют критерии качества пророщенного зерна. Соответственно, не существует нормативной базы для разработки соответствующей маркировки пищевых продуктов, содержащих пророщенные зерна. В обзоре представлены результаты исследований, опубликованные в научных журналах в период с 1983 по 2021 год. Поиск публикаций осуществлялся при помощи слов и словосочетаний «пророщенное зерно», «биоактивированное зерно», «ферментированное зерно» и «солодоращение». Источники информации группировались по условиям замачивания, проращивания и по описанию методов исследований. В обзоре рассматриваются изменения, происходящие с зерном в процессе контролируемого проращивания, а также влияние физиологических и биохимических изменений на пищевую ценность пророщенного зерна. Особое внимание уделяется факторам, влияющим на процесс замачивания и проращивания: вид зерна, температура, продолжительность, периоды аэрирования и орошения. Обзор углубляет знания о факторах, влияющих на химический состав и пищевую ценность пророщенного зерна. Установлено, что пророщенное зерно в зависимости от вида зерна и условий проращивания имеет более высокую пищевую ценность по сравнению с непророщенным. Результаты, представленные в статье, могут быть использованы для оптимизации процесса проращивания зерна. Также дается краткое изложение нормативного статуса термина «пророщенное зерно», что обеспечивает основу для разработки нормативной документации по пророщенному зерну.

Ключевые слова: зерно, пророщенное зерно, процесс проращивания, ростки, злаковые культуры, пищевая ценность

Введение

Рост популярности продуктов на основе пророщенного зерна потребители связывают с необходимостью профилактики сахарного диабета, сердечно-сосудистых, желудочно-кишечных и других заболеваний. Полезность растительного сырья объясняется гармоничным сочетанием всех составляющих его компонентов и их синергическим действием на организм человека. Также, по мнению ученых, эффективно улучшает пищевую ценность зерен процесс проращивания и даже после тепловой обработки они остаются более полезными, чем непророщенные зерна

(Hung, Maeda, Yamamoto, & Morita, 2011). Пророщенное зерно можно использовать как самостоятельное блюдо на завтрак или как гарнир на обед, а также вводить в виде добавки в разные продукты широкого потребления, придавая продуктам новые органолептические характеристики и полезные свойства (Feng, Nemzer, & Devries, 2018). Использование пророщенного зерна для обогащения пищевых продуктов получило широкое распространение в мировой практике (Simahina, Bazhay-Zhezherun, Mykoliv, Bereza-Kindzerska, & Antoniuk, 2016; Mardar, Zhygunov, & Znachek, 2016; Самченко & Меркучева, 2015). С этой целью в ряде стран проводятся исследования по

изучению процессов, происходящих в зерне при проращивании, изменению химического состава зерна, разрабатываются способы подготовки и введения пророщенного зерна в продукты с минимальным изменением рецептуры и технологии производства (Feng, Nemzer, & Devries, 2018; Mridula, Sharma, & Gupta, 2015; Poutanen, Flander, & Katina, 2009).

Зерна злаковых культур представляют собой плоды, которые состоят из зародыша и эндосперма, окруженного нуцеллярной эпидермой и оболочкой. Химические компоненты зерен находятся в изолированных ячейках, что играет важную роль, поскольку обеспечивает стойкость зерна при хранении. Также в составе зерна содержатся ферменты и их субстраты, но до тех пор пока они изолированы друг от друга, состояние зерна остается стабильным (Хосни, 2006). При проращивании у зерна появляется зародышевый корешок (глазок), проникающий через плодую, семенную оболочку и цветочные пленки в то место, где зерно было прикреплено к колосу. Одновременно с этим начинает развиваться зародышевый листок (проросток, или стебель), который прорывает семенную оболочку и, увеличиваясь, продвигается между семенной оболочкой и цветочными пленками (Булгаков, 1976).

Многие исследования ученых посвящены разработке продуктов из пророщенного зерна, а также продуктов с добавлением пророщенного зерна с целью повышения их пищевой ценности. Положительное отношение потребителей к таким продуктам связано с их ожиданиями относительно «натуральной», «более питательной» и «более здоровой» пищи (Шнейдер, 2010; Леонова, Нигматьянов, & Фазылов, 2010; Сафронова & Евтухова, 2014; Веретнова & Сафронова, 2015; Урбанчик & Шалюта, 2012). В основном пророщенные зерна используются в виде цельного зерна или в виде муки из пророщенного зерна для производства хлебобулочных изделий, но также используется пророщенное зерно при производстве молочных продуктов, мясных и рыбных продуктов. Наиболее часто используются для проращивания такие злаковые культуры, как пшеница, ячмень, рожь, тритикале, голозерный овес и просо. Также для проращивания используют гречиху, киноа, рис, семена бобовых растений.

При анализе публикаций (Алехина, 2021; Bouis, Hotz, McClafferty, Meenakshi, & Pfeiffer, 2011; Кузнецова, 2010) установлено, что под процессом проращивания понимают также биоактивацию, биодеструкцию, ферментацию и соложение зер-

на. При этом отсутствует нормативный документ, устанавливающий критерии оценки качества пророщенного зерна и базовый термин «пророщенное зерно». Один и тот же термин может относиться к разным продуктам. Так потребители к пророщенным зернам относят пророщенные зерна злаковых культур от появления зародышевого корешка до получения зеленого побега и микро-зелень.

Целью исследования является анализ, систематизация и обобщение отечественного и международного опыта в области оценки пищевой ценности пророщенных зерен злаковых культур в зависимости от параметров процесса проращивания.

Задачи исследования:

1. Определить нормативный статус процесса проращивания и обозначить базовый термин «пророщенное зерно».
2. Проанализировать биохимические и физико-химические изменения, происходящие во время проращивания пшеницы, ячменя, ржи, тритикале, овса и проса с учетом различных условий подготовки и обработки зерна.

Материалы и методы исследования

В обзор были включены статьи и книги, опубликованные на русском и английском языках. Поиск статей был ограничен периодом с 1983 по 2021 год; дата начала соответствует времени, когда стали появляться исследования по изменению химического состава зерна при проращивании и описаны контролируемые условия замачивания и проращивания зерна. В центре внимания были статьи, опубликованные в научных журналах, прошедшие процедуру рецензирования, подтверждающую их качество.

Первичное сканирование баз данных Scopus, WoS и eLibrary.ru помогло выявить при помощи ключевых слов пророщенное зерно, биоактивированное зерно, ферментированное зерно и солодоращение ряд исследований с индексом цитирования 1 и более раз. Далее источники были ранжированы в рамках исследуемого временного промежутка по условиям замачивания, проращивания и по описанию методов исследований. Мы исключили исследования, в которых не были прописаны условия замачивания и проращивания и исследования, для которых не удалось получить полный текст. На следующем этапе нами были составлены таблицы по компонентам пророщен-

ного зерна, в которых отображалась следующая информация: вид зерновой культуры, условия замачивания и проращивания, результаты исследований, среднее значение, доверительный интервал, единицы измерений, применяемые термины, общие данные (название статьи, авторы, страна). Систематизация данных включала сопоставление, комбинацию и краткое изложение результатов отдельных исследований. Если данные сильно варьировались, и не было убедительного объяснения таким изменениям, то они исключались.

Результаты и их обсуждение

Определение и нормативный статус процесса проращивания

В технических нормативных правовых актах, действующих на территории стран Евразийского экономического союза, употребляется термин «проросшее зерно», которое является одним из

показателей качества заготавливаемого и поставляемого зерна (Таблица 1).

В 2008 году Американская Ассоциация Cereals & Grains, ранее известная как AACCI (American Association of Cereal Chemists International), которая занимается вопросами химических исследований зерновых культур разработала понятие «пророщенное зерно»: зерно, содержащее все исходные составляющие, такие как оболочки, зародыш и эндосперм, при этом длина проростка не превышает длину самого ядра, а пищевая ценность при этом не уменьшается⁵. В научных статьях описано (Benincasa, Falcinelli, Lutts, Stagnari, & Galieni, 2019; Lemmens et al., 2019), что цельное зерно рассматривается как пророщенное, если у него имеется росток, не превышающий длину зерновки, и предназначено такое зерно для употребления в пищу целиком. Также встречается термин «биоактивированное зерно», которое получают при контролируемом непродолжительном процессе проращивания, который протекает в присутствии воды, тепла, воздуха и является, по сути, началом прорастания зерна. Биоактивация

Таблица 1

Терминология проросших зерен и солода в документах различных государств

Страна	Определение	Документ
Россия и страны СНГ	проросшее зерно – это зерно с вышедшими за пределы покровов корешками или ростками	ГОСТ 27186-86 Зерно заготавливаемое и поставляемое. Термины и определения ¹
Россия	солод – продукт, полученный из зерна злаковых культур в результате его замачивания, проращивания и сушки	ГОСТ Р 53358-2009 Продукты пивоварения. Термины и определения ²
U.S.A.	солод является продуктом ячменя (<i>Hordeum vulgare</i> L.), выращенного в контролируемых условиях	Code of Federal Regulations Title 21 - Sec.184.1445: Malt syrup (malt extract) ³
EU	п.37 ростки: продукт, полученный в результате прорастания семян и их развития в воде или другой среде, собранный до развития настоящих листьев и предназначенный для употребления в пищу целиком, включая семена	ESSA hygiene guideline for the production of sprouts and seeds for sprouting
EU	проросшие зерна – это только те зерна, зародыш которых претерпел четко видимые изменения, которые позволяют легко отличить проросшее зерно от нормального зерна	Commission regulation (EU) № 742/2010 of 17 August 2010 amending Regulation (EU) № 1272/2009 laying down common detailed rules for the implementation of Council Regulation (EU) № 1234/2007 as regards buying-in and selling of agricultural products under public intervention ⁴

¹ ГОСТ 27186-86. (2010). Зерно заготавливаемое и поставляемое. Термины и определения. М.: Стандартинформ.

² ГОСТ Р 53358-2009. (2010). Продукты пивоварения. Термины и определения. М.: Стандартинформ.

³ Code of Federal Regulations. Title 21. Malt syrup (malt extract). URL: <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?fr=184.1445> (дата обращения: 13.08.2021).

⁴ Commission Regulation (EU). No 742/2010. URL: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:217:0004:0011:EN:PDF> (дата обращения: 13.08.2021).

⁵ Whole Grains Council, 2008. Definition of Sprouted Grains. URL: <https://wholegrainscoun-cil.org/whole-grains-101/whats-whole-grain/spro-uted-whole-grains/definitions-sprouted-grains> (дата обращения: 13.08.2021).

зерна характеризуется двумя взаимно связанными между собой процессами: гидролизом веществ в эндосперме и синтезом новых веществ в зародыше, которые приводят к изменению химического состава зерновки (Алехина, 2020). При таком процессе росток только «наклеивается» и не превышает 2,5 мм. Процесс биоактивирования можно назвать первым этапом проращивания зерна. Предполагается, что биоактивированное зерно отличается от пророщенного зерна низкой активностью амилалитических и протеолитических ферментов (Алехина, 2020).

С физиологической точки зрения растений проращивание зерен начинается с поглощения воды и завершается появлением корешка (Кунце & Мит, 2001). Сложные физические и биохимические процессы во время проращивания можно разделить на 3 этапа, в основном связанные с поглощением воды зерном. На 1 этапе водопоглощение зерна очень высокое, а затем оно снижается на этапе 2, который состоит из активизации ферментативного комплекса зерна, гидролиза крахмала, белка и роста корешка. На 3 этапе зерно также потребляет воду, продолжается гидролиз запасных веществ и проросток начинает расти. На данном этапе запасные компоненты эндосперма используются для развития и роста растений (Булгаков, 1976). Однако, только для солода пивоваренного существует нормативный документ, который определяет показатели качества для пророщенного зерна, используемого для производства продуктов питания. Так солодоращение и проращивание используются как синонимы и нет разграничений к технологическим процессам и требованиям к пророщенному зерну как к самостоятельному продукту. Кроме того, понятие «пророщенное зерно» не содержит каких-либо критериев по пищевой ценности, таких, например, как содержание белков, жиров, углеводов, витаминов и других веществ.

Влияние проращивания на содержание крахмала в зернах злаковых культур

Во время замачивания в зерно поступает необходимое количество воды, что способствует развитию основных биологических процессов – обмену веществ с диссимиляцией и ассимиляцией. В зародыше и близлежащей к нему области зерна находится сравнительно небольшой запас веществ (сахаров, аминокислот и пептидов, а также минеральных соединений), которые растворяются в поступившей воде и обеспечивают на первое время питание зародыша. Но для протекания дальнейших процессов питания и роста зерна требуется

постоянное пополнение этого запаса, т.е. подвод новых количеств низкомолекулярных соединений. Вода усиливает гидротацию, способствуя этим гидролизу высокомолекулярных соединений, осуществляемому ферментами. Материалом для образования ферментов служат те аминокислоты, которые выделяет эндогенно гибберелловая кислота. В щитке злаков имеется небольшое количество гормоноподобных веществ, содержащих гибберелловую кислоту, дальнейший синтез которых при проращивании зерна приводит к накоплению их в значительных количествах. Из щитка эти вещества во время проращивания зерна диффундируют в прилегающие клетки алейронового слоя и дают толчок к синтезу ряда гидролизующих ферментов (α -амилазы, протеолитических ферментов, эндо- β -глюконазы), которые разрушают стенки клеток эндосперма. Особое значение имеет действие протеаз, так как они проявляют гидролитическое действие на белковые вещества, которыми покрыты крахмальные зерна, и гемицеллюлозные структуры. Протеазы нужны также для высвобождения β -амилазы из связанного состояния (Булгаков, 1976; Кунце & Мит, 2001; Duke, Vinje, & Henson, 2013), которая частично связана дисульфидными связями с белком крахмалистого эндосперма зрелых зерен и высвобождается и, следовательно, активируется во время проращивания (Buttimer & Briggs, 2000). Одним из наиболее изученных процессов при проращивании является изменение углеводов зерна. В результате проращивания общее содержание крахмала снижается на 7-18 % в пшенице, пророщенной в течение 2-3 дней (Mandeep, Sibian, & Riar, 2016; Дубцов, Бережная, & Войно, 2015), в ячмене, пророщенном в течение 4 дней при 17 °C (Quek, Yu, Tao, Fox, & Gilbert, 2019), в овсе, пророщенном в течение 4 дней при 18 °C (Aparicio-García, Martínez-Villaluenga, Frias, & Peñas, 2021). Большее снижение общего содержания крахмала (от 35 % до 50 %) наблюдается при проращивании проса (Mbithi-Mwikya, van Camp, Yiru, & Huyghebaert, 2000). Действия ферментов приводят к частичному гидролизу крахмала до глюкозы, мальтозы и мальтотриозы и декстринов и, следовательно, к увеличению содержания сахара (Кунце & Мит, 2001). Сахара, образующиеся во время проращивания зерна, служат источником энергии для развивающегося зародыша.

Проращивание влияет не только на содержание крахмала, но и на его питательные свойства, которые нельзя оценить только по его содержанию. По усвояемости организмом человека крахмал можно разделить на быстроусвояемый, медленно усваиваемый и устойчивый к ферментам. Устойчивый

к ферментам крахмал не переваривается в тонком кишечнике и ферментируется бактериями толстой кишки, чтобы обеспечить энергией колоноциты (Perera, Meda, & Tyler, 2010). Исследования ученых показали, что усвояемость крахмала увеличивается в результате проращивания. Поврежденные гранулы крахмала более восприимчивы к ферментативной атаке во время пищеварения (Noda et al., 2004). Кроме того, усвояемость крахмала увеличивается с 17 % до 36 % у пророщенного в течение 3 дней при 25-35 °C и бланшированного проса (Archana, Sehgal, & Kawatra, 2001). Таким образом, пророщенные зерна лучше усваиваются из-за их ферментативно поврежденных гранул крахмала и более высокого содержания легко доступных сахаров, что делает их особенно подходящими для производства продуктов питания, в том числе для детского и геродиетического питания (Чижикова, Нижельская, & Коршенко, 2017; Урбанчик & Шалюта, 2012).

Влияние проращивания на содержание белка в зернах злаковых культур

Содержание белка в различных зерновых культурах составляет от 7,6 % до 19,8 % на фактическую влажность зерна (Шаршунов, Урбанчик, Касьянова, Иванов, & Агеев, 2016; Кузнецова, Гончаров, & Парамонов, 2011; Казаков & Карпиленко, 2005; Donkor, Stojanovska, Ginn, Ashton, & Vasiljevic, 2012). Зерна злаковых культур имеют низкий уровень активности эндогенных пептидаз, который значительно увеличивается через 24 часа проращивания (Faltermaier, Zarnkow, Becker, Gastl, & Arendt, 2015). Увеличение активности пептидазы наблюдалось при проращивании в течение 3-7 дней при температуре 17 °C в ячмене (Osman et al., 2002), овсе при 15 °C (Mäkinen, Zannini, & Arendt, 2013) и пшенице при температуре от 15 °C (Faltermaier, Zarnkow, Becker, Gastl, & Arendt, 2015). Эндопептидазы активизируются и образуются из алейронового слоя и щитка во время проращивания. Они необходимы для развития корешка зародыша, поскольку превращают белковые вещества в аминокислоты и олигопептиды (Кунце & Мит, 2001). Эндопептидазы обладают оптимальной активностью при pH от 3,5 до 6,5 и при температуре от 40 до 50 °C (Osman et al., 2002; Schwalb, Wieser, & Koehler, 2012). Но, протеолиз в зерне более выражен при замачивании и проращивании в течение минимум 2 дней и при более высоких температурах (от 20 до 28 °C) (Agu & Palmer, 1997; Koehler, Hartmann, Wieser, & Rychlik, 2007). Хотя проращивание приводит к гидролизу белка, оно не вызывает соответствующих изменений в общем содержании белка в ячмене

при температуре проращивания 22 °C в течение 5 дней (Chung, Jang, Cho, & Lim, 2009; Martínez-Villaluenga & Peñas Pozo, 2020), в пшенице в течение 2 дней (Chung, Jang, Cho, & Lim, 2009; Swieca & Dziki, 2015). Однако в некоторых исследованиях сообщается о снижении содержания белка в пшенице (Кузнецова, 2011). Напротив, в других исследованиях описано увеличение содержания белка на 5-10% в пророщенном ячмене, овсе, пшенице, ржи (Donkor, Stojanovska, Ginn, Ashton, & Vasiljevic, 2012) и просе (Mbithi-Mwikya, Van Camp, Yiru, & Huyghebaert, 2000). Уменьшение содержания белка связывают с переходом в воду для замачивания водорастворимых фракций (Кузнецова, 2010), тогда как увеличение, можно объяснить потерей углеводов при дыхании (Mbithi-Mwikya, Van Camp, Yiru, & Huyghebaert, 2000). Однако, относительные различия в содержании белка между пророщенными и непророщенными зернами составляют менее 10 %.

Проращивание пшеницы (Koehler, Hartmann, Wieser, & Rychlik, 2007) в течение 3-7 дней при температуре от 20 до 25 °C незначительно изменяет уровень альбуминов и глобулинов. Однако при проращивании овса наблюдается увеличение количества альбуминов, богатых незаменимыми аминокислотами (Klose & Arendt, 2012; Tian et al., 2010). Китайскими учеными установлено, что содержание водорастворимого белка при замачивании и проращивании пшеницы при температуре 16 °C в течение 6 суток увеличивается и такое увеличение наиболее значительное в первый и второй день (Xie, Jin, Du, & Zhang, 2014). При гидролизе белков содержание свободных аминокислот увеличивается в 5-10 раз при проращивании овса (Klose, Schehl, & Arendt, 2009), пшеницы и тритикале (Ohm, Lee, & Cho, 2016; Sibian, Saxena, & Riar, 2017), в течение 3-5 дней при температуре от 13 до 28 °C. В частности, повышается содержание незаменимых аминокислот изолейцина, лейцина, лизина, треонина, валина и фенилаланина (Klose, Schehl, & Arendt, 2009; Sibian, Saxena, & Riar, 2017; Чумикина, Арабова, & Топунов, 2009).

В результате проращивания повышается растворимость и усвояемость белков. Так отмечено повышение растворимости белка в 1,2-2,0 раза у ячменя при проращивании в течение 3-5 дней при температуре 17 °C (Osman et al., 2002). Усвояемость белка увеличивается с 34 % до 55 % у проса при проращивании в течение 4 дней при 30 °C (Mbithi-Mwikya, van Camp, Yiru, & Huyghebaert, 2000) и у ячменя при проращивании от 3 до 6 дней при температуре от 22 °C (Chung, Nwokolo, & Sim, 1989).

Влияние проращивания на содержание липидов в зернах злаковых культур

Во время проращивания гидролиз липидов обеспечивает энергией биохимические и физико-химические процессы, связанные с синтезом корешка и ростка (Chung, Nwokolo, & Sim, 1989; Kubicka, Grabska, Jędrychowski, & Czyż, 2011). Липаза катализирует разложение триглицеридов до глицерина и свободных жирных кислот. При окислении глицерина получают простейшие моносахариды, которые участвуют в обмене веществ живой клетки и используются для появления ростков (Кретович, 1986). Дальнейшее расщепление жирных кислот осуществляется липоксигеназами, содержащимися главным образом в листке и корешке зародыша. Образовавшиеся продукты расщепления жирных кислот, такие как наонадинал, отвечают за появление в пророщенном зерне огуречного запаха (Кунце & Мит, 2001). Во время проращивания зерна пшеницы и ячменя происходит повышение активности липазы и липоксигеназы в 1,2-2,3 раза (Kubicka, Grabska, Jędrychowski, & Czyż, 2011; Mäkinen & Arendt, 2012). В зернах овса активность липазы выше по сравнению с зернами пшеницы и ячменя (Казаков, 1973; Mäkinen & Arendt, 2012; Peterson, 1999). В результате активности липазы в ячмене снижается содержания липидов на 8-15 % при проращивании в течение 5 дней при 22 °C (Chung, Nwokolo, & Sim, 1989), у овса в течение 6 дней при 16 °C (Peterson, 1998). Повышение температуры проращивания приводит к большему распаду липидов. Уменьшение общего содержания липидов с 18 % до 55 % наблюдалось в просе, пророщенном в течение 2 дней при 32 °C (Inyang & Zakari, 2008), в пшенице, пророщенной в течение 2 дней при 18±2 °C (Zenkova & Babich, 2018).

Влияние проращивания на содержание и свойства пищевых волокон в зернах злаковых культур

Научные исследования (Ткаченко & Гриневиц, 2020; Бабаян, 2011; Щелкунов & Дудкин, 1999; Шарафетдинов & Плотникова, 2020) доказали, что пищевые волокна очень полезны для организма человека. Употребление пищевых волокон предупреждает формирование нарушений обмена веществ, снижает риск сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний, влияет на состояние микробиоты кишечника (Пырьева & Сафронова, 2019).

Некоторые углеводы относятся к пищевым волокнам и присутствуют в стенках растительных кле-

ток зерна. У зерна злаковых культур стенки клеток алейронового слоя и эндосперма состоят из арабиноксиланов и (1,3;1,4)-β-D-глюканов. Например, клетки крахмалистого эндосперма в зерне ячменя окружены тонкими стенками, содержащими приблизительно 25 % арабиноксиланов, 70 % β-глюканов, 2 % целлюлозы и 2 % глюкоманнонов (Полонский & Сумина, 2013). Клеточные стенки пшеницы и ржи в основном состоят из арабиноксилана, а у ячменя, овса и проса – в основном из β-глюкана (Autio et al., 2001). В результате ферментативных превращений при проращивании эти полисахариды клеточной стенки гидролизуются до моносахаридов (Hübner, O'Neil, Cashman, & Arendt, 2010; Krahл, Zarnkow, Back, & Becker, 2010).

Процесс проращивания вызывает изменения в составе и содержании нерастворимых и растворимых пищевых волокон (Hübner, O'Neil, Cashman, & Arendt, 2010; Krahл, Zarnkow, Back, & Becker, 2010), что может быть использовано для изменения содержания пищевых волокон в пророщенных зернах в зависимости от условий замачивания, проращивания и сорта зерновых культур (Teixeira, Nyman, Andersson, & Alming, 2016). В то время как согласно исследованиям Teixeira et al. (2016) проращивание не оказывает значительного влияния на общее содержание пищевых волокон в зерне ячменя, пророщенного в течение 3 дней при 15 °C, ученые немецкого научно-исследовательского института пищевой химии (Мюнхен) (Koehler, Hartmann, Wieser, & Rychlik, 2007) показали, что содержание пищевых волокон остается постоянным или снижается у пшеницы в течение первых 2 дней проращивания при 15 или 20 °C, и не изменяется при более высоких температурах (25 и 30 °C) (Koehler, Hartmann, Wieser, & Rychlik, 2007). Содержание растворимых пищевых волокон увеличивается в 3-4 раза в результате проращивания, а содержание нерастворимых пищевых волокон уменьшается, особенно при длительном проращивании (от 5 до 7 дней) (Koehler, Hartmann, Wieser, & Rychlik, 2007).

Арабиноксилан является одним из основных компонентов пищевых волокон злаковых культур. Под действием эндоксилаз арабиноксилан изменяет свои функциональные свойства (Гильмуллина, Пономарева, Пономарев, & Маннапова, 2021; Autio et al., 2001; Corder & Henry, 1989; Hrmova et al., 1997). Низкая активность эндоксилаза на ранних стадиях проращивания была обнаружена у пшеницы (De Backer, Gebruers, Van den Ende, Courtin, & Delcour, 2010), ржи (Autio et al., 2001) и ячменя (Autio et al., 2001; Li, Lu, Gu, Shi, & Mao,

2005; Sungurtas, Swanston, Davies, & McDougall, 2004), но резко увеличилась на 5-6 день проращивания (De Backer et al., 2010; Li, Lu, Gu, Shi, & Mao, 2005). Однако общее содержание арабиноксилана в процессе проращивания практически не меняется (De Backer, Gebruers, Van den Ende, Courtin, & Delcour, 2010; Krah, Zarnkow, Back, & Becker, 2010; Teixeira, Nyman, Andersson, & Alminger, 2016). Незначительное снижение отмечено китайскими учеными (Li, Lu, Gu, Shi, & Mao, 2005).

β -глюканы злаков представляют собой некрахмальные полисахариды, которые распространены исключительно в растениях семейства Мятликовых и обнаружены в составе клеточных стенок ячменя, овса, пшеницы, ржи, кукурузы, риса и сорго (Burton & Fincher, 2014; Åman, Graham, & Tilly, 1989). Полисахариды β -глюканы формируют внутренний слой стенок эндосперма ячменя (Bamforth & Kanauchi, 2001; Woodward, Fincher, & Stone, 1983). По содержанию β -глюканов ячмень и овес считаются рекордсменами среди злаковых культур. Так содержание β -глюканов у пшеницы составляет 0,6 %, у ячменя 4,2 %, у овса 3,9 %, у ржи 2,5 % в расчете на сухое вещество (Henry, 1987). В результате проращивания β -глюканы расщепляются эндо- β -D-глюканазами до олигосахаридов (Autio et al., 2001; Bamforth & Martin, 1983; Rimsten et al., 2002). Активность эндо- β -D-глюканазы увеличивается в 5-8 раз при проращивании ячменя в течение 4 дней при 15 °C (Ellis et al., 1997; Rimsten et al., 2002; Wang, Zhang, Chen, & Wu, 2004), в результате чего содержание β -D-глюкана существенно снижается (Ahmad, Gani, Shah, Gani, & Masoodi, 2016; Autio et al., 2001; Bamforth & Martin, 1983; Marconi, Tomasi, Dionisio, Perretti, & Fantozzi, 2014; Peterson, 1998).

Ученые Швеции Haraldsson et al. (2004) и Teixeira et al. (2016) описывают, что содержание β -D-глюкана в ячмене существенно не меняется при замачивании в 0,4–0,8 % растворе молочной кислоты при температуре от 35 до 48 °C и последующем проращивании в течение 3–4 дней при 15 °C. Более того, Rimsten et al. (2002) обнаружили, что содержание β -D-глюкана уменьшается на 11–14 %, когда ячмень замачивают при 48 °C, а затем проращивают при 15–18 °C в течение 4 дней. В то время как содержание β -D-глюкана уменьшается на 40 % в замоченных зернах при 15 °C и пророщенных при температуре от 15 до 18 °C в течение 4 дней. Это объясняется гораздо более медленной активностью β -D-глюканазы при замачивании при высокой температуре. Ученые Финляндии (Wilhelmson et al., 2001) обнаружили, что содержание β -D-глюкана уменьшается примерно на 10 %, если зер-

на овса проращивать в течение 6 дней при 5 °C. При проращивании голозерного зерна овса возможно получение концентрата с общим содержанием β -глюканов 22 % (Гематдинова, Канарский, Канарская, & Кручина-Богданов, 2019; Абагалиева & Савин, 2013). Пищевые продукты, полученные на основе злаков с низким содержанием крахмала и повышенным содержанием β -глюкана, могут иметь важное значение в низкокалорийной диете (Rudi, Uhlen, Harstad, & Munck, 2006).

Влияние проращивания на содержание фитатов и биодоступность минеральных веществ в зернах злаковых культур

Мио-инозит, соединяясь с шестью молекулами фосфорной кислоты, образует инозитфосфорную кислоту, которая в виде кальций-магниевого соли называется фитин. Инозитфосфорная кислота расщепляется на инозит и свободную ортофосфорную кислоту под действием фермента фитазы, который активизируется в пророщенном зерне (Кретович, 1986). Таким образом, контролируемое проращивание зерна увеличивает биодоступность минеральных веществ. Около 85% фосфора (P) в отрубях находится в виде фитиновой кислоты (D-мио-инозитол-1,2,3,4,5,6-гексаксидигидрофосфорной кислоты), которая обнаружена в основном в алейроновом слое зерновки (Schlemmer, Frølich, Prieto, & Grases, 2009). Большая часть фитиновой кислоты хелатируется катионами, такими как катионы железа (Fe), цинка (Zn), кальция (Ca), марганца (Mn), магния (Mg) и меди (Cu), что приводит к образованию фитатов (Schlemmer, Frølich, Prieto, & Grases, 2009). Биодоступность этих фитатов для всасывания в желудочно-кишечном тракте человека, а также их распределение в органах и тканях человека через кровоток (Persson, Türk, Nyman, & Sandberg, 1998) составляет всего от 5% до 25% (Bouis, Hotz, McClafferty, Meenakshi, & Pfeiffer, 2011; Fredlund et al., 2003). Небольшой процент усвоения можно объяснить недостаточным количеством фитазы у человека и животных (Iqbal, Lewis, & Cooper, 1994; Крюков, Глебова, & Антипов, 2019).

В сухом состоянии зерна злаковых культур имеют относительно низкие уровни активности фитазы, но активность фитазы существенно повышается во время проращивания. Установлено, что уровни активности ферментов варьируются в зависимости от вида злаковой культуры и условий проращивания. Повышение активности фитазы в 3–10 раз было обнаружено в пшенице (Azeke, Egielewa, Eigbogbo, & Ihimire, 2011; Bartnik & Szafranśka, 1987; Lemmens et al., 2018), ржи, ячмене и овсе

(Bartnik & Szafrńska, 1987) при проращивании в течение 4-5 дней при температуре от 15 до 25 °C. Уровни активности фитазы в пророщенном зерне ржи в 2-12 раз выше, чем в пророщенном зерне пшеницы, ячменя и овса, при проращивании в течение 3 дней при 20 °C (Bartnik & Szafrńska, 1987). Максимальные уровни активности фитазы достигаются в ячмене при проращивании в течение 2-4 дней при температуре 20 и 25 °C и через 7 дней при 15 °C. Однако после достижения максимума активность фитазы снижается относительно быстро на 20-50 % (Sung et al., 2005). Повышение активности фитазы в результате проращивания зерна непосредственно приводит к гидролизу фитата (Таблица 2) и, таким образом, к высвобождению связанных минеральных веществ и улучшенной биодоступности их. Анализируя результаты исследований польских ученых Bartnik и Szafranska (1987) установлено, что гидролиз фитата при проращивании в течение 72 часов (3 дней) при 20 °C составляет в пшенице 19-23 %, в ячмене 12 %, в ржи 28-29 %, тогда как испанскими учеными представлены другие результаты и при такой же продолжительности проращивания при 22 °C получено высокое значение гидролиза фитата в ячмене 37 %, в ржи 68 %.

Данные в Таблице 2 указывают, что более высокие температуры проращивания приводят к более высокой степени гидролиза фитатов. Относительно длительное время проращивания (от 3 до 5 дней) необходимо для снижения концентрации фитата более чем на 30 % Azeke, Egielewa, Eigbogbo, & Ihimire, 2011; Badau, Nkama, & Jideani, 2005; Bartnik & Szafrńska, 1987). В исследованиях Hübner et al. (2010) указано о снижении содержания фитата в овсе только на 6 % в результате 48 часов (2 дней) проращивания при 10 °C и на 32 % при проращивании в течение 6 дней при этой же температуре.

Фитазы злаковых культур имеют оптимумы температуры от 37 до 55 °C и pH от 4,5 до 6,0 (Konietzny & Greiner, 2002; Larsson & Sandberg, 1992). Таким образом, повышение температуры замачивания и / или проращивания до оптимальных для действия фитазы может усилить распад фитата. Hübner et al. (2010) показали, что повышение температуры проращивания с 12 до 18 °C увеличивает распад фитата в овсе с 14 % до 26 % при проращивании в течение 4 дней (96 ч).

В других исследованиях указывается, что разложение фитата может быть достигнуто путем обработки зерна при температуре (от 38 до 45 °C) и низком pH (от 2,0 до 6,0) во время замачивания.

Так, Teixeira et al. (2016) получили снижение содержания фитатов на 8 % в ячмене при замачивании в 0,4 % растворе молочной кислоты в течение примерно 35 часов при 35 °C, а затем проращивании в течение 3 дней при 15 °C.

Однако, во время замачивания минеральные вещества могут быть потеряны из-за выщелачивания (Hübner, O'Neil, Cashman, & Arendt, 2010; Lintschinger et al., 1997). Потери относительно высоки (около 30 %), когда зерна злаковых культур перед проращиванием замачиваются при 30 °C (Lestienne, Icard-Vernière, Mouquet, Picq, & Trèche, 2005). Кроме того, минеральные вещества перемещаются в развивающийся росток, что приводит к потере минеральных веществ при удалении развивающихся корешков и ростков (Hübner, O'Neil, Cashman, & Arendt, 2010; Ozturk et al., 2006).

Проведено несколько исследований пищеварения *in vitro*, моделирующих желудочно-кишечный тракт человека, для оценки потенциального воздействия разложения фитатов на биодоступность минеральных веществ. Хотя результаты таких исследований очень разнообразны, можно сделать вывод, что уменьшение содержания фитатов приводит к значительному увеличению биодоступности минералов. Обнаружено, что снижение содержания фитата в пшенице на 15 % в результате проращивания приводит к увеличению биодоступности железа (Fe) и цинка (Zn) с 4,6 % до 14,1 % и с 2,5 % до 14,6 % соответственно (Lemmens et al., 2018). Также, (Platel, Eipeson, & Srinivasan, 2010; Luo et al, 2014) показали, что биодоступность железа и цинка составляет от 20 % до 30 % в пророщенных зернах пшеницы, проса и ячменя.

Таким образом, можно предположить, что контролируемое проращивание зерновых культур в условиях, оптимальных для действия фитазы, позволяет повысить биодоступность минеральных веществ. Кроме того, чтобы ограничить выщелачивание минеральных веществ, рекомендуется использовать температуры замачивания от 15 до 20 °C и сохранять ростки и корешки.

Влияние проращивания на содержание витаминов в зернах злаковых культур

Зерна злаковых культур содержат витамин E (который состоит из токоферолов и токотриенолов) в количестве от 0,9 до 4,1 мг / 100 г (EFSA, 2015; Fardet, Rock, & Rémésy, 2008; Haraldsson et al., 2004; Plaza, de Ancos, & Cano, 2003). Потребление 100 г зерен в день составляет от 8 % до 34 %

Таблица 2

Влияние условий замачивания и проращивания зерна пшеницы, ячменя, ржи, овса и проса на гидролиз фитатов

Наименование зерна	Условия замачивания		Условия проращивания		Гидролиз фитата (%)	Источник информации				
	температура (°C)	время (час) в воде/с аэрацией	температура (°C)	время (час)						
Пшеница	15	17/29	15	36	7	(Lemmens et al., 2018)				
				72	14					
				120	15					
	не описано	не описано	20	26	17-19	(Bartnik & Szafranska, 1987)				
				72	19-23					
	Ячмень	КТ ¹	14/14	22	24	5	(Centeno et al., 2001)			
72					37					
120					58					
15		32-37 / 32-37	15	72	12-19	(Teixeira, Nyman, Andersson, & Alminger, 2016)				
15		до влажнo-сти зерна 38%	15	96	3-5					
15		21/42	18	96	6-10	(Rimsten et al., 2002)				
не описано			10	48	21	(Hübner, O’Neil, Cashman, & Arendt, 2010)				
		20	48	24						
		10	144	27						
		20	144	23						
не описано		не описано	20	26	9	(Bartnik & Szafranska, 1987)				
				72	12					
Рожь		КТ ¹	14/14	22	24	11	(Centeno et al., 2001)			
	72				68					
	120				84					
	не описано	не описано	20	26	19-22	(Bartnik & Szafranska, 1987)				
				72	28-29					
	Овес	не описано	21/42	10	48	6	(Hübner, O’Neil, Cashman, & Arendt, 2010)			
20					48	18				
10					144	32				
20					144	24				
не описано		не описано	20	24	13	(Bartnik & Szafranska, 1987)				
				20	72		16	(Tian et al., 2010)		
				16	24/24		16		24	20
								72	31	
Просо		не описано	16/16	25	48	13	(Hemalatha, Platel, & Srinivasan, 2007)			
					32	12/12		32	48	45
	не описано				11/12	32±3		24	57-72	(Badau, Nkama, & Jideani, 2005)
			96	87-91						

1КТ – комнатная температура

¹КТ – комнатная температура

рекомендуемой суточной нормы этого витамина⁶. Кроме того, содержание тиамина (B_1) составляет в зависимости от вида злаков от 0,2 до 0,6 мг / 100 г (Hucker, Wakeling, & Vriesekoop, 2012; Lebieczinska & Szefer, 2006; Malleshi & Klopfenstein, 1998; Зенькова, Акулич, Мельникова, & Тимофеева, 2020), рибофлавина (B_2) от 0,02 до 0,14 мг / 100 г (Hucker, Wakeling, & Vriesekoop, 2012; Lebieczinska & Szefer, 2006; Malleshi & Klopfenstein, 1998; Plaza, de Ancos, & Cano, 2003) и пиридоксина (B_6) от 0,09 до 0,76 мг / 100 г (Зенькова, Акулич, Мельникова, & Тимофеева, 2020; Lebieczinska & Szefer, 2006; Plaza, de Ancos, & Cano, 2003). Содержание фолиевой кислоты (B_9) от 0,016 до 0,143 мг / 100 г (Fardet, Rock, & Révész, 2008; Gujska & Kunciewicz, 2005; Kariluoto et al., 2006; Katina et al., 2007a; Koehler, Hartmann, Wieser, & Rychlik, 2007; Шаршунов, Урбанчик, Шалюта, & Галдова, 2008).

Содержание витаминов в зернах злаковых культур важно для развития всходов (Hucker, Wakeling, & Vriesekoop, 2012) и увеличивается во время проращивания в результате биосинтеза. Различия в содержании витаминов у пророщенного зерна (Таблица 3) зависят от сорта зерна и условий замачивания и проращивания. Однако, при замачивании необходимо соблюдать осторожность, чтобы избежать переход водорастворимых витаминов в воду и использовать минимальное количество воды для замачивания.

Витамин Е является антиоксидантом и в основном находится в зародышах зерна (Fardet, Rock, & Révész, 2008). Токоферолы синтезируются, находятся внутри зародыша и транспортируются к корням и росткам во время проращивания зерна (Fardet, Rock, & Révész, 2008; Hucker, Wakeling, & Vriesekoop, 2012; Lampi, Nurmi, & Piironen, 2010; Кретович, 1986). Haraldsson et al. (2004) не обнаружили изменений в содержании токоферолов в ячмене, пророщенном в течение 4 дней при 15 °С. Продолжительность проращивания является определяющим фактором содержания витамина Е.

Содержание витаминов группы В в злаках обычно увеличивается в результате проращивания и поддерживает развитие и рост ростков. Действительно, содержание витамина B_1 (тиамин) в пророщенной пшенице увеличилось в 2,6 раза (Plaza, de Ancos, & Cano, 2003) при проращивании в течение 4 дней при температуре 28 °С. Аналогичным образом, увеличилось вдвое и составило от 0,05 до 0,25 мг / 100 г содержание рибофлавина в яч-

мене (Hucker, Wakeling, & Vriesekoop, 2012), просе (Malleshi & Klopfenstein, 1998) и пшенице (Plaza, de Ancos, & Cano, 2003), пророщенных в течение 4 дней от 17 до 28 °С. Таким образом, авторы пришли к выводу, что синтез витаминов начинается только на более поздних стадиях проращивания. Витамины группы В содержатся в корешках и ростках, поэтому их удаление приводит к снижению содержания витаминов B_1 и B_2 в пророщенных зернах (Hucker, Wakeling, & Vriesekoop, 2012; Kariluoto et al., 2006; Malleshi & Klopfenstein, 1998).

Проращивание стимулирует синтез фолиевой кислоты по мере увеличения метаболической активности развивающихся ростков (Jabrin, Ravanel, Gambonnet, Douce, & Rébeillé, 2003; Jägerstad et al., 2005; Kariluoto et al., 2006; Николаева & Обручева, 1982). Различные исследователи показали, что в пшенице (Hefni & Witthöft, 2012; Koehler, Hartmann, Wieser, & Rychlik, 2007) и ржи (Hefni & Witthöft, 2012; Kariluoto et al., 2006; Katina et al., 2007a; Liukkonen et al., 2003) содержание фолатов составляет от 0,2 до 0,9 мг/100 г при проращивании от 4 до 6 дней при температуре от 15 до 25 °С, что в 4-6 раз выше по отношению к непророщенному зерну.

Содержание витамина С в зернах злаковых культур обычно неопределяется или очень низкое. Однако во время проращивания витамин С синтезируется (Lintschinger et al., 1997; Malleshi & Klopfenstein, 1998; Yang, Basu, & Ooraikul, 2001), и содержится в количестве 0,99–26,13 мг / 100 г в пророщенной пшенице (Lintschinger et al., 1997; Yang, Basu, & Ooraikul, 2001; Шаршунов, Урбанчик, Шалюта, & Галдова, 2008) и просе (Malleshi & Klopfenstein, 1998). Lintschinger et al. (1997) отметили, что ополаскивание пророщенной пшеницы горячей водой при 70 °С снижает содержание витамина С на 40–60 %. Соответственно, необходимо тщательно подбирать технологические параметры, чтобы сохранить этот витамин, поскольку он разрушается под действием высоких температур.

Очевидно, что пророщенные зерна являются источником фолатов (фолиевой кислоты) и витамина B_1 , но в значительно меньших количествах содержатся витамин РР (ниацин), B_2 (рибофлавин), B_6 (пиридоксин) и витамин Е. В 100 г пророщенных зерен может содержаться в среднем от 12 % до 15 % суточной нормы ниацина, от 2 % до 30 % суточной нормы рибофлавина и пиридоксина и от 1 % до 29 % суточной нормы витамина Е. Про-

⁶ Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации: Методические рекомендации. (2009). М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора.

Таблица 3

Влияние условий замачивания и проращивания зерна пшеницы, ячменя, ржи, овса и проса на содержание витаминов

Наименование зерна	Условия замачивания		Условия проращивания		Наименование и содержание витаминов		Источник информации
	температура (°C)	время (час) в воде/с аэрацией	температура (°C)	время (час)	наименование	содержание на сухое вещество, мг/100г	
Пшеница	20±1	12/12	20±1	72	витамин С	7,90	(Lintschinger et al., 1997)
	16,5	24/24	16,5	72	витамин С	16,00	(Yang, Basu, & Ooraikul, 2001)
	23	24	23	72	витамин С	19,20	(Рогожина & Рогожин, 2010)
	13 и 20	9/48	20	96	В ₉ (фолаты)	0,20	(Koehler, Hartmann, Wieser, & Rychlik, 2007)
	28	16/16	28	96	В ₁ (тиамин)	0,08	(Plaza, de Ancos, & Cano, 2003)
					В ₂ (рибофлавин)	0,07	
					В ₆ (пиридоксин)	0,67	
					витамин Е	0,20	
					витамин С	1,80	
	не описано	не описано	не описано	до длины ростка не более 2 мм, влажность не более 45 %	В ₂ (рибофлавин)	0,73	(Шаршунов и др., 2008)
					В ₉ (фолаты)	0,29	
					витамин С	26,13	
				до длины ростка не более 2,5 мм	В ₁ (тиамин)	0,59	(Зенькова, Акулич, Мельникова, & Тимофеева, 2020)
	18±2	48/8	18±2		В ₂ (рибофлавин)	0,07	
					В ₆ (пиридоксин)	0,09	
					витамин Е	0,41	
					витамин С	2,40	
Ячмень	15	23-28/23-28	15	96	витамин Е	4,1-4,4	(Haraldsson et al., 2004)
	17	12/24	17	96	В ₁ (тиамин)	0,30	(Hucker, Wakeling, & Vriesekoop, 2012)
					В ₂ (рибофлавин)	0,05	
	не описано	не описано	не описано	до длины ростка не более 2 мм, влажность не более 45 %	В ₂ (рибофлавин)	0,30	(Шаршунов, Урбанчик, Шалюта, & Галдова, 2008)
					В ₉ (фолаты)	0,28	
Рожь	15	14/30	15	96	В ₉ (фолаты)	0,95	(Keriluoto et al., 2006)
	25	14/30	25	120	В ₉ (фолаты)	0,25	
	18	12/28	18	120	В ₉ (фолаты)	0,22	(Katina et al., 2007a)
	не описано	не описано	не описано	до длины ростка не более 2 мм, влажность не более 45 %	В ₂ (рибофлавин)	0,53	(Шаршунов, Урбанчик, Шалюта, & Галдова, 2008)
					В ₉ (фолаты)	0,31	
					витамин С	16,8	
Овес	не описано	не описано	не описано	не описано	В ₁ (тиамин)	0,23	(Hucker, Wakeling, & Vriesekoop, 2012)
					В ₂ (рибофлавин)	0,04	
Просо	25	16/16	25	24	В ₁ (тиамин)	0,22	(Malleshi & Klopfenstein, 1998)
					В ₂ (рибофлавин)	0,11	
					РР (ниацин)	2,30	
					витамин С	0,99	
				96	В ₁ (тиамин)	0,19	(Malleshi & Klopfenstein, 1998)
					В ₂ (рибофлавин)	0,25	
					РР (ниацин)	2,90	
					витамин С	3,20	

рошенные зерна вносят свой вклад в ежедневное потребление витамина С в ограниченной степени, поскольку употребление 100 г пророщенных зерен соответствует примерно от 1 % до 21 % его суточной нормы.

Таким образом, короткое время замачивания с использованием ограниченного количества воды с последующим длительным временем проращивания и сохранением корешков и ростков наиболее благоприятно для получения повышенного содержания витаминов в пророщенных зернах злаковых культур.

Влияние проращивания на антиоксидантные свойства злаковых культур

Высокая антиоксидантная активность пророщенных зерен в основном объясняется накоплением витамина Е и полифенольных веществ (Ahmad, Gani, Shah, Gani, & Masoodi, 2016; Kim et al., 2013). Различные исследователи показали увеличение антиоксидантной активности в 1,2-2,9 раза у пшеницы (Alvarez-Jubete et al., 2010; Žilić et al., 2014), ячменя (Ha, Jo, Mannam, Kwon, & Apostolidis, 2016) и овса (Xu et al., 2009) при проращивании в течение 2-5 дней при температуре от 15 до 28 °С. Полифенольные вещества являются вторичными метаболитами растений и играют роль в защите растений от стрессов окружающей среды (Кретович, 1986; Казаков & Карпиленко, 2005; Alvarez-Jubete et al., 2010; Ha, Jo, Mannam, Kwon, & Apostolidis, 2016). Антиоксидантная активность полифенольных веществ объясняется двумя обстоятельствами: 1) фенольные соединения связывают ионы тяжелых металлов в устойчивые комплексы, тем самым лишая последние каталитического действия; 2) они служат акцепторами образующихся при аутооксидации свободных радикалов (Кретович, 1986). Основными фенольными соединениями в зернах злаков являются катехины, флавононы, фенольные кислоты (феруловая, п-кумаровая кислоты) и другие, а в овсе также авенантрамиды (Казаков & Карпиленко, 2005; Fardet, Rock, & Rémésy, 2008; Kim et al., 2013; Lu et al., 2007; Skoglund, Peterson, Andersson, Nilsson, & Dimberg, 2008; Xu et al., 2009). Увеличение полифенольных веществ в 1,2-3,6 раза при проращивании в течение 2-6 дней при температуре от 15 до 28 °С наблюдается в пшенице (Alvarez-Jubete et al., 2010), ячмене (Ha et al., 2016; Lu et al., 2007), ржи (Katina et al., 2007b; Liukkonen et al., 2003) и овсе (Tian et al., 2010; Xu et al., 2009). Однако взаимосвязь этого увеличения с возможной пользой для здоровья человека является спорным (Bast & Haenen, 2013; Pompella et al., 2014).

Влияние проращивания на содержание γ-аминомасляной кислоты

В свободном виде во всех растениях присутствует γ-аминомасляная кислота (Кретович, 1986), важная небелковая аминокислота, действует как тормозящий нейромедиатор центральной нервной системы человека и других млекопитающих и используется при лечении эпилепсии (Аниол & Степанчиков, 2007). Она образуется в результате декарбоксилирования, переаминирования и других превращений глутаминовой кислоты (Кретович, 1986). Концентрация γ-аминомасляной кислоты в ячмене и пшенице составляет менее 2 мг / 100 г, но присутствует в более высоких концентрациях в пророщенном зерне ячменя и пшеницы (от 7 до 25 мг / 100 г) (Ohm et al., 2016; Chung et al., 2009).

Выводы

Из обзора и анализа научно-технической информации следует отсутствие общепринятого определения «пророщенное зерно» и требований к цельнозерновым продуктам, которые должны рассматриваться как «пророщенные зерна» в контексте повышения их пищевой ценности. Предложено цельное зерно считать пророщенным, если оно имеет видимый корешок, а из качественных показателей контролировать, например, ферментативную активность, содержание фитата, крахмала и пищевых волокон. Пророщенные зерна могут быть получены только при контролируемом процессе и не должны считаться пророщенными зернами, которые случайно проросли в поле.

Установлено, что пророщенные зерна могут иметь более высокую пищевую ценность по сравнению с непророщенными, так как количество антипитательных факторов при проращивании снижается (например, содержание фитата), но в зависимости от условий проращивания и вида зерновой культуры. Так гидролиз и протеолиз в злаковых культурах замечен при замачивании и проращивании в течение не менее 2 дней при температурах от 20 до 35 °С. Во время проращивания минеральные вещества становятся доступными для всасывания в кишечнике, а витамины и γ-аминомасляная кислота синтезируются и накапливаются, увеличивается содержание растворимых пищевых волокон и уменьшается содержание нерастворимых пищевых волокон, увеличивается содержание полифенольных веществ.

Для того, чтобы максимально увеличить пищевую ценность пророщенных зерен, необходимо в

зависимости от вида зерновой культуры оптимизировать условия процесса проращивания. Несмотря на естественные изменения, происходящие в процессе проращивания, можно моделировать факторы (состав питательной среды, температура, продолжительность аэрации, освещенность), влияющие на проращивание зерновых культур с целью изменения содержания пищевых веществ. Поэтому необходимы дальнейшие исследования для оценки оптимизации процесса проращивания в зависимости от вида зерновой культуры, направленные на улучшение пищевой ценности пророщенного зерна и с учетом производственной перспективы.

Также установлено, что изменения, происходящие во время проращивания, часто экстраполируются на потенциальную пользу для здоровья человека. Однако результаты клинических исследований по конкретным заявлениям о пользе для здоровья очень ограничены. Следовательно, существует очевидная потребность в хорошо спланированных рандомизированных доклинических и клинических испытаниях для изучения влияния хорошо охарактеризованных пророщенных зерен и их количества на физиологические параметры и состояние здоровья человека.

Литература

- Абагалиева, А. И., & Савин, Т. В. (2013). Содержание β -глюкана в зерне овса. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*, 4, 76-83.
- Алехина, Н. Н. (2020). *Зерновой хлеб для повышения пищевого статуса населения: биоактивация злаковых культур, ресурсосбережение сырья, разработка технологий и расширение ассортимента продукции* [Докторская диссертация, Воронежский государственный университет инженерных технологий]. Воронеж, Россия.
- Аниол, В. А., & Степаничев, М. Ю. (2007). Оксид азота (II) и гамма-аминомасляная кислота как регуляторы нейрогенеза в мозге взрослых млекопитающих при моделировании судорожной активности. *Нейрохимия*, 24(4), 279-289.
- Бабаян, М. Л. (2011). Влияние полисахаридов на внутрикишечный метаболизм: Физиологические аспекты и возможности клинического применения. *Лечащий врач*, 6, 92-94.
- Булгаков, Н. И. (1976). *Биохимия солода и пива*. М.: Пищевая промышленность.
- Веретнова, О. Ю., & Сафронова, Т. Н. (2015). Разработка рецептуры мясных комбинированных фаршей с использованием пророщенного зерна пшеницы. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*, 10, 112-115.
- Гематдинова, В. М., Канарский, А. В., Канарская, З. А., & Кручина-Богданов, И. В. (2019). Получение концентрата β -глюкана проращиванием овса. *Химия растительного сырья*, 2, 231-237. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2019024251>
- Гильмуллина, Л. Ф., Пономарева, М. Л., Пономарев, С. Н., & Маннапова, Г. С. (2021). Методы качественного и количественного определения арабиноксиланов в зерне злаков (обзор). *Химия растительного сырья*, 1, 27-43. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2021017713>
- Дубцов, Г. Г., Бережная, О. В., & Войно, Л. И. (2015). Проростки пшеницы – ингредиент для продуктов питания. *Пищевая промышленность*, 5, 26-29.
- Зенькова, М. Л., Акулич, А. В., Мельникова, Л. А., & Тимофеева, В. Н. (2020). Исследование нутриентного профиля пророщенного зерна мягкой пшеницы, выращенной в Беларуси. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 3, 58-68. <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.339>
- Казаков, Е. Д. (1973). *Зерноведение с основами растениеводства*. М.: Колос.
- Казаков, Е. Д. & Карпиленко, Г. П. (2005). *Биохимия зерна и хлебопродуктов* (3-е изд.). СПб.: ГИОРД.
- Кретович, В. Л. (1986). *Биохимия растений*. М.: Высшая школа.
- Крюков, В. С., Глебова, И. В., & Антипов, А. А. (2019). Оценка действия фитаз в пищеварительном тракте и использование препаратов фитазы в питании животных. *Проблемы биологии продуктивных животных*, 2, 19-43. <https://doi.org/10.25687/1996-6733.prodanimbior.2019.2.19-43>
- Кузнецова, Е. А., Гончаров, Ю. В., & Парамонов, И. Н. (2011). Изменение некоторых показателей белкового комплекса зерна пшеницы при проращивании в процессе подготовки к производству хлебобулочных изделий. *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*, 1, 24-31.
- Кузнецова, Е. А. (2010). Изменение биохимических свойств зерна пшеницы при подготовке к производству зернового хлеба с использованием ферментативного гидролиза. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 5, 38-41.
- Кунце, В., & Мит, Г. (2001). *Технология солода и пива*. СПб.: Профессия.
- Леонова, С., Нигматьянов, А., & Фазылов М. (2010). Разработка технологии национального крупяного продукта из пророщенного зерна. *Хлебопродукты*, 9, 48-49.
- Николаева, М. Г., & Обручева, Н. В. (Ред.) (1982). *Физиология и биохимия покоя и прорастания семян*. М.: Колос.

- Полонский, В. И., & Сумина, А. В. (2013). Содержание β -глюканов в зерне как перспективный признак при селекции ячменя на пищевое использование. *Сельскохозяйственная биология*, 5, 30-43.
- Пырьева, Е. А., & Сафронова, А. И. (2019). Роль и место пищевых волокон в структуре питания населения. *Вопросы питания*, 88(6), 5-11. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10059>
- Рогожина, Т. В., & Рогожин, В. В. (2010). Роль компонентов антиоксидантной системы в механизмах прорастания зерен пшеницы. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*, 11, 31-38.
- Самченко, О. Н., & Меркучева, М. А. (2015). Пророщенное зерно – перспективное сырье для разработки новых видов изделий. *Новый университет. Серия: технические науки*, 7-8, 27-32.
- Сафронова, Т. Н., & Евтухова, О. М. (2014). Технологии пищевых продуктов с использованием переработанного пророщенного зерна пшеницы. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 4, 49-52.
- Ткаченко, Е. И., & Гриневич, В. Б. (2020). Метаболические аспекты терапевтических проблем. *Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология*, 179(7), 52-61. <https://doi.org/10.31146/1682-8658-esg-179-7-52061>
- Урбанчик, Е. Н., & Шалюта, А. Е. (2012). Получение продуктов быстрого приготовления на основе пророщенного зерна пшеницы и тритикале. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 7, 24-26.
- Хосни, Р. К. (2006). *Зерно и зернопродукты: Научные основы и технологии*. СПб.: Профессия.
- Чижилова, О., Нижельская, К., & Коршенко, Л. (2017). Использование продуктов переработки зерна пшеницы для мясных рубленых полуфабрикатов геродиетического назначения. *Известия Дальневосточного федерального университета. Экономика и управление*, 4, 123-131.
- Чумикина, Л. В. Арапова, Л. И., & Топунов, А. Ф. (2009). Биохимические особенности изменения белкового и ферментного комплексов и клейковины зерна тритикале при прорастании. *Известия вузов. Пищевая технология*, 2-3, 9-12.
- Шарафетдинов, Х. Х. & Плотникова, О. А. (2020). Ожирение как глобальный вызов XXI века: лечебное питание, профилактика и терапия. *Вопросы питания*, 89(4), 161-171. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10050>
- Шаршунов, В. А., Урбанчик, Е. Н., Касьянова, Л. А., Иванов, П. Г., & Агеенко, О. В. (2008). Биотехнологические приемы повышения эффективности использования зерновых ресурсов Беларуси. *Весці нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук*, 1, 101-106.
- Шаршунов, В. А., Урбанчик, Е. Н., Шалюта, А. Е., & Галдова, М. Н. (2016). Получение биологически активного зеинового продукта на основе смесей пророщенного зерна пшеницы и овса голозерного. *Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук*, 4, 118-125.
- Шнейдер, Д. (2010). Макароны из цельнозернового и пророщенного зерна пшеницы. *Хлебопродукты*, 8, 46-47.
- Щелкунов, Л. Ф., & Дудкин, М. С. (1999). Пищевые волокна – блокаторы и декорпоранты радионуклидов цезия и стронция. *Гигиена и санитария: научно-практический журнал*, 2, 40-43.
- Agu, R. C., & Palmer, G. H. (1997). The effect of temperature on the modification of sorghum and barley during malting. *Process Biochemistry*, 32(6), 501-507. [https://doi.org/10.1016/s0032-9592\(97\)00002-2](https://doi.org/10.1016/s0032-9592(97)00002-2)
- Ahmad, M., Gani, A., Shah, A., Gani, A., & Masoodi, F. A. (2016). Germination and microwave processing of barley (*Hordeum vulgare* L) changes the structural and physicochemical properties of β -d -glucan end enhances its antioxidant potential. *Carbohydrate Polymers*, 153, 696-702. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.07.022>
- Alvarez-Jubete, L., Wijngaard, H., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2010). Polyphenol composition and in vitro antioxidant activity of amaranth, quinoa buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking. *Food Chemistry*, 119(2), 770-778. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.07.032>
- Åman, P., Graham, H., & Tilly, A.-C. (1989). Content and solubility of mixed-linked (1 \rightarrow 3), (1 \rightarrow 4)- β -d-glucan in barley and oats during kernel development and storage. *Journal of Cereal Science*, 10(1), 45-50. [https://doi.org/10.1016/s0733-5210\(89\)80033-5](https://doi.org/10.1016/s0733-5210(89)80033-5)
- Aparicio-García, N., Martínez-Villaluenga, C., Frias, J., & Peñas, E. (2021). Sprouted oat as a potential gluten-free ingredient with enhanced nutritional and bioactive properties. *Food Chemistry*, 338, 127972. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127972>
- Archana, Sehgal, S., & Kawatra, A. (2001). In vitro protein and starch digestibility of pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) as affected by processing techniques. *Nahrung/Food*, 45(1), 25-27. [https://doi.org/10.1002/1521-3803\(20010101\)45:1<25::aid-food25>3.0.co;2-w](https://doi.org/10.1002/1521-3803(20010101)45:1<25::aid-food25>3.0.co;2-w)
- Autio, K., Simoinen, T., Suortti, T., Salmenkallio-Marttila, M., Lassila, K., & Wilhelmsson, A. (2001). Structural and Enzymic Changes in Germinated Barley and Rye. *Journal of the Institute of Brewing*, 107(1), 19-25. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2001.tb00075.x>
- Azeke, M. A., Egielewa, S. J., Eigbogbo, M. U., & Ihimire, I. G. (2011). Effect of germination on the

- phytase activity, phytate and total phosphorus contents of rice (*Oryza sativa*), maize (*Zea mays*), millet (*Panicum miliaceum*), sorghum (*Sorghum bicolor*) and wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of Food Science and Technology*, 48(6), 724-729. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0186-y>
- Badau, M. H., Nkama, I., & Jideani, I. A. (2005). Phytic acid content and hydrochloric acid extractability of minerals in pearl millet as affected by germination time and cultivar. *Food Chemistry*, 92(3), 425-435. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.08.006>
- Bamforth, C. W., & Kanauchi, M. (2001). A Simple Model for the Cell Wall of the Starchy Endosperm in Barley. *Journal of the Institute of Brewing*, 107(4), 235-240. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2001.tb00095.x>
- Bamforth, C. W., & Martin, H. L. (1983). The degradation of β -glucan during malting and mashing: the role of β -glucanase. *Journal of the Institute of Brewing*, 89(4), 303-307. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1983.tb04190.x>
- Bartnik, M., & Szafrńska, I. (1987). Changes in phytate content and phytase activity during the germination of some cereals. *Journal of Cereal Science*, 5(1), 23-28. [https://doi.org/10.1016/s0733-5210\(87\)80005-x](https://doi.org/10.1016/s0733-5210(87)80005-x)
- Bast, A., & Haenen, G. R. M. M. (2013). Ten misconceptions about antioxidants. *Trends in Pharmacological Sciences*, 34(8), 430-436. <https://doi.org/10.1016/j.tips.2013.05.010>
- Benincasa, P., Falcinelli, B., Lutts, S., Stagnari, F., & Galieni, A. (2019). Sprouted Grains: A Comprehensive Review. *Nutrients*, 11(2), 421. <https://doi.org/10.3390/nu11020421>
- Bouis, H. E., Hotz, C., McClafferty, B., Meenakshi, J. V., & Pfeiffer, W. H. (2011). Biofortification: A New Tool to Reduce Micronutrient Malnutrition. *Food and Nutrition Bulletin*, 32(1), 31-40. <https://doi.org/10.1177/15648265110321s105>
- Burton, R. A., & Fincher, G. B. (2014). Evolution and development of cell walls in cereal grains. *Frontiers in Plant Science*, 5, 456. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00456>
- Buttimer, E. T., & Briggs, D. E. (2000). Mechanisms of the Release of Bound β -Amylase. *Journal of the Institute of Brewing*, 106(2), 83-94. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2000.tb00043.x>
- Corder, A. M., & Henry, R. J. (1989). Carbohydrate-degrading enzymes in germinating wheat. *Cereal Chemistry*, 66, 435-439.
- Chung, T. Y., Nwokolo, E. N., & Sim, J. S. (1989). Compositional and digestibility changes in sprouted barley and canola seeds. *Plant Foods for Human Nutrition*, 39(3), 267-278. <https://doi.org/10.1007/bf01091937>
- De Backer, E., Gebruers, K., Van den Ende, W., Courtin, C. M., & Delcour, J. A. (2010). Post-translational processing of β -d-xylanases and changes in extractability of arabinoxylans during wheat germination. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48(2-3), 90-97. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2009.10.008>
- Donkor, O. N., Stojanovska, L., Ginn, P., Ashton, J., & Vasiljevic, T. (2012). Germinated grains – Sources of bioactive compounds. *Food Chemistry*, 135(3), 950-959. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.05.058>
- Duke, S. H., Vinje, M. A., & Henson, C. A. (2013). Tracking Amylolytic Enzyme Activities During Congress Mashing with North American Barley Cultivars: Comparisons of Patterns of Activity and beta-Amylases with Differing Bmy1 Intron III Alleles and Correlations of Amylolytic Enzyme Activities. *Cerevisia*, 38(2), 51-52. <https://doi.org/10.1016/j.cervis.2013.09.003>
- Centeno, C., Viveros, A., Brenes, A., Canales, R., Lozano, A. & De la Cuadra, C. (2001). Effect of Several Germination Conditions on Total P, Phytate P, Phytase, and Acid Phosphatase Activities and Inositol Phosphate Esters in Rye and Barley. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(7), 3208-3215. <https://doi.org/10.1021/jf010023c>
- Chung, H.-J., Jang, S.-H., Cho, H. Y., & Lim, S. T. (2009). Effects of steeping and anaerobic treatment on GABA (γ -aminobutyric acid) content in germinated waxy hull-less barley. *LWT - Food Science and Technology*, 42(10), 1712-1716. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.04.007>
- EFSA (2015). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for vitamin E as α -tocopherol. *EFSA Journal*, 13(7), 4149-4220. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4149>
- Ellis, R. P., Swanston, J. S., Rubio, A., Perez-Vendrell, A. M., Romagosa, I., & Molina-Cano, J. L. (1997). The Development of β -Glucanase and Degradation of β -Glucan in Barley Grown in Scotland and Spain. *Journal of Cereal Science*, 26(1), 75-82. <https://doi.org/10.1006/jcrs.1996.0105>
- Faltermaier, A., Zarnkow, M., Becker, T., Gastl, M., & Arendt, E. K. (2015). Common wheat (*Triticum aestivum* L.): Evaluating microstructural changes during the malting process by using confocal laser scanning microscopy and scanning electron microscopy. *European Food Research and Technology*, 241(2), 239-252. <https://doi.org/10.1007/s00217-015-2450-x>
- Fardet, A., Rock, E., & Rémésy, C. (2008). Is the in vitro antioxidant potential of whole-grain cereals and cereal products well reflected in vivo? *Journal of Cereal Science*, 48(2), 258-276. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.01.002>

- Feng, H., Nemzer, B., & Devries, J. (2019). *Sprouted grains: nutritional value, production, and applications*. Woodhead Publishing and AACC International Press. <https://doi.org/10.1016/C2016-0-01536-X>
- Fredlund, K., Bergman, E.-L., Rossander-Hulthén, L., Isaksson, M., Almgren, A., & Sandberg, A.-S. (2003). Hydrothermal treatment and malting of barley improved zinc absorption but not calcium absorption in humans. *European Journal of Clinical Nutrition*, 57(12), 1507-1513. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1601718>
- Gujka, E., & Kunciewicz, A. (2005). Determination of folate in some cereals and commercial cereal-grain products consumed in Poland using trienzyme extraction and high-performance liquid chromatography methods. *European Food Research and Technology*, 221(1-2), 208-213. <https://doi.org/10.1007/s00217-004-1122-z>
- Ha, K.-S., Jo, S.-H., Mannam, V., Kwon, Y.-I., & Apostolidis, E. (2016). Stimulation of Phenolics, Antioxidant and α -Glucosidase Inhibitory Activities During Barley (*Hordeum vulgare* L.) Seed Germination. *Plant Foods for Human Nutrition*, 71(2), 211-217. <https://doi.org/10.1007/s11130-016-0549-2>
- Haraldsson, A.-K., Rimsten, L., Alminger, M. L., Andersson, R., Andlid, T., Åman, P., & Sandberg, A.-S. (2004). Phytate content is reduced and β -glucanase activity suppressed in malted barley steeped with lactic acid at high temperature. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84(7), 653-662. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1724>
- Hefni, M., & Witthöft, C. M. (2012). Effect of germination and subsequent oven-drying on folate content in different wheat and rye cultivars. *Journal of Cereal Science*, 56(2), 374-378. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.03.009>
- Hemalatha, S., Platel, K., & Srinivasan, K. (2007). Influence of germination and fermentation on bioaccessibility of zinc and iron from food grains. *European Journal of Clinical Nutrition*, 61(3), 342-348. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602524>
- Henry, R. J. (1987). Pentosan and (1-3),(1-4)- β -Glucan concentrations in endosperm and wholegrain of wheat, barley, oats and rye. *Journal of Cereal Science*, 6(3), 253-258. [https://doi.org/10.1016/S0733-5210\(87\)80062-0](https://doi.org/10.1016/S0733-5210(87)80062-0)
- Hrmova, M., Banik, M., Harvey, A. J., Garrett, T. P., Varghese, J. N., Høj, P. B., & Fincher, G. B. (1997). Polysaccharide hydrolases in germinated barley and their role in the depolymerization of plant and fungal cell walls. *International Journal of Biological Macromolecules*, 21(1-2), 67-72. [https://doi.org/10.1016/S0141-8130\(97\)00043-3](https://doi.org/10.1016/S0141-8130(97)00043-3)
- Hucker, B., Wakeling, L., & Vriesekoop, F. (2012). Investigations into the thiamine and riboflavin content of malt and the effects of malting and roasting on their final content. *Journal of Cereal Science*, 56(2), 300-306. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.03.008>
- Hung, P.V., Maeda, T., Yamamoto, S., & Morita, N. (2011). Effects of germination on nutritional composition of waxy wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92, 667-672. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4628>
- Hübner, F., O'Neil, T., Cashman, K. D., & Arendt, E. K. (2010). The influence of germination conditions on beta-glucan, dietary fibre and phytate during the germination of oats and barley. *European Food Research and Technology*, 231(1), 27-35. <https://doi.org/10.1007/s00217-010-1247-1>
- Inyang, C. U., & Zakari, U. M. (2008). Effect of Germination and Fermentation of Pearl Millet on Proximate, Chemical and Sensory Properties of Instant «Fura» - A Nigerian Cereal Food. *Pakistan Journal of Nutrition*, 7(1), 9-12. <https://doi.org/10.3923/pjn.2008.9.12>
- Iqbal, T. H., Lewis, K. O., & Cooper, B. T. (1994). Phytase activity in the human and rat small intestine. *Gut*, 35(9), 1233-1236. <https://doi.org/10.1136/gut.35.9.1233>
- Jabrin, S., Ravanel, S., Gambonnet, B., Douce, R., & Rébeillé, F. (2003). One-Carbon Metabolism in Plants. Regulation of Tetrahydrofolate Synthesis during Germination and Seedling Development. *Plant physiology*, 131(3), 1431-1439. <https://doi.org/10.1104/pp.016915>
- Jägerstad, M., Piironen, V., Walker, C., Ros, G., Carnovale, E., Holasova, M., & Nau, H. (2005). Increasing natural food folates through bioprocessing and biotechnology. *Trends in Food Science & Technology*, 16(6-7), 298-306. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.03.005>
- Kariluoto, S., Liukkonen, K.-H., Myllymäki, O., Vahteristo, L., Kaukovirta-Norja, A., & Piironen, V. (2006). Effect of Germination and Thermal Treatments on Folate in Rye. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(25), 9522-9528. <https://doi.org/10.1021/jf061734j>
- Katina, K., Liukkonen, K.-H., Kaukovirta-Norja, A., Adlercreutz, H., Heinonen, S.-M., Lampi, A. M., Pihlavan, J.-M., & Poutanen, K. (2007a). Fermentation-induced changes in the nutritional value of native or germinated rye. *Journal of Cereal Science*, 46(3), 348-355. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.07.006>
- Katina, K., Laitila, A., Juvonen, R., Liukkonen, K.-H., Kariluoto, S., Piironen, V., Landberg, N., Aman, P., & Poutanen, K. (2007b). Bran fermentation as a means to enhance technological properties and bioactivity of rye. *Food Microbiology*, 24(2), 175-186. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2006.07.012>

- Kim, H. Y., Lee, S. H., Hwang, I. G., Woo, K. S., Kim, K. J., Lee, M. J., Kim, D. J., Kim, T. J., Lee, J., & Jeong, H. S. (2013). Antioxidant and antiproliferation activities of winter cereal crops before and after germination. *Food Science and Biotechnology*, 22(1), 181-186. <https://doi.org/10.1007/s10068-013-0025-9>
- Klose, C., & Arendt, E. K. (2012). Proteins in Oats; their Synthesis and Changes during Germination: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52(7), 629-639. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.504902>
- Klose, C., Schehl, B. D., & Arendt, E. K. (2009). Fundamental study on protein changes taking place during malting of oats. *Journal of Cereal Science*, 49(1), 83-91. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.07.014>
- Koehler, P., Hartmann, G., Wieser, H., & Rychlik, M. (2007). Changes of Folates, Dietary Fiber, and Proteins in Wheat As Affected by Germination. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(12), 4678-4683. <https://doi.org/10.1021/jf0633037>
- Konietzny, U., & Greiner, R. (2002). Molecular and catalytic properties of phytate-degrading enzymes (phytases). *International Journal of Food Science and Technology*, 37(7), 791-812. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2002.00617.x>
- Krahl, M., Zarnkow, M., Back, W., & Becker, T. (2010). Determination of the Influence of Malting Parameters on the Water-Extractable Arabinoxylan Content of Wheat (*Triticum Aestivum*), Rye (*Secale cereale*), and Spelt Wheat (*Triticum aestivum spp. spelta*). *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 68(1), 34-40. <https://doi.org/10.1094/asbcj-2009-1126-01>
- Kubicka, E., Grabska, J., Jędrychowski, L., & Czyż, B. (2000). Changes of specific activity of lipase and lipoxigenase during germination of wheat and barley. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 51, 301-304. <https://doi.org/10.1080/09637480050077194>
- Lampi, A.-M., Nurmi, T., & Piironen, V. (2010). Effects of the Environment and Genotype on Tocopherols and Tocotrienols in Wheat in the healthgrain Diversity Screen. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(17), 9306-9313. <https://doi.org/10.1021/jf100253u>
- Larsson, M., & Sandberg, A.-S. (1992). Phytate Reduction in Oats during Malting. *Journal of Food Science*, 57(4), 994-997. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1992.tb14340.x>
- Lebiedzińska, A., & Szefer, P. (2006). Vitamins B in grain and cereal-grain food, soy-products and seeds. *Food Chemistry*, 95(1), 116-122. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.12.024>
- Lemmens, E., De Brier, N., Spiers, K. M., Ryan, C., Garrevoet, J., Falkenberg, G., Goos, P., Smolders, E., & Delcour, J. A. (2018). The impact of steeping, germination and hydrothermal processing of wheat (*Triticum aestivum* L.) grains on phytate hydrolysis and the distribution, speciation and bio-accessibility of iron and zinc elements. *Food Chemistry*, 264, 367-376. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.125>
- Lemmens, E., Moroni, A. V., Pagand, J., Heirbaut, P., Ritala, A., Karlen, Y., Le, K.-A., Van der Broeck, H. C., Brouns, F. J. P. H., de Brier, N., & Delcour, J. A. (2019). Impact of Cereal Seed Sprouting on Its Nutritional and Technological Properties: A Critical Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18, 305-328. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12414>
- Lestienne, I., Icard-Vernière, C., Mouquet, C., Picq, C., & Trèche, S. (2005). Effects of soaking whole cereal and legume seeds on iron, zinc and phytate contents. *Food Chemistry*, 89(3), 421-425. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.03.040>
- Li, Y., Lu, J., Gu, G., Shi, Z., & Mao, Z. (2005). Studies on water-extractable arabinoxylans during malting and brewing. *Food Chemistry*, 93(1), 33-38. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.08.040>
- Lintschinger, J., Fuchs, N., Moser, H., Jäger, R., Hlebeina, T., Markolin, G., & Gössler, W. (1997). Uptake of various trace elements during germination of wheat, buckwheat and quinoa. *Plant Foods for Human Nutrition*, 50(3), 223-237. <https://doi.org/10.1007/bf02436059>
- Liukkonen, K.-H., Katina, K., Wilhelmsson, A., Myllymaki, O., Lampi, A.-M., Kariluoto, S., Piironen, V., Heinonen, S.-M., Nurmi, T., Adlercreutz, H., Peltoketo, A., Pihlavan, J.-M., Hietaniemi, V., & Poutanen, K. (2003). Process-induced changes on bioactive compounds in whole grain rye. *Proceedings of the Nutrition Society*, 62(1), 117-122. <https://doi.org/10.1079/pns2002218>
- Lu, J., Zhao, H., Chen, J., Fan, W., Dong, J., Kong, W., Sun J., Cao, Y., & Cai, G. (2007). Evolution of Phenolic Compounds and Antioxidant Activity during Malting. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(26), 10994-11001. <https://doi.org/10.1021/jf0722710>
- Luo, Y.-W., Xie, W.-H., Jin, X.-X., Wang, Q. & He, Y.-J. (2013). Effects of germination on iron, zinc, calcium, manganese, and copper availability from cereals and legumes. *CyTA - Journal of Food*, 12(1), 22-26. <https://doi.org/10.1080/19476337.2013.782071>
- Mäkinen, O. E., & Arendt, E. K. (2012). Oat malt as a baking ingredient – A comparative study of the impact of oat, barley and wheat malts on bread and dough properties. *Journal of Cereal Science*, 56(3), 747-753. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.08.009>
- Mäkinen, O. E., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2013). Germination of Oat and Quinoa and Evaluation of

- the Malts as Gluten Free Baking Ingredients. *Plant Foods for Human Nutrition*, 68(1), 90-95. <https://doi.org/10.1007/s11130-013-0335-3>
- Mandeep, S. Sibian, D. C. S., & Riar, C. C. (2016). Nutritional and functional quality analysis and amino acid score evaluation of germinated wheat (*Triticum aestivum*) grain. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 1(4), 16-22.
- Malleshi, N. G., & Klopfenstein, C. F. (1998). Nutrient composition, amino acid and vitamin contents of malted sorghum, pearl millet, finger millet and their rootlets. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 49(6), 415-422. <https://doi.org/10.3109/09637489809086420>
- Mardar, M., Zhygunov, D., & Znachek, R. (2016). QFD methodology to develop a new health-conducive grain product. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2, 42-48. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.65725>
- Marconi, O., Tomasi, I., Dionisio, L., Perretti, G., & Fantozzi, P. (2014). Effects of malting on molecular weight distribution and content of water-extractable β -glucans in barley. *Food Research International*, 64, 677-682. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.07.035>
- Martínez-Villaluenga, C., & Peñas Pozo, E. (2020). *Production, Properties and Applications of Sprouted Seeds*. MDPI, Switzerland. <https://doi.org/10.3390/books978-3-03943-317-9>
- Mbithi-Mwikya, S., Van Camp, J., Yiru, Y., & Huyghebaert, A. (2000). Nutrient and Antinutrient Changes in Finger Millet (*Eleusine coracana*) During Sprouting. *LWT - Food Science and Technology*, 33(1), 9-14. <https://doi.org/10.1006/fstl.1999.0605>
- Mridula, D., Sharma, M. & Gupta, R. K. (2015). Development of quick cooking multi-grain dalia utilizing sprouted grains. *Journal of Food Science and Technology*, (52), 5826-5833. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1634-x>
- Noda, T., Takigawa, S., Matsuuraendo, C., Saito, K., Takata, K., Tabiki, T., Wickramasinghe, H. A. M., & Yamauchi, H. (2004). The physicochemical properties of partially digested starch from sprouted wheat grain. *Carbohydrate Polymers*, 56(3), 271-277. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2003.10.015>
- Ohm, J.-B., Lee, C. W., & Cho, K. (2016). Germinated Wheat: Phytochemical Composition and Mixing Characteristics. *Cereal Chemistry Journal*, 93(6), 612-617. <https://doi.org/10.1094/cchem-01-16-0006-r>
- Osman, A. M., Coverdale, S. M., Cole, N., Hamilton, S. E., Jersey, J. & Inkerman, P. A. (2002). Characterisation and Assessment of the Role of Barley Malt Endoproteases During Malting and Mashing. *Journal of the Institute of Brewing*, 108(1), 62-67. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2002.tb00125.x>
- Ozturk, L., Yazici, M. A., Yucel, C., Torun, A., Cekic, C., Bagci, A., Ozkan, H., Braun, H.-J., Sayers, Z., & Cakmak, I. (2006). Concentration and localization of zinc during seed development and germination in wheat. *Physiologia Plantarum*, 128(1), 144-152. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2006.00737.x>
- Perera, A., Meda, V. & Tyler, R. T. (2010). Resistant starch: A review of analytical protocols for determining resistant starch and of factors affecting the resistant starch content of foods. *Food Research International*, 43(8), 1959-1974. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.06.003>
- Persson, H., Türk, M., Nyman, M., & Sandberg, A.-S. (1998). Binding of Cu^{2+} , Zn^{2+} , and Cd^{2+} to Inositol Tri-, Tetra-, Penta-, and Hexaphosphates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(8), 3194-3200. <https://doi.org/10.1021/jf971055w>
- Peterson, D. M. (1999). Lipase Activity and Lipid Metabolism During Oat Malting. *Cereal Chemistry Journal*, 76(1), 159-163. <https://doi.org/10.1094/cchem.1999.76.1.159>
- Peterson, D. M. (1998). Malting Oats: Effects on Chemical Composition of Hull-less and Hulled Genotypes. *Cereal Chemistry Journal*, 75(2), 230-234. <https://doi.org/10.1094/cchem.1998.75.2.230>
- Platel, K., Eipeson, S. W., & Srinivasan, K. (2010). Bioaccessible Mineral Content of Malted Finger Millet (*Eleusine coracana*), Wheat (*Triticum aestivum*), and Barley (*Hordeum vulgare*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(13), 8100-8103. <https://doi.org/10.1021/jf100846e>
- Plaza, L., de Ancos, B., & Cano, P. M. (2003). Nutritional and health-related compounds in sprouts and seeds of soybean (*Glycine max*), wheat (*Triticum aestivum*.L) and alfalfa (*Medicago sativa*) treated by a new drying method. *European Food Research and Technology*, 216(2), 138-144. <https://doi.org/10.1007/s00217-002-0640-9>
- Pompella, A., Sies, H., Wacker, R., Brouns, F., Grune, T., Biesalski, H. K., & Frank, J. (2014). The use of total antioxidant capacity as surrogate marker for food quality and its effect on health is to be discouraged. *Nutrition*, 30(7-8), 791-793. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2013.12.002>
- Poutanen, K., Flander, L., & Katina, K. (2009). Sourdough and cereal fermentation in a nutritional perspective. *Food Microbiology*, 26, 693-699. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2009.07.011>
- Quek, W. P., Yu, W., Tao, K., Fox, G. P., & Gilbert, R. G. (2019). Starch structure-property relations as a function of barley germination times. *International Journal of Biological Macromolecules*, 136, 1125-1132. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.149>
- Rimsten, L., Haraldsson, A.-K., Andersson, R., Alminger, M., Sandberg, A.-S., & Åman, P. (2002). Effects of malting on β -glucanase and phytase

- activity in barley grain. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82(8), 904-912. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1135>
- Rudi, H., Uhlen, A. K., Harstad, O. M., & Munck, L. (2006). Genetic variability in cereal carbohydrate compositions and potentials for improving nutritional value. *Animal Feed Science and Technology*, 130(1-2), 55-65. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.01.017>
- Schlemmer, U., Frølich, W., Prieto, R. M., & Grases, F. (2009). Phytate in foods and significance for humans: Food sources, intake, processing, bioavailability, protective role and analysis. *Molecular Nutrition & Food Research*, 53, 330-375. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200900099>
- Schwalb, T., Wieser, H., & Koehler, P. (2012). Studies on the gluten-specific peptidase activity of germinated grains from different cereal species and cultivars. *European Food Research and Technology*, 235(6), 1161-1170. <https://doi.org/10.1007/s00217-012-1853-1>
- Sibian, M. S., Saxena, D. C., & Riar, C. S. (2017). Effect of germination on chemical, functional and nutritional characteristics of wheat, brown rice and triticale: a comparative study. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(13), 4643-4651. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8336>
- Simahina, G., Bazhay-Zhezherun, S., Mykoliv, T., Bereza-Kindzerska, L.V., & Antoniuk, M. M. (2016). The use of the biologically activated grain is in technology of health products. *Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal)*, 9(4), 147-153.
- Skoglund, M., Peterson, D. M., Andersson, R., Nilsson, J., & Dimberg, L. H. (2008). Avenanthramide content and related enzyme activities in oats as affected by steeping and germination. *Journal of Cereal Science*, 48(2), 294-303. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.09.010>
- Sung, H. G., Shin, H. T., Ha, J. K., Lai, H.-L., Cheng, K.-J., & Lee, J. H. (2005). Effect of germination temperature on characteristics of phytase production from barley. *Bioresource Technology*, 96(11), 1297-1303. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.10.010>
- Sungurtas, J., Swanston, J. ., Davies, H., & McDougall, G. (2004). Xylan-degrading enzymes and arabinoxylan solubilisation in barley cultivars of differing malting quality. *Journal of Cereal Science*, 39(2), 273-281. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2003.11.001>
- Świeca, M., & Dziki, D. (2015). Improvement in sprouted wheat flour functionality: effect of time, temperature and elicitation. *International Journal of Food Science & Technology*, 50(9), 2135-2142. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12881>
- Teixeira, C., Nyman, M., Andersson, R., & Alminger, M. (2016). Effects of variety and steeping conditions on some barley components associated with colonic health. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(14), 4821-4827. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7923>
- Tian, B., Xie, B., Shi, J., Wu, J., Cai, Y., Xu, T., Xue, S., & Deng, Q. (2010). Physicochemical changes of oat seeds during germination. *Food Chemistry*, 119(3), 1195-1200. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.08.035>
- Wang, J., Zhang, G., Chen, J., & Wu, F. (2004). The changes of β -glucan content and β -glucanase activity in barley before and after malting and their relationships to malt qualities. *Food Chemistry*, 86(2), 223-228. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.08.020>
- Wilhelmson, A., Oksman-Caldentey, K.-M., Laitila, A., Suortti, T., Kaukovirta-Norja, A., & Poutanen, K. (2001). Development of a Germination Process for Producing High β -Glucan, Whole Grain Food Ingredients from Oat. *Cereal Chemistry Journal*, 78(6), 715-720. <https://doi.org/10.1094/cchem.2001.78.6.715>
- Woodward, J., Fincher, G., & Stone, B. (1983). Water-soluble (1-3), (1-4)- β -D-glucans from barley (*Hordeum vulgare*) endosperm. II. Fine structure. *Carbohydrate Polymers*, 3(3), 207-225. [https://doi.org/10.1016/0144-8617\(83\)90019-x](https://doi.org/10.1016/0144-8617(83)90019-x)
- Xie, L., Jin, Y., Du, J., & Zhang, K. (2014). Water-soluble protein molecular weight distribution and effects on wheat malt quality during malting. *Journal of the Institute of Brewing and Distilling*, 120(4), 399-403. <https://doi.org/10.1002/jib.182>
- Xu, J. G., Tian, C. R., Hu, Q. P., Luo, J. Y., Wang, X. D., & Tian, X. D. (2009). Dynamic Changes in Phenolic Compounds and Antioxidant Activity in Oats (*Avena nuda* L.) during Steeping and Germination. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(21), 10392-10398. <https://doi.org/10.1021/jf902778j>
- Yang, T. K., Basu, B., & Ooraikul, F. (2001). Studies on germination conditions and antioxidant contents of wheat grain. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 52(4), 319-330. <https://doi.org/10.1080/09637480120057567>
- Zenkova, M. L., & Babich, D. A. (2018). Wheat grain preparing for production of conserved food "Second course for lunch". *Food Processing: Techniques and Technology*, 48(2), 46-53. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-2-46-53>
- Žilić, S., Basić, Z., Hadži-Tašković, Šukalović, V., Maksimović, V., Janković, M., & Filipović, M. (2014). Can the sprouting process applied to wheat improve the contents of vitamins and phenolic compounds and antioxidant capacity of the flour? *International Journal of Food Science & Technology*, 49(4), 1040-1047. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12397>

The Influence of the Sprouting Process of Grain Crops on their Nutritional Value

Maria L. Zenkova

Belarusian State Economic University
26, Partizanskiy Av., Minsk, 220070, Republic of Belarus
E-mail: mariya_lz@mail.ru

Alexander V. Akulich

Belarusian State University of Food
and Chemical Technologies
3, Shmidt Av., Mogilev, 212027, Republic of Belarus
E-mail: akulichav57@mail.ru

The sprouting process leads to the activation and synthesis of hydrolytic enzymes that make nutrients available for plant growth and development. Consumption of sprouted grains is considered beneficial for human health. The positive consumer perception of sprouted grains of grain crops is stimulating the development of new food products. However, because of the lack of a basic definition of «sprouted grain», it is not clear when grain should be called sprouted. In addition, there are currently no quality criteria for sprouted grains. Accordingly, there is no regulatory framework for the development of appropriate labeling of food products containing sprouted grains. The review examines the nutritional value of sprouted grains of grain crops depending on the conditions of sprouting and provides recommendations for the optimization of sprouting methods to maximize the nutritional value. Relatively long sprouting time (at least 2 days) at sufficiently high temperatures (20 to 35 °C) are necessary for the synthesis of bioactive plant compounds. Changes in nutritional value as a result of sprouting are often related to health benefits. However, there are very few confirmatory clinical research, and no conclusions about the health benefits of sprouted grains can be reached at this time. Furthermore, sprouted grains are not a traditional raw material in the food industry and therefore it is difficult to use sprouted grains as a recipe ingredient in food production without losing their nutrients. This review provides a basis for a more precise definition of the «sprouting» process, and allows us to determine directions for further research and development in this area.

Keywords: grain, sprouted grain, sprouting process, sprouts, grain crops, nutritional value

References

- Abagalieva, A. I., & Savin, T. V. (2013). Soderzhanie β -glyukana v zerne ovsa [The content of β -glucan in oat grain]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Bulletin of Agricultural Science], 4, 76-83.
- Alekshina, N. N. (2020). *Zernovoi khleb dlya povysheniya pishchevogo statusa naseleniya: bioaktivatsiya zlakovykh kul'tur, resursosberezhenie syr'ya, razrabotka tekhnologii i rasshirenie assortimenta produktsii* [Grain bread to improve the nutritional status of the population: bioactivation of cereals, resource conservation of raw materials, development of technologies and expansion of the range of products] [Doctoral Dissertation, Voronezhskii gosudarstvennyi universitet inzhenernykh tekhnologii]. Voronezh, Russia.
- Aniol, V. A., & Stepanichev, M. Yu. (2007). Oksid azota (II) i gamma-aminomaslyannaya kislota kak regulatory neirogeneza v mozge vzroslykh mlekopitayushchikh pri modelirovanii sudorozhnoi aktivnosti [Nitric oxide (II) and gamma-aminobutyric acid as regulators of neurogenesis in the brain of adult mammals in modeling seizure activity]. *Neirokhimiya* [Neurochemistry], 24(4), 279-289.
- Babayan, M. L. (2011). Vliyanie polisakharidov na vnutrikishechnyi metabolizm: Fiziologicheskie aspekty i vozmozhnosti klinicheskogo primeneniya [The effect of polysaccharides on intraintestinal metabolism: Physiological aspects and potential clinical applications]. *Lechashchii vrach* [Therapist], 6, 92-94.
- Bulgakov, N. I. (1976). *Biokhimiya soloda i piva* [Biochemistry of malt and beer]. Moscow: Pishchevaya promyshlennost'.
- Veretnova, O. Yu., & Safronova, T. N. (2015). Razrabotka retseptury myasnykh kombinirovannykh farshei s ispol'zovaniem prorozhchennogo zerna pshenitsy [Development of a recipe for combined minced meat using sprouted wheat grain]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Krasnoyarsk State Agrarian University], 1(10), 10-13.

- nogo universiteta [Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University], 10, 112-115.
- Gematdinova, V. M., Kanarskii, A. V., Kanarskaya, Z. A., & Kruchina-Bogdanov, I. V. (2019). Poluchenie kontsentrata β -glyukana prorashchivaniem ovsa [Obtaining β -glucan concentrate by sprouting oats]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of Plant Raw Materials], 2, 231-237. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2019024251>
- Gil'mullina, L. F., Ponomareva, M. L., Ponomarev, S. N., & Mannapova, G. S. (2021). Metody kachestvennogo i kolichestvennogo opredeleniya arabinoksilanov v zerne zlakov (obzor) [Methods for the qualitative and quantitative determination of arabinoxylans in cereal grains (review)]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of Plant Raw Materials], 1, 27-43. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2021017713>
- Dubtsov, G. G., Berezhnaya, O. V., & Voino, L. I. (2015). Prorostki pshenitsy – ingredient dlya produktov pitaniya [Wheat sprouts - food ingredient]. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food industry], 5, 26-29.
- Zen'kova, M. L., Akulich, A. V., Mel'nikova, L. A., & Timofeeva, V. N. (2020). Issledovanie nutritivnogo profilya proroshchennogo zerna myagkoi pshenitsy, vyrashchennoi v Belarusi [Study of the nutritional profile of sprouted grain of common wheat grown in Belarus]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and processing of Farm Products], 3, 58-68. <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.339>
- Kazakov, E. D. (1973). *Zernovedenie s osnovami rastenievodstva* [Grain science with the basics of crop production]. Moscow: Kolos.
- Kazakov, E. D. & Karpilenko, G. P. (2005). *Biokhimiya zerna i khleboproduktov* [Biochemistry of grain and bakery products] (3rd ed.). S-Petersburg: GIRD.
- Kretovich, V. L. (1986). *Biokhimiya rastenii* [Plant biochemistry]. Moscow: Vysshaya shkola.
- Kryukov, V. S., Glebova, I. V., & Antipov, A. A. (2019). Otsenka deistviya fitaz v pishchevaritel'nom trakte i ispol'zovanie preparatov fitazy v pitanii zhivotnykh [Assessment of the action of phytases in the digestive tract and the use of phytase preparations in animal nutrition]. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh* [Problems of the biology of productive animals], 2, 19-43. <https://doi.org/10.25687/1996-6733.prodanimb.2019.2.19-43>
- Kuznetsova, E. A., Goncharov, Yu. V., & Paramonov, I. N. (2011). Izmenenie nekotorykh pokazatelei belkovogo kompleksa zerna pshenitsy pri prorashchivanii v protsesse podgotovki k proizvodstvu khlebobulochnykh izdelii [Changes in some indicators of the protein complex of wheat grain during germination in preparation for the production of bakery products]. *Tekhnologiya i tovarovedenie innovatsionnykh pishchevykh produktov* [Technology and commodity science of innovative food products], 1, 24-31.
- Kuznetsova, E. A. (2010). Izmenenie biokhimicheskikh svoystv zerna pshenitsy pri podgotovke k proizvodstvu zernovogo khleba s ispol'zovaniem fermentativnogo gidroliza [Changes in the biochemical properties of wheat grain in preparation for the production of grain bread using enzymatic hydrolysis]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and processing of Farm Products], 5, 38-41.
- Kuntse, V., & Mit, G. (2001). *Tekhnologiya soloda i piva* [Malt and beer technology]. S-Petersburg: Professiya.
- Leonova, S., Nigmat'yanov, A., & Fazylov M. (2010). Razrabotka tekhnologii natsional'nogo krupyanogo produkta iz proroshchennogo zerna [Development of technology for a national cereal product from sprouted grain]. *Khleboprodukty* [Bakery Products], 9, 48-49.
- Nikolaeva, M. G., & Obrucheva, N. V. (Red.) (1982). *Fiziologiya i biokhimiya pokoya i prorstaniya semyan* [Physiology and biochemistry of dormancy and germination of seeds]. Moscow: Kolos.
- Polonskii, V. I., & Sumina, A. V. (2013). Soderzhanie β -glyukanov v zerne kak perspektivnyi priznak pri selektsii yachmenya na pishchevoe ispol'zovanie [The content of β -glucans in grain as a promising trait in breeding barley for food use]. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya* [Agricultural Biology], 5, 30-43.
- Pyr'eva, E. A., & Safronova, A. I. (2019). Rol' i mesto pishchevykh volokon v strukture pitaniya naseleeniya [The role and place of dietary fiber in the structure of the population's nutrition]. *Voprosy pitaniya* [Nutrition Issues], 88(6), 5-11. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10059>
- Rogozhina, T. V., & Rogozhin, V. V. (2010). Rol' komponentov antioksidantnoi sistemy v mekhanizmax prorstaniya zeren pshenitsy [The role of the components of the antioxidant system in the mechanisms of germination of wheat grains]. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Altai State Agrarian University Bulletin], 11, 31-38.
- Samchenko, O. N., & Merkuicheva, M. A. (2015). Proroshchennoe zerno – perspektivnoe syr'e dlya razrabotki novykh vidov izdelii [Sprouted grain is a promising raw material for the development of new types of products]. *Novyi universitet. Seriya: tekhnicheskie nauki* [New University. Series: technical sciences], 7-8, 27-32.
- Safronova, T. N., & Evtukhova, O. M. (2014). Tekhnologii pishchevykh produktov s ispol'zo-

- vaniem pererabotannogo proroshchennogo zerna pshenitsy [Food Technology Using Processed Sprouted Wheat Grain]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and processing of Farm Products], 4, 49-52.
- Tkachenko, E. I., & Grinevich, V. B. (2020). Metabolicheskie aspekty terapevticheskikh problem [Metabolic Aspects of Therapeutic Problems]. *Ekspierimental'naya i klinicheskaya gastroenterologiya* [Experimental and Clinical Gastroenterology], 179(7), 52-61. <https://doi.org/10.31146/1682-8658-ecg-179-7-52061>
- Urbanchik, E. N., & Shalyuta, A. E. (2012). Poluchenie produktov bystrogo prigotovleniya na osnove proroshchennogo zerna pshenitsy i tritikale [Obtaining instant products based on wheat germ and triticale]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and processing of Farm Products], 7, 24-26.
- Khosni, R. K. (2006). *Zerno i zernoprodukty: Nauchnye osnovy i tekhnologii* [Grain and grain products: Scientific foundations and technologies]. S-Petersburg: Professiya.
- Chizhikova, O., Nizhel'skaya, K., & Korshenko, L. (2017). Ispol'zovanie produktov pererabotki zerna pshenitsy dlya myasnykh rublenykh polufabrikatov gerodieticheskogo naznacheniya [The use of wheat grain processing products for minced meat semi-finished products for heroic purposes]. *Izvestiya Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta. Ekonomika i upravlenie* [Bulletin of the Far Eastern Federal University. Economics and Management], 4, 123-131.
- Chumikina, L. V. Arabova, L. I., & Topunov, A. F. (2009). Biokhimicheskie osobennosti izmeneniya belkovogo i fermentnogo kompleksov i klekoviny zerna tritikale pri prorstanii [Biochemical features of changes in protein and enzyme complexes and gluten of triticale grain during germination]. *Izvestiya vuzov. Pishcheyaya tekhnologiya* [Proceedings of Universities. Food Technology], 2-3, 9-12.
- Sharafetdinov, Kh. Kh. & Plotnikova, O. A. (2020). Ozhirenie kak global'nyi vyzov XXI veka: lechenoe pitanie, profilaktika i terapiya [Obesity as a Global Challenge of the 21st Century: Nutritional Care, Prevention and Therapy]. *Voprosy pitaniya* [Nutrition Issues], 89(4), 161-171. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10050>
- Sharshunov, V. A., Urbanchik, E. N., Kas'yanova, L. A., Ivanov, P. G., & Ageenko, O. V. (2008). Biotekhnologicheskie priemy povysheniya effektivnosti ispol'zovaniya zernovykh resursov Belarusi [Biotechnological methods of increasing the efficiency of the use of grain resources in Belarus]. *Vesti natsyynal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk* [To conduct the National Academy of Sciences of Belarus. A series of agricultural sciences], 1, 101-106.
- Sharshunov, V. A., Urbanchik, E. N., Shalyuta, A. E., & Galdova, M. N. (2016). Poluchenie biologicheskii aktivnogo zeonovogo produkta na osnove smesei proroshchennogo zerna pshenitsy i ovsa golozernogo [Obtaining a biologically active zeon product based on mixtures of germinated wheat grain and naked oats]. *Vesti natsyynal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk* [To conduct the National Academy of Sciences of Belarus. A series of agricultural sciences], 4, 118-125.
- Shneider, D. (2010). Makaronnye izdeliya iz tsel'nosmolotogo i proroshchennogo zerna pshenitsy [Whole-ground and sprouted wheat pasta]. *Khleboprodukty* [Bakery Products], 8, 46-47.
- Shchelkunov, L. F., & Dudkin, M. S. (1999). Pishchevye volokna – blokatory i dekorporanty radionuklidov tseziya i strontsiya [Dietary fiber – blockers and decorators of cesium and strontium radionuclides]. *Gigiena i sanitariya: nauchno-prakticheskii zhurnal* [Hygiene and Sanitation: Scientific and Practical Journal], 2, 40-43.
- Agu, R. C., & Palmer, G. H. (1997). The effect of temperature on the modification of sorghum and barley during malting. *Process Biochemistry*, 32(6), 501-507. [https://doi.org/10.1016/s0032-9592\(97\)00002-2](https://doi.org/10.1016/s0032-9592(97)00002-2)
- Ahmad, M., Gani, A., Shah, A., Gani, A., & Masoodi, F. A. (2016). Germination and microwave processing of barley (*Hordeum vulgare* L) changes the structural and physicochemical properties of β -d-glucan end enhances its antioxidant potential. *Carbohydrate Polymers*, 153, 696-702. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.07.022>
- Alvarez-Jubete, L., Wijngaard, H., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2010). Polyphenol composition and in vitro antioxidant activity of amaranth, quinoa buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking. *Food Chemistry*, 119(2), 770-778. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.07.032>
- Åman, P., Graham, H., & Tilly, A.-C. (1989). Content and solubility of mixed-linked (1-3), (1-4)- β -d-glucan in barley and oats during kernel development and storage. *Journal of Cereal Science*, 10(1), 45-50. [https://doi.org/10.1016/s0733-5210\(89\)80033-5](https://doi.org/10.1016/s0733-5210(89)80033-5)
- Aparicio-García, N., Martínez-Villaluenga, C., Frias, J., & Peñas, E. (2021). Sprouted oat as a potential gluten-free ingredient with enhanced nutritional and bioactive properties. *Food Chemistry*, 338, 127972. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127972>
- Archana, Sehgal, S., & Kawatra, A. (2001). In vitro protein and starch digestibility of pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) as affect-

- ed by processing techniques. *Nahrung/Food*, 45(1), 25-27. [https://doi.org/10.1002/1521-3803\(20010101\)45:1<25::aid-food25>3.0.co;2-w](https://doi.org/10.1002/1521-3803(20010101)45:1<25::aid-food25>3.0.co;2-w)
- Autio, K., Simoinen, T., Suortti, T., Salmenkallio-Marttila, M., Lassila, K., & Wilhelmsson, A. (2001). Structural and Enzymic Changes in Germinated Barley and Rye. *Journal of the Institute of Brewing*, 107(1), 19-25. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2001.tb00075.x>
- Azeke, M. A., Egielewa, S. J., Eigbogbo, M. U., & Ihimire, I. G. (2011). Effect of germination on the phytase activity, phytate and total phosphorus contents of rice (*Oryza sativa*), maize (*Zea mays*), millet (*Panicum miliaceum*), sorghum (*Sorghum bicolor*) and wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of Food Science and Technology*, 48(6), 724-729. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0186-y>
- Badau, M. H., Nkama, I., & Jideani, I. A. (2005). Phytic acid content and hydrochloric acid extractability of minerals in pearl millet as affected by germination time and cultivar. *Food Chemistry*, 92(3), 425-435. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.08.006>
- Bamforth, C. W., & Kanauchi, M. (2001). A Simple Model for the Cell Wall of the Starchy Endosperm in Barley. *Journal of the Institute of Brewing*, 107(4), 235-240. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2001.tb00095.x>
- Bamforth, C. W., & Martin, H. L. (1983). The degradation of β -glucan during malting and mashing: the role of β -glucanase. *Journal of the Institute of Brewing*, 89(4), 303-307. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1983.tb04190.x>
- Bartnik, M., & Szafrńska, I. (1987). Changes in phytate content and phytase activity during the germination of some cereals. *Journal of Cereal Science*, 5(1), 23-28. [https://doi.org/10.1016/s0733-5210\(87\)80005-x](https://doi.org/10.1016/s0733-5210(87)80005-x)
- Bast, A., & Haenen, G. R. M. M. (2013). Ten misconceptions about antioxidants. *Trends in Pharmacological Sciences*, 34(8), 430-436. <https://doi.org/10.1016/j.tips.2013.05.010>
- Benincasa, P., Falcinelli, B., Lutts, S., Stagnari, F., & Galieni, A. (2019). Sprouted Grains: A Comprehensive Review. *Nutrients*, 11(2), 421. <https://doi.org/10.3390/nu11020421>
- Bouis, H. E., Hotz, C., McClafferty, B., Meenakshi, J. V., & Pfeiffer, W. H. (2011). Biofortification: A New Tool to Reduce Micronutrient Malnutrition. *Food and Nutrition Bulletin*, 32(1), 31-40. <https://doi.org/10.1177/15648265110321s105>
- Burton, R. A., & Fincher, G. B. (2014). Evolution and development of cell walls in cereal grains. *Frontiers in Plant Science*, 5, 456. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00456>
- Buttimer, E. T., & Briggs, D. E. (2000). Mechanisms of the Release of Bound β -Amylase. *Journal of the Institute of Brewing*, 106(2), 83-94. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2000.tb00043.x>
- Corder, A. M., & Henry, R. J. (1989). Carbohydrate-degrading enzymes in germinating wheat. *Cereal Chemistry*, 66, 435-439.
- Chung, T. Y., Nwokolo, E. N., & Sim, J. S. (1989). Compositional and digestibility changes in sprouted barley and canola seeds. *Plant Foods for Human Nutrition*, 39(3), 267-278. <https://doi.org/10.1007/bf01091937>
- De Backer, E., Gebruers, K., Van den Ende, W., Courtin, C. M., & Delcour, J. A. (2010). Post-translational processing of β -d-xylanases and changes in extractability of arabinoxylans during wheat germination. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48(2-3), 90-97. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2009.10.008>
- Donkor, O. N., Stojanovska, L., Ginn, P., Ashton, J., & Vasiljevic, T. (2012). Germinated grains – Sources of bioactive compounds. *Food Chemistry*, 135(3), 950-959. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.05.058>
- Duke, S. H., Vinje, M. A., & Henson, C. A. (2013). Tracking Amylolytic Enzyme Activities During Congress Mashing with North American Barley Cultivars: Comparisons of Patterns of Activity and beta-Amylases with Differing Bmy1 Intron III Alleles and Correlations of Amylolytic Enzyme Activities. *Cerevisia*, 38(2), 51-52. <https://doi.org/10.1016/j.cervis.2013.09.003>
- Centeno, C., Viveros, A., Brenes, A., Canales, R., Lozano, A., & De la Cuadra, C. (2001). Effect of Several Germination Conditions on Total P, Phytate P, Phytase, and Acid Phosphatase Activities and Inositol Phosphate Esters in Rye and Barley. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(7), 3208-3215. <https://doi.org/10.1021/jf010023c>
- Chung, H.-J., Jang, S.-H., Cho, H. Y., & Lim, S.-T. (2009). Effects of steeping and anaerobic treatment on GABA (γ -aminobutyric acid) content in germinated waxy hull-less barley. *LWT - Food Science and Technology*, 42(10), 1712-1716. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.04.007>
- EFSA (2015). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for vitamin E as α -tocopherol. *EFSA Journal*, 13(7), 4149-4220. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4149>
- Ellis, R. P., Swanston, J. S., Rubio, A., Perez-Vendrell, A. M., Romagosa, I., & Molina-Cano, J. L. (1997). The Development of β -Glucanase and Degradation of β -Glucan in Barley Grown in Scotland and Spain. *Journal of Cereal Science*, 26(1), 75-82. <https://doi.org/10.1006/jcrs.1996.0105>
- Faltermaier, A., Zarnkow, M., Becker, T., Gastl, M., & Arendt, E. K. (2015). Common wheat (*Triticum aes-*

- tivum L.*): Evaluating microstructural changes during the malting process by using confocal laser scanning microscopy and scanning electron microscopy. *European Food Research and Technology*, 241(2), 239-252. <https://doi.org/10.1007/s00217-015-2450-x>
- Fardet, A., Rock, E., & Rémésy, C. (2008). Is the in vitro antioxidant potential of whole-grain cereals and cereal products well reflected in vivo? *Journal of Cereal Science*, 48(2), 258-276. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.01.002>
- Feng, H., Nemzer, B., & Devries, J. (2019). *Sprouted grains: nutritional value, production, and applications*. Woodhead Publishing and AACC International Press. <https://doi.org/10.1016/C2016-0-01536-X>
- Fredlund, K., Bergman, E.-L., Rossander-Hulthén, L., Isaksson, M., Almgren, A., & Sandberg, A.-S. (2003). Hydrothermal treatment and malting of barley improved zinc absorption but not calcium absorption in humans. *European Journal of Clinical Nutrition*, 57(12), 1507-1513. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1601718>
- Gujka, E., & Kunciewicz, A. (2005). Determination of folate in some cereals and commercial cereal-grain products consumed in Poland using trienzyme extraction and high-performance liquid chromatography methods. *European Food Research and Technology*, 221(1-2), 208-213. <https://doi.org/10.1007/s00217-004-1122-z>
- Ha, K.-S., Jo, S.-H., Mannam, V., Kwon, Y.-I., & Apostolidis, E. (2016). Stimulation of Phenolics, Antioxidant and α -Glucosidase Inhibitory Activities During Barley (*Hordeum vulgare* L.) Seed Germination. *Plant Foods for Human Nutrition*, 71(2), 211-217. <https://doi.org/10.1007/s11130-016-0549-2>
- Haraldsson, A.-K., Rimsten, L., Alminger, M. L., Andersson, R., Andlid, T., Åman, P., & Sandberg, A. S. (2004). Phytate content is reduced and β -glucanase activity suppressed in malted barley steeped with lactic acid at high temperature. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84(7), 653-662. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1724>
- Hefni, M., & Witthöft, C. M. (2012). Effect of germination and subsequent oven-drying on folate content in different wheat and rye cultivars. *Journal of Cereal Science*, 56(2), 374-378. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.03.009>
- Hemalatha, S., Platel, K., & Srinivasan, K. (2007). Influence of germination and fermentation on bioaccessibility of zinc and iron from food grains. *European Journal of Clinical Nutrition*, 61(3), 342-348. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602524>
- Henry, R. J. (1987). Pentosan and (1-3),(1-4)- β -Glucan concentrations in endosperm and wholegrain of wheat, barley, oats and rye. *Journal of Cereal Science*, 6(3), 253-258. [https://doi.org/10.1016/s0733-5210\(87\)80062-0](https://doi.org/10.1016/s0733-5210(87)80062-0)
- Hrmova, M., Banik, M., Harvey, A. J., Garrett, T. P., Varghese, J. N., Høj, P. B., & Fincher, G. B. (1997). Polysaccharide hydrolases in germinated barley and their role in the depolymerization of plant and fungal cell walls. *International Journal of Biological Macromolecules*, 21(1-2), 67-72. [https://doi.org/10.1016/s0141-8130\(97\)00043-3](https://doi.org/10.1016/s0141-8130(97)00043-3)
- Hucker, B., Wakeling, L., & Vriesekoop, F. (2012). Investigations into the thiamine and riboflavin content of malt and the effects of malting and roasting on their final content. *Journal of Cereal Science*, 56(2), 300-306. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.03.008>
- Hung, P.V., Maeda, T., Yamamoto, S., & Morita, N. (2011). Effects of germination on nutritional composition of waxy wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92, 667-672. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4628>
- Hübner, F., O'Neil, T., Cashman, K. D., & Arendt, E. K. (2010). The influence of germination conditions on beta-glucan, dietary fibre and phytate during the germination of oats and barley. *European Food Research and Technology*, 231(1), 27-35. <https://doi.org/10.1007/s00217-010-1247-1>
- Inyang, C. U., & Zakari, U. M. (2008). Effect of Germination and Fermentation of Pearl Millet on Proximate, Chemical and Sensory Properties of Instant «Fura» - A Nigerian Cereal Food. *Pakistan Journal of Nutrition*, 7(1), 9-12. <https://doi.org/10.3923/pjn.2008.9.12>
- Iqbal, T. H., Lewis, K. O., & Cooper, B. T. (1994). Phytase activity in the human and rat small intestine. *Gut*, 35(9), 1233-1236. <https://doi.org/10.1136/gut.35.9.1233>
- Jabrin, S., Ravanel, S., Gambonnet, B., Douce, R., & Rébeillé, F. (2003). One-Carbon Metabolism in Plants. Regulation of Tetrahydrofolate Synthesis during Germination and Seedling Development. *Plant physiology*, 131(3), 1431-1439. <https://doi.org/10.1104/pp.016915>
- Jägerstad, M., Piironen, V., Walker, C., Ros, G., Carnovale, E., Holasova, M., & Nau, H. (2005). Increasing natural food folates through bioprocessing and biotechnology. *Trends in Food Science & Technology*, 16(6-7), 298-306. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.03.005>
- Kariluoto, S., Liukkonen, K.-H., Myllymäki, O., Vaheristo, L., Kaukovirta-Norja, A., & Piironen, V. (2006). Effect of Germination and Thermal Treatments on Folate in Rye. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(25), 9522-9528. <https://doi.org/10.1021/jf061734j>
- Katina, K., Liukkonen, K.-H., Kaukovirta-Norja, A., Adlercreutz, H., Heinonen, S.-M., Lampi, A. M.,

- Pihlavan, J.-M., & Poutanen, K. (2007a). Fermentation-induced changes in the nutritional value of native or germinated rye. *Journal of Cereal Science*, 46(3), 348-355. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.07.006>
- Katina, K., Laitila, A., Juvonen, R., Liukkonen, K.-H., Kariluoto, S., Piironen, V., Landberg, N., Aman, P., & Poutanen, K. (2007b). Bran fermentation as a means to enhance technological properties and bioactivity of rye. *Food Microbiology*, 24(2), 175-186. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2006.07.012>
- Kim, H. Y., Lee, S. H., Hwang, I. G., Woo, K. S., Kim, K. J., Lee, M. J., Kim, D. J., Kim, T. J., Lee, J., & Jeong, H. S. (2013). Antioxidant and antiproliferation activities of winter cereal crops before and after germination. *Food Science and Biotechnology*, 22(1), 181-186. <https://doi.org/10.1007/s10068-013-0025-9>
- Klose, C., & Arendt, E. K. (2012). Proteins in Oats; their Synthesis and Changes during Germination: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52(7), 629-639. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.504902>
- Klose, C., Schehl, B. D., & Arendt, E. K. (2009). Fundamental study on protein changes taking place during malting of oats. *Journal of Cereal Science*, 49(1), 83-91. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.07.014>
- Koehler, P., Hartmann, G., Wieser, H., & Rychlik, M. (2007). Changes of Folates, Dietary Fiber, and Proteins in Wheat As Affected by Germination. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(12), 4678-4683. <https://doi.org/10.1021/jf0633037>
- Konietzny, U., & Greiner, R. (2002). Molecular and catalytic properties of phytate-degrading enzymes (phytases). *International Journal of Food Science and Technology*, 37(7), 791-812. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2002.00617.x>
- Krahl, M., Zarnkow, M., Back, W., & Becker, T. (2010). Determination of the Influence of Malting Parameters on the Water-Extractable Arabinoxylan Content of Wheat (*Triticum Aestivum*), Rye (*Secale cereale*), and Spelt Wheat (*Triticum aestivum* spp. *spelta*). *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 68(1), 34-40. <https://doi.org/10.1094/asbcj-2009-1126-01>
- Kubicka, E., Grabska, J., Jędrychowski, L., & Czyż, B. (2000). Changes of specific activity of lipase and lipoxygenase during germination of wheat and barley. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 51, 301-304. <https://doi.org/10.1080/09637480050077194>
- Lampi, A.-M., Nurmi, T., & Piironen, V. (2010). Effects of the Environment and Genotype on Tocopherols and Tocotrienols in Wheat in the healthgrain Diversity Screen. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(17), 9306-9313. <https://doi.org/10.1021/jf100253u>
- Larsson, M., & Sandberg, A.-S. (1992). Phytate Reduction in Oats during Malting. *Journal of Food Science*, 57(4), 994-997. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1992.tb14340.x>
- Lebiedzińska, A., & Szefer, P. (2006). Vitamins B in grain and cereal-grain food, soy-products and seeds. *Food Chemistry*, 95(1), 116-122. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.12.024>
- Lemmens, E., De Brier, N., Spiers, K. M., Ryan, C., Garrevoet, J., Falkenberg, G., Goos, P., Smolders, E., & Delcour, J. A. (2018). The impact of steeping, germination and hydrothermal processing of wheat (*Triticum aestivum* L.) grains on phytate hydrolysis and the distribution, speciation and bio-accessibility of iron and zinc elements. *Food Chemistry*, 264, 367-376. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.125>
- Lemmens, E., Moroni, A. V., Pagand, J., Heirbaut, P., Ritala, A., Karlen, Y., Le, K.-A., Van der Broeck, H. C., Brouns, F. J. P. H., de Brier, N., & Delcour, J. A. (2019). Impact of Cereal Seed Sprouting on Its Nutritional and Technological Properties: A Critical Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18, 305-328. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12414>
- Lestienne, I., Icard-Vernière, C., Mouquet, C., Picq, C., & Trèche, S. (2005). Effects of soaking whole cereal and legume seeds on iron, zinc and phytate contents. *Food Chemistry*, 89(3), 421-425. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.03.040>
- Li, Y., Lu, J., Gu, G., Shi, Z., & Mao, Z. (2005). Studies on water-extractable arabinoxylans during malting and brewing. *Food Chemistry*, 93(1), 33-38. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.08.040>
- Lintschinger, J., Fuchs, N., Moser, H., Jäger, R., Hlebeina, T., Markolin, G., & Gössler, W. (1997). Uptake of various trace elements during germination of wheat, buckwheat and quinoa. *Plant Foods for Human Nutrition*, 50(3), 223-237. <https://doi.org/10.1007/bf02436059>
- Liukkonen, K.-H., Katina, K., Wilhelmsson, A., Myllymaki, O., Lampi, A.-M., Kariluoto, S., Piironen, V., Heinonen, S.-M., Nurmi, T., Adlercreutz, H., Peltoketo, A., Pihlavan, J.-M., Hietaniemi, V., & Poutanen, K. (2003). Process-induced changes on bioactive compounds in whole grain rye. *Proceedings of the Nutrition Society*, 62(1), 117-122. <https://doi.org/10.1079/pns2002218>
- Lu, J., Zhao, H., Chen, J., Fan, W., Dong, J., Kong, W., Sun J., Cao, Y., & Cai, G. (2007). Evolution of Phenolic Compounds and Antioxidant Activity during Malting. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(26), 10994-11001. <https://doi.org/10.1021/jf0722710>

- Luo, Y.-W., Xie, W.-H., Jin, X.-X., Wang, Q. & He, Y.-J. (2013). Effects of germination on iron, zinc, calcium, manganese, and copper availability from cereals and legumes. *CyTA - Journal of Food*, 12(1), 22-26. <https://doi.org/10.1080/19476337.2013.782071>
- Mäkinen, O. E., & Arendt, E. K. (2012). Oat malt as a baking ingredient – A comparative study of the impact of oat, barley and wheat malts on bread and dough properties. *Journal of Cereal Science*, 56(3), 747-753. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.08.009>
- Mäkinen, O. E., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2013). Germination of Oat and Quinoa and Evaluation of the Malts as Gluten Free Baking Ingredients. *Plant Foods for Human Nutrition*, 68(1), 90-95. <https://doi.org/10.1007/s11130-013-0335-3>
- Mandeep, S. Sibian, D. C. S., & Riar, C. C. (2016). Nutritional and functional quality analysis and amino acid score evaluation of germinated wheat (*Triticum aestivum*) grain. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 1(4), 16-22.
- Malleshi, N. G., & Klopfenstein, C. F. (1998). Nutrient composition, amino acid and vitamin contents of malted sorghum, pearl millet, finger millet and their rootlets. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 49(6), 415-422. <https://doi.org/10.3109/09637489809086420>
- Mardar, M., Zhygunov, D., & Znachek, R. (2016). QFD methodology to develop a new health-conducive grain product. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2, 42-48. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.65725>
- Marconi, O., Tomasi, I., Dionisio, L., Perretti, G., & Fantozzi, P. (2014). Effects of malting on molecular weight distribution and content of water-extractable β -glucans in barley. *Food Research International*, 64, 677-682. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.07.035>
- Martínez-Villaluenga, C., & Peñas Pozo, E. (2020). *Production, Properties and Applications of Sprouted Seeds*. MDPI, Switzerland. <https://doi.org/10.3390/books978-3-03943-317-9>
- Mbithi-Mwikya, S., Van Camp, J., Yiru, Y., & Huyghebaert, A. (2000). Nutrient and Antinutrient Changes in Finger Millet (*Eleusine coracana*) During Sprouting. *LWT - Food Science and Technology*, 33(1), 9-14. <https://doi.org/10.1006/fstl.1999.0605>
- Mridula, D., Sharma, M. & Gupta, R. K. (2015). Development of quick cooking multi-grain dalia utilizing sprouted grains. *Journal of Food Science and Technology*, (52), 5826-5833. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1634-x>
- Noda, T., Takigawa, S., Matsuuraendo, C., Saito, K., Takata, K., Tabiki, T., Wickramasinghe, H. A. M., & Yamauchi, H. (2004). The physicochemical properties of partially digested starch from sprouted wheat grain. *Carbohydrate Polymers*, 56(3), 271-277. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2003.10.015>
- Ohm, J.-B., Lee, C. W., & Cho, K. (2016). Germinated Wheat: Phytochemical Composition and Mixing Characteristics. *Cereal Chemistry Journal*, 93(6), 612-617. <https://doi.org/10.1094/cchem-01-16-0006-r>
- Osman, A. M., Coverdale, S. M., Cole, N., Hamilton, S. E., Jersey, J. & Inkerman, P. A. (2002). Characterisation and Assessment of the Role of Barley Malt Endoproteases During Malting and Mashing. *Journal of the Institute of Brewing*, 108(1), 62-67. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2002.tb00125.x>
- Ozturk, L., Yazici, M. A., Yucel, C., Torun, A., Cekic, C., Bagci, A., Ozkan, H., Braun, H.-J., Sayers, Z., & Cakmak, I. (2006). Concentration and localization of zinc during seed development and germination in wheat. *Physiologia Plantarum*, 128(1), 144-152. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2006.00737.x>
- Perera, A., Meda, V. & Tyler, R. T. (2010). Resistant starch: A review of analytical protocols for determining resistant starch and of factors affecting the resistant starch content of foods. *Food Research International*, 43(8), 1959-1974. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.06.003>
- Persson, H., Türk, M., Nyman, M., & Sandberg, A.-S. (1998). Binding of Cu^{2+} , Zn^{2+} , and Cd^{2+} to Inositol Tri-, Tetra-, Penta-, and Hexaphosphates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(8), 3194-3200. <https://doi.org/10.1021/jf971055w>
- Peterson, D. M. (1999). Lipase Activity and Lipid Metabolism During Oat Malting. *Cereal Chemistry Journal*, 76(1), 159-163. <https://doi.org/10.1094/cchem.1999.76.1.159>
- Peterson, D. M. (1998). Malting Oats: Effects on Chemical Composition of Hull-less and Hulled Genotypes. *Cereal Chemistry Journal*, 75(2), 230-234. <https://doi.org/10.1094/cchem.1998.75.2.230>
- Platel, K., Eipeson, S. W., & Srinivasan, K. (2010). Bioaccessible Mineral Content of Malted Finger Millet (*Eleusine coracana*), Wheat (*Triticum aestivum*), and Barley (*Hordeum vulgare*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(13), 8100-8103. <https://doi.org/10.1021/jf100846e>
- Plaza, L., de Ancos, B., & Cano, P. M. (2003). Nutritional and health-related compounds in sprouts and seeds of soybean (*Glycine max*), wheat (*Triticum aestivum*.L) and alfalfa (*Medicago sativa*) treated by a new drying method. *European Food Research and Technology*, 216(2), 138-144. <https://doi.org/10.1007/s00217-002-0640-9>
- Pompella, A., Sies, H., Wacker, R., Brouns, F., Grune, T., Biesalski, H. K., & Frank, J. (2014). The use of total antioxidant capacity as surrogate marker for food quality and its effect on health

- is to be discouraged. *Nutrition*, 30(7-8), 791-793. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2013.12.002>
- Poutanen, K., Flander, L., & Katina, K. (2009). Sourdough and cereal fermentation in a nutritional perspective. *Food Microbiology*, 26, 693-699. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2009.07.011>
- Quek, W. P., Yu, W., Tao, K., Fox, G. P., & Gilbert, R. G. (2019). Starch structure-property relations as a function of barley germination times. *International Journal of Biological Macromolecules*, 136, 1125-1132. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.149>
- Rimsten, L., Haraldsson, A.-K., Andersson, R., Alming, M., Sandberg, A.-S., & Åman, P. (2002). Effects of malting on β -glucanase and phytase activity in barley grain. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82(8), 904-912. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1135>
- Rudi, H., Uhlen, A. K., Harstad, O. M., & Munck, L. (2006). Genetic variability in cereal carbohydrate compositions and potentials for improving nutritional value. *Animal Feed Science and Technology*, 130(1-2), 55-65. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.01.017>
- Schlemmer, U., Frølich, W., Prieto, R. M., & Grases, F. (2009). Phytate in foods and significance for humans: Food sources, intake, processing, bioavailability, protective role and analysis. *Molecular Nutrition & Food Research*, 53, 330-375. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200900099>
- Schwalb, T., Wieser, H., & Koehler, P. (2012). Studies on the gluten-specific peptidase activity of germinated grains from different cereal species and cultivars. *European Food Research and Technology*, 235(6), 1161-1170. <https://doi.org/10.1007/s00217-012-1853-1>
- Sibian, M. S., Saxena, D. C., & Riar, C. S. (2017). Effect of germination on chemical, functional and nutritional characteristics of wheat, brown rice and triticale: a comparative study. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(13), 4643-4651. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8336>
- Simahina, G., Bazhay-Zhezherun, S., Mykoliv, T., Bereza-Kindzerska, L.V., & Antoniuk, M. M. (2016). The use of the biologically activated grain is in technology of health products. *Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal)*, 9(4), 147-153.
- Skoglund, M., Peterson, D. M., Andersson, R., Nilsson, J., & Dimberg, L. H. (2008). Avenanthramide content and related enzyme activities in oats as affected by steeping and germination. *Journal of Cereal Science*, 48(2), 294-303. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.09.010>
- Sung, H. G., Shin, H. T., Ha, J. K., Lai, H.-L., Cheng, K. J., & Lee, J. H. (2005). Effect of germination temperature on characteristics of phytase production from barley. *Bioresource Technology*, 96(11), 1297-1303. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.10.010>
- Sungurtas, J., Swanston, J. ., Davies, H., & McDougall, G. (2004). Xylan-degrading enzymes and arabinoxylan solubilisation in barley cultivars of differing malting quality. *Journal of Cereal Science*, 39(2), 273-281. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2003.11.001>
- Świeca, M., & Dziki, D. (2015). Improvement in sprouted wheat flour functionality: effect of time, temperature and elicitation. *International Journal of Food Science & Technology*, 50(9), 2135-2142. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12881>
- Teixeira, C., Nyman, M., Andersson, R., & Alming, M. (2016). Effects of variety and steeping conditions on some barley components associated with colonic health. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(14), 4821-4827. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7923>
- Tian, B., Xie, B., Shi, J., Wu, J., Cai, Y., Xu, T., Xue, S., & Deng, Q. (2010). Physicochemical changes of oat seeds during germination. *Food Chemistry*, 119(3), 1195-1200. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.08.035>
- Wang, J., Zhang, G., Chen, J., & Wu, F. (2004). The changes of β -glucan content and β -glucanase activity in barley before and after malting and their relationships to malt qualities. *Food Chemistry*, 86(2), 223-228. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.08.020>
- Wilhelmson, A., Oksman-Caldentey, K.-M., Laitila, A., Suortti, T., Kaukovirta-Norja, A., & Poutanen, K. (2001). Development of a Germination Process for Producing High β -Glucan, Whole Grain Food Ingredients from Oat. *Cereal Chemistry Journal*, 78(6), 715-720. <https://doi.org/10.1094/cchem.2001.78.6.715>
- Woodward, J., Fincher, G., & Stone, B. (1983). Water-soluble (1-3), (1-4)- β -D-glucans from barley (*Hordeum vulgare*) endosperm. II. Fine structure. *Carbohydrate Polymers*, 3(3), 207-225. [https://doi.org/10.1016/0144-8617\(83\)90019-x](https://doi.org/10.1016/0144-8617(83)90019-x)
- Xie, L., Jin, Y., Du, J., & Zhang, K. (2014). Water-soluble protein molecular weight distribution and effects on wheat malt quality during malting. *Journal of the Institute of Brewing and Distilling*, 120(4), 399-403. <https://doi.org/10.1002/jib.182>
- Xu, J. G., Tian, C. R., Hu, Q. P., Luo, J. Y., Wang, X. D., & Tian, X. D. (2009). Dynamic Changes in Phenolic Compounds and Antioxidant Activity in Oats (*Avena nuda* L.) during Steeping and Germination. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(21), 10392-10398. <https://doi.org/10.1021/jf902778j>
- Yang, T. K., Basu, B., & Ooraikul, F. (2001). Studies on germination conditions and antioxidant con-

- tents of wheat grain. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 52(4), 319-330. <https://doi.org/10.1080/09637480120057567>
- Zenkova, M. L., & Babich, D. A. (2018). Wheat grain preparing for production of conserved food "Second course for lunch". *Food Processing: Techniques and Technology*, 48(2), 46-53. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-2-46-53>
- Žilić, S., Basić, Z., Hadži-Tašković Šukalović, V., Maksimović, V., Janković, M., & Filipović, M. (2014). Can the sprouting process applied to wheat improve the contents of vitamins and phenolic compounds and antioxidant capacity of the flour? *International Journal of Food Science & Technology*, 49(4), 1040-1047. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12397>