

Влияние гидротермической обработки на выход и качество пшенично-тритикалево-льняной муки

Кандров Роман Хажсетович¹, Панкратов Георгий Несторович²

¹ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

²Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН

Корреспонденция, касающаяся этой статьи, должна быть адресована Кандрову Р.Х., ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», адрес: 125080, город Москва, Волоколамское шоссе, дом 11. E-mail: nart132007@mail.ru

Представлены результаты исследования влияния гидротермической обработки (ГТО) пшенично-тритикалево-льняной зерновой помольной смеси на выход и качество хлебопекарной муки. Выявлены оптимальные параметры гидротермической обработки холодным кондиционированием исходной пшенично-тритикалевой зерновой смеси перед помолом с семенами льна. Проведено шесть помолов пшенично-тритикалево-льняной зерновой смеси при различных параметрах влажности и времени отволаживания и седьмой помол контрольной пшенично-тритикалевой зерновой смеси. Помолы исходных зерновых смесей проводили на лабораторной мельнице МЛУ-202 швейцарской фирмы «Бюлер», которая состоит из трех драных и трех размолочных систем. Установлено, что оптимальным режимом подготовки исходной зерновой пшенично-тритикалевой смеси к помолу является увлажнение ее до технологической влажности 15,5–16,0%, отволаживание в течение 24 ч (помол №7). При этом добавление семян льна в исходную пшенично-тритикалевую зерновую смесь, прошедшую ГТО, производится перед первой драной системой. Установлено, что измельчение семян льна в межвальцовом зазоре происходит начиная со второй драной системы. Выявлено, что добавление 7% льна в исходную пшенично-тритикалевую зерновую смесь приводит к снижению выхода пшенично-тритикалево-льняной муки от 3,5% до 6,8% в зависимости от параметров гидротермической обработки. Установлено, что при переработке исходной зерновой смеси с применением оптимальных режимов ГТО выход пшенично-тритикалево-льняной муки, обогащенной незаменимыми полиненасыщенными жирными кислотами, составил 69,3% с белизной муки 59 единиц прибора РЗ-БПЛ-Ц, что соответствует муке высшего сорта. Хлеб из пшенично-тритикалево-льняной муки по сравнению с контрольным образцом из пшенично-тритикалевой муки отличался незначительно. Оба образца хлеба имеют правильную форму, выпуклую корку, золотисто-коричневый цвет корки. Мякиш хлеба, полученный как из контрольной пшенично-тритикалевой муки, так и из пшенично-тритикалево-льняной муки, эластичный, пористость равномерная, тонкостенная. Установлено, что по своим органолептическим показателям хлеб, полученный из пшенично-тритикалево-льняной муки, обогащенной полиненасыщенными жирными кислотами, не уступает хлебу из контрольной пшенично-тритикалевой муки, а по вкусовым показателям превосходит.

Ключевые слова: пшеница, тритикале, лен, гидротермическая обработка, пшенично-тритикалево-льняная мука, качество

Введение

Химический состав продуктов питания из растительного сырья на зерновой основе, полученных на основе традиционных технологий, характеризуются недостаточной сбалансированностью по био-

логической ценности и биологической эффективности. В последние годы возникла потребность обогащения продуктов питания незаменимыми жирными кислотами, особенно линоленовой кислотой (ω -3) и линоленовой кислотой (ω -6), дефицит которых приводит к серьезным нарушениям в жиз-

недеятельности человеческого организма. В связи с этим, требуется разработка способов улучшения пищевой и питательной ценности продуктов питания из различных видов зерна с добавлением семян масличных культур (лен). Семена льна характеризуются высоким содержанием белка от 18,7 до 28% с хорошо сбалансированным аминокислотным составом, высоким содержанием жира от 35,3 до 52,4% с содержанием полиненасыщенных жирных кислот (семейства ω -3, ω -6) от 75 до 99%. Кроме того, к наиболее востребованным сырьевым ресурсам на рынке ингредиентов для производства функциональных продуктов питания являются продукты глубокой переработки из зернового сырья.

Целью исследований является определение оптимальных параметров гидротермической обработки пшенично-тритикалевой зерновой помольной смеси для производства композитной пшенично-тритикалево-льняной муки, обогащенной незаменимыми жирными кислотами, повышенной пищевой и питательной ценности.

Литературный обзор

Семена льна встречаются в виде двух основных цветов: коричневого или желтого. Большинство типов этих основных сортов имеют сходные питательные характеристики и равное количество жирных кислот ω -3 с короткой цепью. Исключением является тип желтого льна, называемый солином (торговое наименование «Линола»), который имеет совершенно другой профиль масла и содержит очень мало омега-3, особенно альфа-линоленовой кислоты (Dribnenkil & Green, 1995).

Льняные семена являются источником производства растительного масла, известного как льняное масло и которое является одним из старейших коммерческих масел. Это пищевое масло, полученное прессованием, а иногда и экстракцией растворителем. Обработанное растворителем льняное масло использовалось в течение многих веков в качестве олифы для окраски и лакирования¹. Сорта коричневого льна начали употреблять значительно раньше желтого льна и использовались в течение тысячелетий, его наиболее известные применения – краски, волокна и корм для скота.

В 100-граммовой порции льняное семя содержит высокий уровень ($> 19\%$ от суточной нормы) белка,

пищевых волокон, нескольких витаминов группы В и пищевых минералов². Десять грамм льняного семени содержат 1 г водорастворимых волокон (что снижает уровень холестерина в крови) и 3 г нерастворимых волокон (что помогает предотвратить запор). Лен содержит в сотни раз больше лигнанов, чем другие растительные продукты. Семена льна особенно богаты тиамином, магнием, калием и фосфором.

В процентном отношении к общему количеству жира льняные семена содержат 54% ω -3 жирных кислот, 18% ω -9 жирных кислот (олеиновая кислота) и 6% ω -6 жирных кислот (линолевая кислота); семена содержат 9% насыщенных жиров, в том числе 5% пальмитиновой кислоты. Льняное масло содержит 53% ω -3 жирных кислот и 13% ω -6 жирных кислот³.

Американская Академия питания и диетологии считают, что диетические жиры для здорового взрослого населения должны обеспечивать от 20 до 35% энергии, с повышенным потреблением N3 полиненасыщенных жирных кислот и ограниченным потреблением насыщенных и трансжииров (Vannice & Rasmussen, 2015). Академия рекомендует подход, основанный на питании через диету, которая включает регулярное потребление жирной рыбы, орехов и семян, нежирного мяса и птицы, низкожирных молочных продуктов, овощей, фруктов, цельного зерна и бобовых. Эти рекомендации сделаны в контексте быстро развивающейся науки, определяющей влияние диетических жиров и специфических жирных кислот на здоровье человека. В дополнение к жиру какенному и калорийно плотному макронутриенту, играющему центральную роль в обеспечении необходимого питания и поддержании здоровой массы тела, данные об отдельных жирных кислотах и группах жирных кислот становятся ключевым фактором в питании и здоровье. Небольшие изменения в структуре жирных кислот в рамках более широких категорий жирных кислот, таких как полиненасыщенные и насыщенные, по-видимому, вызывают различные физиологические функции (Vannice & Rasmussen, 2015).

Общее потребление жиров от 20 до 35% энергии рекомендуется Институтом медицины и Продовольственной и сельскохозяйственной организацией Объединенных Наций (ФАО) и поддерживается диетическими рекомендациями

¹ Pigments through the Ages – Renaissance and Baroque (1400-1600). <http://www.webexhibits.org/pigments/intro/renaissance.html>

² «Nutrition facts for 100 g of flaxseeds». Conde Nast for USDA National Nutrient Database, version SR-21. 201

³ «Full Report (All Nutrients): 12220, Seeds, flaxseed per 100 g». USDA National Nutrient Database version SR-27. 2015

2010 года для американцев (DGA). Американская ассоциация сердца (АНА) и Национальная образовательная программа холестерина рекомендуют от 25 до 35% ежедневных калорий из жиров.

Достижение потребления всего жира в пределах рекомендуемого диапазона (от 20 до 35%) является важной целью, но качество жира в рационе не менее важно. Изменение потребления жиров, например, баланса ненасыщенных и насыщенных жиров вместо уменьшения общего количества жира может быть более выгодным для здоровья и снижения риска хронических заболеваний. Влияние конкретных жирных кислот на заболеваемость трудно объяснить, поскольку хроническое заболевание развивается в течение многих лет и является кульминацией многих генетических и жизненных факторов.

Теоретическое обоснование

Производство семян льна в мире в 2016 году составило 2925282 т. Сегодня Российская Федерация является мировым лидером по производству льна, которое составило 672691 т⁴. С 1994 года по 2015 году мировым лидером по производству и экспорту льняя являлась Канада. В 2014/15 году Канада произвела около 875 000 т семян льна и экспортировала из них около 80% по данным Статистического управления Канады. В 2015/16 году производство канадского льна составило 940 000 т. Основная канадская культура, лен путешествует сегодня в порты наряду с пшеницей, ячменем, овсом и рапсом. Канадский лен экспортируется в основном в Китай, США и Европу. В 2014/15 гг. Канада поставляла 50% своего экспорта льна в Китай, 23% в ЕС и 21% в Соединенные Штаты Америки.

В Турции были проведены исследования по получению пшеничных отрубей, обогащенных льняной мукой. Было изучено влияние содержания льняного семени (10–20%), температуры обжаривания (160–180°C) и времени обжаривания (40–60°C) на некоторые физико-химические, текстурные и сенсорные свойства и жирнокислотный состав пшеничных стружек. Для определения оптимальных уровней обработки переменных был проведен математический анализ. Построены прогностические регрессионные уравнения с адекватными коэффициентами детерминации для объяснения влияния обрабатываемых переменных. Добавление льняной муки увеличило содержание сухого вещества и белка в образцах, а повышение температуры об-

жаривания снизило значения твердости образцов пшеничной стружки. Увеличение уровня льняной муки обеспечило увеличение содержания ненасыщенных жирных кислот, а именно омега-3 жирных кислот образцов пшеничной стружки. Общая приемлемость чипсов повышается с увеличением температуры обжарки. Анализ показал, что максимальный вкусовой балл будет при добавлении льняного семени в количестве 10%, температурой обжарки 180°C и время обжарки 50 с.

Всемирная организация здравоохранения определила высокое кровяное давление как глобальный общественный кризис, поскольку оно является ведущим фактором риска, связанным со смертью во всем мире. Около 40% людей имеют артериальную гипертензию, и значительная часть людей не диагностирована, не лечится или имеет неконтролируемое высокое кровяное давление. Поэтому важно определить эффективные и желательные стратегии лечения для снижения распространенности и частоты гипертонической болезни в глобальном масштабе.

Потенциальная терапевтическая стратегия для высокого кровяного давления может быть через диетическое вмешательство. В последнее время у пациентов с заболеваниями периферических артерий (PAD; 75% с артериальной гипертензией), которые потребляли 30 г измельченного льняного семени ежедневно в течение 6 месяцев, наблюдалось значительное снижение систолического (-10 мм рт.ст.) и диастолического (-7 мм рт. ст.) артериального давления (The FlaxPAD Trial). Льняное семя содержит ω-3 жирную кислоту-линоленовую кислоту (ALA), лигнаны и клетчатку. У участников, потреблявших льняное семя, наблюдалось значительное повышение содержания АЛК и энтеролигнанов в плазме крови, которые были обратно связаны с артериальным давлением. Однако биологический механизм действия, ответственный за снижение артериального давления, был неясен.

Исследованы изменения химического состава и антиоксидантной активности оболочки семян льна в процессе созревания (Al Hjaili, Sakouhi, Sebei, Trabelsi, Kallel, Boukhchina, 2015). Сорт льна p129 изучали на четырех стадиях созревания. В процессе разработки наблюдалось значительное изменение непосредственного состава корпуса. Основными метиловыми эфирами были линоленовая кислота, олеиновая кислота и линолевая кислота. Установлено, что на первой стадии зрелости наиболее высокие уровни полиненасыщенных жирных

⁴ UN Food and Agriculture Organization, Statistics Division (FAOSTAT). 2017

кислот составляют 67,14%. Льняное масло было хорошего качества с большим содержанием незаменимых жирных кислот омега-3. Значение йода увеличилось, в то время как значение омыления масла уменьшилось во время развития семян. Снижение содержания аскорбиновой кислоты было устойчивым. Максимальный уровень общего содержания фенольной кислоты был достигнут при 7 DAF.

Разделение льняного семени на корпусную и семядольную фракции было предметом нескольких исследований. Когда содержание влаги в семенах было доведено до 20 г на кг перед измельчением, выход семядолей составил 718 г на кг с увеличением на 20 и 28 г на кг белка и масла соответственно. В то же время, если исходить из полноожирной основы, то кожура составляла 41,4% от общего количества семян без масла и влаги; по существу, она составляла 60% от общего количества льняного шрота. Он имел значение азота приблизительно на одну треть больше, чем фракция семядолей, которая содержала 96,7% от общего количества азота. Оболочка, включая семенную оболочку и эндосперм, составляет 36% от общего веса рассеченного вручную льняного семени или 22% от массы семени, полученного механическим путем. Оболочка льняного семени трудно переваривается и поэтому затрудняет доступ к липидам. Содержание масла в оболочках семян льна колеблется от 26 до 30% в зависимости от условий обработки, что составляет приблизительно 18% от общего количества масла семян. Масло из лузги, полученное сухим абразивным шелушением, содержало значительно более высокий уровень пальмитиновой кислоты и самый низкий уровень стеариновой и олеиновой кислот по сравнению с целым семенем. Корпус льняного семени обогащен СДГ по сравнению с семядолями. Были изучены фитохимический профиль и антиоксидантная активность при разработке новых продуктов на основе омега-3 жирной кислоты.

Представлены изменения физико-химических характеристик льняных масел в процессе вырастания льна. По мере развития зрелости наблюдалось снижение величины омыления. Значения омыления льняного масла варьируются от 198 мг КОН на 1 г масла до 178 мг КОН на 1 г масла. Во всех исследованных образцах содержание свободных жирных кислот было менее 3 на всех этапах развития льняного семени. Высокое содержание FFA вызывает проблемы в процессе переэтерификации. Во время развития льняной оболочки значение йода находили в диапазоне от 160 до 170 мг. На ранних стадиях развития льняного семени общее содержание фенольных кислот в масле лузги льняного семени было выше (128,3 мг галловой кислоты на

100 г масла), а затем снижалось по мере созревания до достижения урожайных значений (62,40 мг галловой кислоты на 100 г масла).

Российские ученые провели исследования по разработке инновационной технологии получения композиционной пшенично-льняной муки (Кандров, Панкратов, Витол, 2018), особенностей продуктов переработки двухкомпонентных смесей пшеницы и льна, новых функциональных продуктов из двухкомпонентной зерновой смеси пшеницы и льна, полученные с использованием биотехнологических методов (Панкратов, Мелешкина, Витол, Кандров, 2018, 2019), по установлению биологических и физико-химических основ использования льняной муки для разработки хлебобулочных изделий (Зубцов & Миневич, 2011), разработке технологии хлебопечения с использованием льняного жмыха (Бегеулов, Сычева, 2017), по установлению особенностей использования продуктов переработки семян льна при производстве хлебобулочных изделий (Конева, 2016), по использованию цельного семени льна в производстве инновационного продукта с заданными свойствами и его товароведной характеристики (Кулемшова, Позняковский, 2011), по выявлению функциональной значимости семян льна и практики их использования в пищевых технологиях (Миневич, 2019), по установлению баланса полиненасыщенных жирных кислот в питании (Зайцева, Нечаев, 2014).

Гипотезой настоящих исследований является то обстоятельство, что гидротермическая обработка зерна выполняет одну важнейшую задачу — оптимизирует технологические свойства зерна перед измельчением независимо от режимных параметров процесса, последовательности операций и используемого оборудования. При этом в различных технологиях она может иметь разную, в некоторых случаях противоположную направленность. Так, в технологии муки влаготепловая обработка предварительно разрушает внутреннюю структуру зерна, а в технологии крупы, наоборот, укрепляет ее. Есть специфические методы гидротермической обработки, такие как вакуумное кондиционирование пшеницы, микронизация или нагрев инфракрасными лучами, и т.п. Главное отличие всех применяемых методов гидротермической обработки состоит в интенсивности теплового воздействия на обрабатываемое зерно. По этому признаку методы гидротермической обработки можно классифицировать следующим образом:

- мягкие методы, исключающие тепловое воздействие или обрабатывающие зерно теплой

водой с температурой не выше 30°C. К этим методам относят метод холодной гидротермической обработки (холодного кондиционирования) при подготовке зерна к помолу в технологии муки или при подготовке крупяных культур к переработке;

- методы гидротермической обработки со средней интенсивностью. К ним относится метод горячего кондиционирования при подготовке пшеницы к помолу, а также обработка крупяных культур горячей водой при температурах 45–50°C;
- интенсивные методы гидротермической обработки, предусматривающие пропаривание влажным насыщенным паром с последующим тепловым воздействием;
- жесткие методы гидротермической обработки, предусматривающие пропаривание паром с избыточным давлением с последующей сушкой при высоких (свыше 100°C) температурах. К ним также относят методы, предусматривающие контактный нагрев зерна, сочетание контактного и конвективного методов с высокими температурными параметрами.

К параметрам воздействия или режимным параметрам процесса гидротермической обработки относят: степень увлажнения, время отволаживания, кратность обработки одинаковыми средствами, например, увлажнением и отволаживанием, температурный режим воздействия.

Степень увлажнения $\Delta W, \%$ количественно определяется как разность между оптимальным значением влажности зерна для технологии $W_{opt}, \%$ и начальным значением влажности $w_{\eta}, \%$:

$$\Delta W = W_{opt} - w_{\eta}$$

Степень увлажнения зерна зависит от вида перерабатываемой культуры, типа технологии, качества зерна (типовой состав, стекловидность, начальная влажность и т. п.). Величина степени увлажнения колеблется в реальных условиях в пределах 3–7%.

Время отволаживания – необходимое время для преобразования свойств увлажненного зерна. Этот параметр зависит также от вида перерабатываемого зерна, его качества, типа технологии, а также от принятого способа гидротермической обработки. Кратность воздействия одноименными средствами зависит от реакции зерна на влаготепловую обработку и начальной влажности зерна. Например, при низкой начальной влажности зерна не удается достичь оптимальной технологической влажности за однократное увлажнение, или однократное воз-

действие не дает оптимальных преобразований свойств зерна.

К ним относят все методы, исключающие какой-либо тепловой нагрев зерна или обрабатывающие зерно теплой водой с невысокой температурой. Обработка теплой водой эффективна при соответствующих погодных условиях, например, в холодное время года. Холодные способы гидротермической обработки применяют при подготовке мягкой пшеницы и ржи к хлебопекарным сортовым и обойным помолам, при подготовке твердой и высокостекловидной мягкой пшеницы к макаронным помолам, а также при подготовке к переработке пшеницы в крупу. Сюда можно отнести также холодный способ гидротермической обработки кукурузы при подготовке к переработке в крупу шлифованную пятиномерную и кукурузы в крупу для хлопьев и палочек, когда температура воды не превышает 35–40°C

Сущность технологии гидротермической обработки холодным способом, используемой в муко-мольной промышленности, состоит в том, что зерно увлажняется водой комнатной температуры на заданную величину и отволаживается определенное время в соответствии с задачей технологии. По технологической схеме увлажнение может осуществляться при мойке зерна, при мокром шелушении или в аппарате для увлажнения любого принципа действия. При сортовых помолах пшеницы обязательной операцией является или мойка зерна, или мокре шелушение, так что первое увлажнение осуществляется в этом оборудовании. При размолах ржи мойку зерна исключают, чтобы избежать нежелательного переувлажнения. При сортовых помолах высокостекловидной мягкой пшеницы в хлебопекарную и макаронную муку, а также при помолах твердой пшеницы в макаронную муку и при низкой влажности зерна технология должна включать три этапа увлажнения и отволаживания два основных и один – перед первой измельчающей системой. При помолах низкостекловидного зерна пшеницы и влажности, увеличение которой до технологической возможно за один этап, второе основное увлажнение и отволаживание исключают из технологии.

Время отволаживания также изменяется в зависимости от вида, типового состава, стекловидности зерна и от типа технологии. Большее время отволаживания предусматривается для сортовых помолов пшеницы, так как в этих технологиях требуется более радикальное изменение структуры зерна. Увеличение стекловидности зерна в пределах типа также требует увеличения време-

Таблица 1

Параметры отволаживания зерна пшеницы в зависимости от стекловидности при сортовых помолах (часов)

Тип зерна	Стекловидность, %		
	менее 40	40-60	более 60
I	4-8	6-12	10-16
III	4-6	6-10	8-12
IV	6-10	10-16	16-24

ни отволаживания. Прослеживается также влияние типового состава на время отволаживания. Большее время отволаживания в пределах одной группы стекловидности предусматривается для пшеницы IV-го типа, меньшее – для пшеницы III-го типа. Сокращают время отволаживания при сортовых помолах ржи и обойных помолах пшеницы и ржи.

Особые рекомендации необходимо выполнять при выборе времени отволаживания при переработке твердой и высокостекловидной мягкой пшеницы в макаронную муку. В технологическом плане увеличение времени отволаживания приводит к более интенсивному разрыхлению эндосперма на более мелкие структуры. Поэтому при измельчении такого зерна получают относительно больше мелких частиц с размерами менее 0,4 мм (мелких крупок, дунстов, муки). Последнее нежелательно для макаронных технологий в связи с особенностью помола. Считается, что высокого выхода макаронной муки (крупки и полу-

крупки) можно достигнуть при получении более 50% крупных крупок с размерами 1,15–0,56 мм в начальном драном (крупообразующем процессе). Поэтому время отволаживания сокращают таким образом, чтобы избежать излишнего предварительного разрушения зерна в процессе гидротермической обработки. В таблице 1 приведено рекомендуемое время отволаживания для зерна пшеницы при сортовых помолах.

Исследование

Материалы и методы

Объектами исследования являлись пшенично-тритикалевая зерновая смесь в соотношении 60 : 40 и семена льна урожая 2017 года, выращенного в Республике Мордовия. Физические и физико-химические свойства исходной пшенично-тритикалевой зерновой смеси и исходных семян льна представлены в таблице 2. Химический состав пшенично-тритикалевой зерновой смеси и семян льна представлены в таблице 3.

Таблица 2

Физико-химические свойства пшенично-тритикалевой зерновой смеси и семян льна

Показатели качества	Пшенично-тритикалевая смесь	Семена льна
Влажность, %	12,2	5,1
Масса 1000 зерен, г	44,7	8,4
Стекловидность, %	52	-
Натура, г/л	769	667
Крупность и выравненность, %	89,0	91,8
Зольность, %	2,18	3,61
Геометрические размеры (ширина/длина/толщина), мм	3,6/6,5/2,9	2,5/5,1/1,2

Таблица 3

Химический состав пшенично-тритикалевой зерновой смеси и семян льна

Исходный продукт	Химический состав				
	Крахмал, %	Белок, %	Жир, %	Клетчатка, %	Вода, %
Пшенично-тритикалевая зерновая смесь	72,8	12,3	1,8	2,2	10,9
Семена льна	5,1	24,4	37,3	15,1	5,7

Общее содержание белка определяли по ГОСТ 10846-91; жира – по (ГОСТ 29033-91); клетчатки – по Кюшнеру и Ганеку; крахмала – по Эверсу (ГОСТ 31675-2012); растворимого белка – по методу Лоури.

Для анализа основных показателей пшенично-тритикалевой зерновой смеси и продуктов их переработки использованы следующие стандартные методы: влажность – по ГОСТ 13586.5-93; белизна муки – по ГОСТ 26361-84; зольность – по ГОСТ 10847-74; число падения – по ГОСТ 27676-88; массовая доля и качество сырой клейковины – по ГОСТ 27839-88; пробные лабораторные выпечки и оценка качества хлеба из пшеничной муки – по ГОСТ 27669-88.

Результаты и обсуждение

На первом этапе исследований определяли оптимальные режимы подготовки контрольной пшенично-тритикалевой зерновой смеси на лабораторной мельнице МЛУ-202 швейцарской фирмы «Бюлер», которая состоит из трех драных и трех размольных систем. Предыдущие исследования показали, что оптимальным количеством семян льна, которые необходимо добавить в зерновую смесь, является 7% (Кандроков, Панкратов, Витол, 2018). В качестве гидротермической обработки применяли способ холодного кондиционирования, как наиболее дешевый и распространенный. Семена льна в количестве 7% добавляли в исходную пшенично-тритикалевую зерновую смесь, прошедшую гидротермическую обработку, перед первой драной системой. Величины межвальцовового зазора на лабораторной мельнице при помоле пшенично-тритикалево-льняной зерновой смеси в сортовую хлебопекарную муку составили:

- на I драной системе – 0,5 мм;
- на II драной системе – 0,3 мм;

Таблица 4
Параметры гидротермической обработки исходной пшенично-тритикалевой смеси

№ помола	Расчетная влажность, %	Фактическая влажность, %	Время отволаживания, ч.
1	16,0	14,7	24
2	15,5	14,9	24
3	14,5	13,7	24
4	16,5	15,2	12
5	14,5	13,6	12
6	15,5	14,4	18
7	16,5	15,8	24

- на III драной системе – 0,1 мм;
- на 1 размольной системе – 0,07 мм;
- на 1 размольной системе – 0,05 мм;
- на 1 размольной системе – 0,03 мм.

Параметры холодного кондиционирования различных образцов пшенично-тритикалевой зерновой смеси после увлажнения и отволаживания перед помолом на лабораторной мельнице МЛУ-202 представлены в таблице 4. Расчетная влажность пшенично-тритикалевой зерновой смеси после увлажнения варьировала в диапазоне от 14,5 до 16,5%, а фактическая влажность составила 13,7–15,8%. Время отволаживания после кондиционирования составила 12, 18 и 24 ч.

Выход контрольной пшенично-тритикалевой и пшенично-тритикалево-льняной муки и отрубей, полученных по различным вариантам гидротермической обработки, представлены в таблице 5.

Из таблицы 5 видно, что общий выход пшенично-тритикалево-льняной муки составил от 66,0 до 69,3%. При этом добавление 7% семян льна в исходную пшенично-тритикалевую зерновую смесь приводит к снижению общего выхода муки от 3,5 до 6,8%.

Отрубей с драных систем больше всего (23,2%) получили при помоле №2, когда параметры ГТО составляли увлажнение до 15,5% и отволаживание 24 ч. С размольных систем отрубей больше всего (15,3%) получили при помоле №5, когда параметры ГТО составляли увлажнение до 14,5% и отволаживание 12 ч.

Показатели белизны полученных потоков пшенично-тритикалево-льняной муки по различным вариантам гидротермической обработки со всех технологических систем представлены в таблице 6.

Таблица 5

Баланс помолов пшенично-тритикалево-льняных зерновых смесей

Технологическая система	Выход пшенично-тритикалево-льняной муки и отрубей по системам, %						
	Помол №1	Помол №2	Помол №3	Помол №4	Помол №5	Помол №6	Помол №7
I драная система	10,0	8,4	11,9	8,3	8,3	9,5	8,1
II драная система	11,2	10,8	11,9	7,7	7,7	8,8	9,3
III драная система	2,2	3,6	3,3	4,3	4,0	3,8	3,5
Σ муки с драных систем	23,5	22,8	27,1	20,3	20,0	22,1	20,9
1 размольная система	41,9	35,6	35,4	31,4	30,7	32,1	34,4
2 размольная система	4,8	5,2	2,5	11,0	11,7	8,4	7,9
3 размольная система	2,7	2,4	2,9	5,0	6,0	3,8	6,1
Σ муки с размольных систем	49,3	43,2	40,8	47,4	48,4	44,3	48,4
Σ муки со всех систем	72,8	66,0	67,9	67,7	68,4	66,4	69,3
Отруби с драных систем	17,8	23,2	18,5	19,0	16,3	19,5	18,4
Отруби с размольных систем	9,4	10,8	13,6	13,3	15,3	14,1	12,3
Σ отрубей	27,2	34,0	32,1	32,3	31,6	33,6	30,7

Из таблицы 6 видно, что наилучшая мука с наибольшей белизной получается на I драной системе, вне зависимости от параметров гидротермической обработки зерновой смеси. Это обстоятельство объясняется тем, что семена льна отличаются от зерна пшеницы и тритикале по своим геометрическим характеристикам и при попадании в межвальцовое пространство I драной системы исходной пшенично-тритикалево-льняной смеси происходит измельчение только зерна пшеницы и тритикале. Семена льна начинают измельчаться, начиная со II драной системы.

На втором этапе исследований определяли хлебопекарные свойства методом пробной лабораторной выпечки контрольной пшенично-тритикалевой муки и различных образцов пшенично-тритикалево-льняной муки, полученных с применением различных параметров холодного кондиционирования.

Как видно из рисунков, хлеб из пшенично-тритикалево-льняной муки по сравнению с контрольным образцом из пшенично-тритикалевой муки, отличался незначительно. Оба изделия имеют правильную форму, выпуклую корку, золотисто-

Таблица 6

Белизна полученных потоков пшенично-тритикалево-льняной муки

Технологическая система	Белизна, ед. приб. РЗ-БПЛ-Ц						
	Помол №1	Помол №2	Помол №3	Помол №4	Помол №5	Помол №6	Помол №7
I драная система	74	73	69	69	67	66	69
II драная система	68	56	52	53	51	51	59
III драная система	57	37	31	31	30	29	35
1 размольная система	68	55	51	50	50	50	59
2 размольная система	51	36	29	36	35	33	46
3 размольная система	45	28	23	24	21	23	40

Рисунок 1

Внешний вид хлеба из муки, полученной из исходной контрольной пшенично-тритикалевой зерновой смеси



Рисунок 2

Внешний вид хлеба из муки, выпеченной из контрольной пшенично-тритикалевой зерновой смеси



коричневый цвет корки. Мякиш хлеба, полученной как из контрольной пшенично-тритикалевой муки, так и из пшенично-тритикалево-льняной муки, эластичный, пористость равномерная, тонкостенная. По объемному выходу хлеба, формоустойчивостью и пористостью хлеб из контрольной пшенично-тритикалевой муки незначительно превосходит хлеб из пшенично-тритикалево-льняной муки. Хруст, комкуемость при разжевывании и крошковатость отсутствовала у обоих образцов хлеба.

Выводы

По результатам проведенных исследований определены оптимальные параметры гидротермической обработки (увлажнение ее до технологической влажности 15,5–16,0%, отволаживание в течение 24 ч) пшенично-тритикалевой зерновой смеси перед измельчением с семенами льна.

Установлено, что измельчение семян льна в межвальцовом зазоре происходит, начиная со второй

драной системы. Выявлено, что добавление 7% льна в исходную пшенично-тритикалевую зерновую смесь приводит к снижению выхода пшенично-тритикалево-льняной муки от 3,5% до 6,8% в зависимости от параметров гидротермической обработки.

Выявлено, что при переработке исходной зерновой смеси с применением оптимальных режимов ГТО выход пшенично-тритикалево-льняной муки, обогащенной незаменимыми полиненасыщенными жирными кислотами, составил 69,3% с белизной 59 ед. приб. РЗ-БПЛ-Ц, что соответствует хлебопекарной муке высшего сорта.

Хлеб из пшенично-тритикалево-льняной муки, обогащенной незаменимыми жирными кислотами повышенной пищевой и питательной ценности, по сравнению с контрольным образцом из пшенично-тритикалевой муки отличался незначительно. Оба хлеба имеют правильную форму, выпуклую корку, золотисто-коричневый цвет корки. Мякиш хлеба, полученный как из контрольной пшенично-тритикалевой муки, так и из пшенич-

но-тритикалево-льняной муки, эластичный, пористость равномерная, тонкостенная.

Установлено, что по своим органолептическим показателям хлеб, полученный из пшенично-тритикалево-льняной муки, обогащенной полиненасыщенными жирными кислотами, не уступает хлебу из контрольной пшенично-тритикалевой муки, а по вкусовым показателям превосходит за счет слабого специфического льняного вкуса.

Литература

- Бегеулов, М. Ш., & Сычева, Е. О. (2017). Технология хлебопечения с использованием льняного жмыха. Известия ТСХА, (3), 110–126.
- Зайцева, Л. В., & Нечаев А. П. (2014). Баланс полиненасыщенных жирных кислот в питании. Пищевая промышленность, (11), 56–59.
- Зубцов, В. А., & Миневич, И. Э. (2011). Биологические и физико-химические основы использования льняной муки для разработки хлебобулочных изделий. Хранение и переработка сельхозсырья, (3), 10–13.
- Кандров, Р. Х., Панкратов, Г. Н., & Витол, И. С. (2018). Инновационная технология получения композиционной пшенично-льняной муки. Современная наука и инновация, 4(24), 127-133.
- Конева, С. И. (2016). Особенности использования продуктов переработки семян льна при производстве хлебобулочных изделий. Ползуновский вестник, (3), 35–37.
- Кулемова, Н. И., & Позняковский, В. М. (2011). Использование цельного семени льна в производстве инновационного продукта с заданными свойствами и его товароведная характеристика. Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов, (6), 57–60.
- Миневич, И. Э. (2019). Функциональная значимость семян льна и практика их использования в пищевых технологиях. *Health, Food & Biotechnology*, 1(2), 97-120. <https://doi.org/10.36107/hfb.2019.i2.s224>
- Панкратов, Г. Н., Мелешкина, Е. П., Витол, И. С., & Кандров, Р. Х. (2018). Особенности продуктов переработки двухкомпонентных смесей пшеницы и льна. Хлебопродукты, (12), 42-46.
- Мелешкина, Е. П., Панкратов, Г. Н., Витол, И. С., & Кандров, Р. Х. (2019). Новые функциональные продукты из двухкомпонентной зерновой смеси пшеницы и льна, полученные с использованием биотехнологических методов. Вестник российской сельскохозяйственной науки, (2), 54-58. <https://doi.org/10.30850/vrsn/2019/2/54-58>
- Al Hjaili, A. D., Sakouhi, F., Sebei, K., Trabelsi, H., Kallel, H., & Boukhchina, S. (2015). Influence of harvest year in the physicochemical properties and antioxidant activity of flaxseed hull oils from Tunisia. *Food Science and Technology*, 35, 175–182. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.6688>
- Campos, J. R., Severino, P., Ferreira, C.S., Zielinska, A., Santini, A., Souto, S. B., & Souto, E. B. (2019). Linseed essential oil – source of lipids as active ingredients for and nutraceuticals. *Current Medicinal Chemistry*, 26(24), 4537-455. <https://doi.org/10.2147/0929867325666181031105603>
- Cheng, C., Yu, X., McClements, D. J., Huang, Q., Tang, H., Yu, K., Xiang, X., Chen, P., Wang, X., & Deng, Q. (2019). Effect of flaxseed polyphenols on physical stability and oxidative stability of flaxseed oil-in-water nanoemulsions. *Food Chemistry*, 301, 125207. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125207>
- De Silva, S. F., & Alcorn, J. (2019). Flaxseed lignans as important dietary polyphenols for cancer prevention and treatment: chemistry, pharmacokinetics, and molecular targets. *Pharmaceuticals*, 12(2), 68. <https://doi.org/10.3390/ph12020068>
- Drożłowska, E., Łopusiewicz, Ł., Mężyńska, M., & Bartkowiak, A. (2020). Valorization of flaxseed oil cake residual from cold-press oil production as a material for preparation of spray-dried functional powders for food applications as emulsion stabilizers. *Biomolecules*, 10(1), 153. <https://doi.org/10.3390/biom10010153>
- Dzuvor, C. K. O., Taylor, J. T., Acquah, C., Pan, S., & Agyei, D. (2018). Bioprocessing of functional ingredients from flaxseed. *Molecules*, 23(10), 2444. <https://doi.org/10.3390/molecules23102444>
- Garros, L., Drouet, S., Corbin, C., Decourtin, C., Fidel, T., Lebas de Lacour, J., Leclerc, E. A., Renouard, S., Tungmannithum, D., Doussot, J., Abassi, B. H., Maunit, B., Lainé, É., Fliniaux, O., Mesnard, F., & Hano, C. (2018). Insight into the influence of cultivar type, cultivation year, and site on the lignans and related phenolic profiles, and the health-promoting antioxidant potential of flax (*Linum usitatissimum L.*) seeds. *Molecules*, 23(10), 2636. <https://doi.org/10.3390/molecules23102636>
- Dribbenkil, J. C. P., & Green, A. G. (1995). Linola '947' low linolenic acid flax. *Canadian Journal of Plant Science*, 75(1), 201–202. <https://doi.org/10.4141/cjps95-036>
- Li, X., Li, J., Dong, S., Li, Y., Wei, L., Zhao, C., Li, J., Liu, X., & Wang, Y. (2019). Effects of germination on tocopherol, secoisolarciresinol diglucoside, cyanogenic glycosides and antioxidant activities in flaxseed (*Linum usitatissimum L.*). *International Journal of Food Science & Technology*, (54), 2346–2354. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14098>

- Łopusiewicz, Ł., Drożłowska, E., Siedlecka, P., Mężyńska, M., Bartkowiak, A., Sienkiewicz, M., Zielińska-Bliźniewska, H., & Kwiatkowski, P. (2019). Development, characterization, and bioactivity of non-dairy kefir-like fermented beverage based on flaxseed oil cake. *Foods*, 8(11), 544. <https://doi.org/10.3390/foods8110544>
- Kaur, R., Kaur, M., & Singh Gill, B. (2017). Phenolic acid composition of flaxseed cultivars by ultra-performance liquid chromatography (UPLC) and their antioxidant activities: Effect of sand roasting and microwave heating. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41, e13181. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13181>
- Mannucci, A., Castagna, A., Santin, M., Serra, A., Mele, M., & Ranieri, A. (2019). Quality of flaxseed oil cake under different storage conditions. *LWT*, 104, 84–90. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.01.035>
- Mattioli, S., Ruggeri, S., Sebastiani, B., Breccchia, G., Dal Bosco, A., Cartoni Mancinelli, A., & Castellini, C. (2017). Performance and egg quality of laying hens fed flaxseed: highlights on n-3 fatty acids, cholesterol, lignans and isoflavones. *Animal*, 11(4), 705–712. <https://doi.org/10.1017/S175173111600207X>
- Meleshkina, E. P., Pankratov, G. N., Vitol, I. S., Kandrokov, R. H., & Tulyakov, D. G. (2017). Innovative trends in the development of advanced triticale grain processing technology. *Foods and Raw Materials*, 5, (2), 70–82. <https://doi.org/10.21179/2308-4057>
- Parikh, M., Maddaford, T. G., Austria, J. A., Aliani, M., Netticadan, T., & Pierce, G. N. (2019). Dietary flaxseed as a strategy for improving human health. *Nutrients*, 11(5), 1171. <https://doi.org/10.3390/nu11051171>
- Pilar, B., Güllich, A., Oliveira, P., Ströher, D., Piccoli, J., & Manfredini, V. J. (2017). Protective role of flaxseed oil and flaxseed lignan secoisolariciresinol diglucoside against oxidative stress in rats with metabolic syndrome. *Journal of Food Science*, 82(12), 3029–3036. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13964>
- Sanmartin, C., Taglieri, I., Venturi, F., Macaluso, M., Zinnai, A., Tavarini, S., Botto, A., Serra, A., Conte, G., Flaminii, G., & Angelini, L. G. (2020). Flaxseed cake as a tool for the improvement of nutraceutical and sensorial features of sourdough bread. *Foods*, 9(2), 204. <https://doi.org/10.3390/foods9020204>
- Tavarini, S., Castagna, A., Conte, G., Foschi, L., Sanmartin, C., Incrocci, L., Ranieri, A., Serra, A., & Angelini, L. G. (2019). Evaluation of chemical composition of two linseed varieties as sources of health-beneficial substances. *Molecules*, 24(20):3729. <https://doi.org/10.3390/molecules24203729>
- Vannice, G. K., & Rasmussen, H. C. (2015). Position of the academy of nutrition and dietetics: dietary fatty acids for healthy adults. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 114(1), 136–53. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2013.11.001>
- Wang, H., Wang, J., Qiu, C., Ye, Y., Guo, X., Chen, G., Li, T., Wang, Y., Fu, X., & Liu, R. H. (2017). Comparison of phytochemical profiles and health benefits in fiber and oil flaxseeds (*Linum usitatissimum L.*). *Food Chemistry*, 214, 227–233. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.075>

Effect of hydrothermal treatment on the exit and quality of wheat-tritikal-linen flour

Roman K. Kandrokov¹, Georgy N. Pankratov²

¹ FSBEI of HE "Moscow State University of Food Production"

² The All-Russian Research Institute of Grain and its Processing Products is a branch of the Federal State Budget Scientific Institution Federal Scientific Center for Food Systems named after V.M. Gorbatova "RAS"

Correspondence concerning this article should be addressed to Roman K. Kandrokov, Moscow State University of Food Production, 11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation. E-mail: nart132007@mail.ru

The results of the study are presented, the effect of hydrothermal treatment of wheat-triticale-flax grain grinding mixture on the yield and quality of baking flour. The optimal parameters of hydrothermal treatment by cold conditioning of the initial wheat-triticale grain mixture before grinding were revealed. Seven grindings of wheat-triticale-flax grain mixture were carried out with various parameters of moisture and time of milling. Grinding of the initial grain mixtures was carried out at the laboratory mill MLU-202 of the Swiss company Buhler, which consists of three torn and three grinding systems. It was established that the optimal mode of preparation of the initial grain wheat-triticale mixture for grinding is to moisten it to a process humidity of 15.5–16.0%, and cough for 24 hours (grinding №. 7). In this case, the addition of flax seeds to the initial wheat-triticale grain mixture, which passed the TRP, is carried out before the first torn system. It has been established that flax seeds are crushed in the inter-roll gap starting from the second torn system. It was revealed that the addition of 7% flax to the initial wheat-triticale grain mixture reduces the yield of wheat-triticale flax flour from 3.5% to 6.8%, depending on the parameters of the hydrothermal treatment. It was revealed that during the processing of the initial grain mixture using optimal TRP conditions, the yield of wheat-triticale-flax flour enriched with essential polyunsaturated fatty acids amounted to 69.3% with a whiteness of 59 units of the R3-BPL-C device. Bread from wheat-triticale-flax flour compared to the control sample from wheat flour did not differ significantly. Both breads are of regular shape, convex crust, golden brown color of the crust. The crumb of bread obtained from both the control wheat-triticale flour and wheat-triticale-flax flour is elastic, the porosity is uniform, thin-walled. It was found that in its organoleptic characteristics, bread obtained from wheat-triticale-flax flour is not inferior to bread from a control wheat-triticale flour, but in terms of taste it is superior.

Keywords: wheat, triticale, flax, hydrothermal treatment, wheat-triticale-flax flour, quality

References

- Begeulov, M. Sh., & Sycheva, E. O. (2017). Bakery technology using flaxseed cake. *Izvestiya TSKHA* [News of TSKHA], (3), 110–126.
- Zaitseva, L. V., & Nechaev A. P. (2014). The balance of polyunsaturated fatty acids in the diet. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food Industry], (11), 56–59.
- Zubtsov, V.A., & Minevich, I. E. (2011). Biological and physicochemical bases of the use of flaxseed flour for the development of bakery products. *Hranenie i pererabotka sel'hozsyrya* [Storage and processing of agricultural raw materials], (3), 10–13.
- Kandrokov, R. Kh., Pankratov, G. N., & Vitol, I. S. (2018). An innovative technology for producing composite wheat-flax flour. *Sovremennaya nauka i innovaciya* [Modern science and innovation], 4(24), 127–133.
- Koneva, S. I. (2016). Features of the use of flax seed processing products in the production of bakery products. *Polzunovskij vestnik* [Polzunovsky Bulletin], (3), 35–37.
- Kuleshova, N. I., & Poznyakovskiy, V. M. (2011). The use of whole flax seed in the production of an innovative product with desired properties and its commodity characteristics. *Tekhnologiya i tovarovedenie innovacionnyh pishchevyh produktov* [Technology and commodity science of innovative food products], (6), 57–60.
- Minevich, I. E. (2019). Functional Significance of Flax Seeds and Practice of Their Use in Food

- Technologies. Health, Food & Biotechnology, 1(2), 97–120. <https://doi.org/10.36107/hfb.2019.i2.s224>
- Pankratov, G. N., Meleshkina, E. P., Vitol, I. S., & Kandrokov, R. Kh. (2018). Features of processed products of two-component mixtures of wheat and flax. *Hleboprodukty* [Bread Products], (12), 42–46.
- Meleshkina, E. P., Pankratov, G. N., Vitol, I. S., & Kandrokov, R. Kh. (2019). New functional products from a two-component grain mixture of wheat and flax, obtained using biotechnological methods. *Vestnik rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki* [Bulletin of Russian agricultural science], (2), 54–58. <https://doi.org/10.30850/vrsn/2019/2/54-58>
- Al Hjaili, A. D., Sakouhi, F., Sebei, K., Trabelsi, H., Kallel, H., & Boukhchina, S. (2015). Influence of harvest year in the physicochemical properties and antioxidant activity of flaxseed hull oils from Tunisia. *Food Science and Technology*, 35, 175–182. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.6688>
- Campos, J. R., Severino, P., Ferreira, C.S., Zielinska, A., Santini, A., Souto, S. B., & Souto, E. B. (2019). Linseed essential oil – source of lipids as active ingredients for and nutraceuticals. *Current Medicinal Chemistry*, 26(24), 4537–455. <https://doi.org/10.2174/0929867325666181031105603>
- Cheng, C., Yu, X., McClements, D. J., Huang, Q., Tang, H., Yu, K., Xiang, X., Chen, P., Wang, X., & Deng, Q. (2019). Effect of flaxseed polyphenols on physical stability and oxidative stability of flaxseed oil-in-water nanoemulsions. *Food Chemistry*, 301, 125207. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125207>
- De Silva, S. F., & Alcorn, J. (2019). Flaxseed lignans as important dietary polyphenols for cancer prevention and treatment: chemistry, pharmacokinetics, and molecular targets. *Pharmaceuticals*, 12(2), 68. <https://doi.org/10.3390/ph12020068>
- Drożłowska, E., Łopusiewicz, Ł., Mężyńska, M., & Bartkowiak, A. (2020). Valorization of flaxseed oil cake residual from cold-press oil production as a material for preparation of spray-dried functional powders for food applications as emulsion stabilizers. *Biomolecules*, 10(1), 153. <https://doi.org/10.3390/biom10010153>
- Dzuvor, C. K. O., Taylor, J. T., Acquah, C., Pan, S., & Agyei, D. (2018). Bioprocessing of functional ingredients from flaxseed. *Molecules*, 23(10), 2444. <https://doi.org/10.3390/molecules23102444>
- Garros, L., Drouet, S., Corbin, C., Decourtin, C., Fidel, T., Lebas de Lacour, J., Leclerc, E. A., Renouard, S., Tungmunnithum, D., Doussot, J., Abassi, B. H., Maunit, B., Lainé, É., Fliniaux, O., Mesnard, F., & Hano, C. (2018). Insight into the influence of cultivar type, cultivation year, and site on the lignans and related phenolic profiles, and the health-promoting antioxidant potential of flax (*linum usitatissimum* l.) seeds. *Molecules*, 23(10), 2636. <https://doi.org/10.3390/molecules23102636>
- Dribnenkil, J. C. P., & Green, A. G. (1995). Linola '947 low linolenic acid flax. *Canadian Journal of Plant Science*, 75(1), 201–202. <https://doi.org/10.4141/cjps95-036>
- Li, X., Li, J., Dong, S., Li, Y., Wei, L., Zhao, C., Li, J., Liu, X., & Wang, Y. (2019). Effects of germination on tocopherol, secoisolarciresinol diglucoside, cyanogenic glycosides and antioxidant activities in flaxseed (*Linum usitatissimum* L.). *International Journal of Food Science & Technology*, (54), 2346–2354. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14098>.
- Łopusiewicz, Ł., Drożłowska, E., Siedlecka, P., Mężyńska, M., Bartkowiak, A., Sienkiewicz, M., Zielińska-Bliźniewska, H., & Kwiatkowski, P. (2019). Development, characterization, and bioactivity of non-dairy kefir-like fermented beverage based on flaxseed oil cake. *Foods*, 8(11), 544. <https://doi.org/10.3390/foods8110544>
- Kaur, R., Kaur, M., & Singh Gill, B. (2017). Phenolic acid composition of flaxseed cultivars by ultra-performance liquid chromatography (UPLC) and their antioxidant activities: Effect of sand roasting and microwave heating. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41, e13181. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13181>
- Mannucci, A., Castagna, A., Santin, M., Serra, A., Mele, M., & Ranieri, A. (2019). Quality of flaxseed oil cake under different storage conditions. *LWT*, 104, 84–90. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.01.035>
- Mattioli, S., Ruggeri, S., Sebastiani, B., Breccchia, G., Dal Bosco, A., Cartoni Mancinelli, A., & Castellini, C. (2017). Performance and egg quality of laying hens fed flaxseed: highlights on n-3 fatty acids, cholesterol, lignans and isoflavones. *Animal*, 11(4), 705–712. <https://doi.org/10.1017/S175173111600207X>
- Meleshkina, E. P., Pankratov, G. N., Vitol, I. S., Kandrokov, R. H., & Tulyakov, D. G. (2017). Innovative trends in the development of advanced triticale grain processing technology. *Foods and Raw Materials*, 5, (2), 70–82. <https://doi.org/10.21179/2308-4057>
- Parikh, M., Maddaford, T. G., Austria, J. A., Aliani, M., Netticadan, T., & Pierce, G. N. (2019). Dietary flaxseed as a strategy for improving human health. *Nutrients*, 11(5), 1171. <https://doi.org/10.3390/nut11051171>
- Pilar, B., Güllich, A., Oliveira, P., Ströher, D., Piccoli, J., & Manfredini, V. J. (2017). Protective role of flaxseed oil and flaxseed lignan secoisolarciresinol diglucoside against oxidative stress in rats with metabolic syndrome. *Journal of Food Science*, 82(12), 3029–3036. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13964>
- Sanmartin, C., Taglieri, I., Venturi, F., Macaluso, M., Zinnai, A., Tavarini, S., Botto, A., Serra, A.,

- Conte, G., Flamini, G., & Angelini, L. G. (2020). Flaxseed cake as a tool for the improvement of nutraceutical and sensorial features of sourdough bread. *Foods*, 9(2), 204. <https://doi.org/10.3390/foods9020204>
- Tavarini, S., Castagna, A., Conte, G., Foschi, L., Sanmartin, C., Incrocci, L., Ranieri, A., Serra, A., & Angelini, L. G. (2019). Evaluation of chemical composition of two linseed varieties as sources of health-beneficial substances. *Molecules*, 24(20):3729. <https://doi.org/10.3390/molecules24203729>
- Vannice, G. K., & Rasmussen, H. C. (2015). Position of the academy of nutrition and dietetics: dietary fatty acids for healthy adults. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 114(1), 136-53. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2013.11.001>
- Wang, H., Wang, J., Qiu, C., Ye, Y., Guo, X., Che,n G., Li, T., Wang, Y., Fu, X., & Liu, R. H. (2017). Comparison of phytochemical profiles and health benefits in fiber and oil flaxseeds (*Linum usitatissimum L.*). *Food Chemistry*, 214, 227–233. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.075>