

Date: 1st October-2026

**ВЛИЯНИЕ ЭКСТРУЗИОННОЙ И ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА
ПИЩЕВЫЕ ВОЛОКНА И РЕЗИСТЕНТНЫЙ КРАХМАЛ ЗЕРНОВЫХ
ПРОДУКТОВ ГЕРОДИЕТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Музафарова Холида Мухсиновна

*доцент кафедры «Технология пищевых продуктов»
Бухарского государственного технического университета
Республики Узбекистана г. Бухара*

E-mail: muzafarova.kholida.1985@gmail.com

Ключевые слова: геродиетика, пожилой возраст, экструзия, гидротермическая обработка, пищевые волокна, резистентный крахмал, β -глюкан, микробиота кишечника, консистенция.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Зерновые продукты для лиц пожилого возраста должны одновременно решать две задачи: быть удобными для потребления при сниженной жевательной функции и сохранять высокое содержание пищевых волокон, служащих субстратом для кишечной микробиоты. С возрастом у многих людей снижается разнообразие микробиоты и уменьшается численность бактерий – продуцентов короткоцепочечных жирных кислот (КЦЖК), что связывают с хроническим воспалением и возраст-ассоциированными заболеваниями [1, 2]. Пищевые волокна и резистентный крахмал являются основными субстратами для образования КЦЖК в толстой кишке [3, 4].

Вместе с тем технологическая обработка зерна – варка, пропаривание, экструзия, хлопьеобразование, сушка – существенно изменяет структуру углеводов. Одни режимы повышают растворимость волокон и их доступность для микробиоты, другие – разрушают резистентный крахмал и повышают гликемический индекс продукта. Поэтому выбор способа и режимов обработки является ключевым этапом создания геродиетических зерновых продуктов.

Цель

Цель работы – проанализировать влияние экструзионной и гидротермической обработки на пищевые волокна, β -глюканы и резистентный крахмал зернового сырья и обосновать технологические режимы, обеспечивающие сохранение пребиотического потенциала продуктов для пожилых людей.

Основная часть

Классификация крахмала по перевариваемости. Согласно классификации Englyst и соавторов, крахмал пищевых продуктов подразделяется на быстро перевариваемый, медленно перевариваемый и резистентный [5]. Резистентный крахмал не расщепляется в тонкой кишке и поступает в толстую кишку, где ферментируется микробиотой с преимущественным образованием бутирата. Выделяют несколько типов резистентного крахмала: физически недоступный



Date: 1st October-2026



крахмал, заключённый в клеточные стенки целого или грубо измельчённого зерна (PK1); нативные гранулы крахмала (PK2); ретроградированный крахмал, образующийся при охлаждении клейстеризованного крахмала (PK3); химически модифицированный крахмал (PK4); амилозо-липидные комплексы (PK5). Для зерновых продуктов наибольшее технологическое значение имеют PK1, PK3 и PK5.

Гидротермическая обработка. Варка и пропаривание вызывают клейстеризацию крахмала, что делает его легкодоступным для амилаз и повышает гликемический ответ. Однако последующее охлаждение и хранение клейстеризованного продукта приводит к ретроградации амилозы и образованию резистентного крахмала PK3. Этот эффект сильнее выражен в сырье с высоким содержанием амилозы, в том числе в бобовых. Для геродиетических продуктов перспективно использование циклов «нагревание – охлаждение», а также сочетание зерновых с бобовыми (маш, нут), богатыми медленно перевариваемым и резистентным крахмалом.

Гидротермическая обработка оказывает неоднозначное влияние на β -глюканы овса и ячменя. Умеренный нагрев инактивирует эндогенные β -глюканазы и сохраняет высокую молекулярную массу β -глюканов, от которой зависит их вязкость и физиологическая активность. Напротив, длительная влажная обработка при активных ферментах зерна может приводить к деполимеризации β -глюканов и снижению их гипохолестеринемического и гипогликемического эффекта. Поэтому для продуктов из овса и ячменя важна предварительная инактивация ферментов (стабилизация зерна).

Экструзия. Экструзия – высокотемпературный кратковременный процесс, при котором сырьё подвергается одновременному воздействию температуры, давления и механических сдвиговых усилий. Экструзия широко используется для производства сухих завтраков, хлопьев, снеков и быстрорастворимых каш [6]. Для пожилых людей экструзионные продукты привлекательны пористой, легко размягчающейся структурой, удобством приготовления и микробиологической стабильностью.

Влияние экструзии на углеводный комплекс зерна зависит от режимов процесса – температуры, влажности сырья, скорости вращения шнека, а также от состава смеси:

1) под действием сдвиговых усилий часть нерастворимых волокон отрубей переходит в растворимую форму, что может повышать их ферментируемость микробиотой;

2) крахмал подвергается клейстеризации и частичной декстринизации, что, как правило, снижает содержание нативного резистентного крахмала и повышает скорость переваривания;

3) при наличии липидов могут образовываться амилозо-липидные комплексы (PK5), устойчивые к перевариванию;

4) β -глюканы при жёстких режимах могут частично деполимеризоваться;

5) снижается активность антипитательных факторов бобовых – ингибиторов ферментов и лектинов.

Date: 1st October-2026



Таким образом, экструзия может как повышать, так и снижать пребиотический потенциал продукта. Для геродиетических продуктов предпочтительны умеренные режимы с повышенной влажностью сырья, введение отрубей, бобовых и β -глюкан-содержащего сырья, а также последующее охлаждение продукта для частичной ретроградации крахмала.

Хлопьеобразование и пропаривание. Производство хлопьев из пропаренного зерна овса, ячменя и пшеницы позволяет сохранить цельнозерновую структуру и оболочечные волокна при получении продукта, быстро размягчающегося при заливании горячей водой или молоком. Степень плющения и толщина хлопьев определяют время приготовления и консистенцию продукта. Для лиц с выраженным снижением жевательной функции более подходящими являются тонкие хлопья или тонкоизмельчённые каши.

Измельчение. Степень измельчения влияет на доступность углеводов. Грубо измельчённое зерно содержит больше физически защищённого крахмала РК1 и обладает более низким гликемическим ответом, однако может быть неудобно для пожилых людей. Тонкое измельчение отрубей улучшает органолептику и текстуру продукта, увеличивает площадь поверхности частиц и может повышать их ферментируемость, хотя одновременно способно ослаблять эффект увеличения объёма стула. Необходим поиск оптимальной степени измельчения с учётом приоритетных физиологических задач.

Сочетание с биотехнологическими методами. Предварительная ферментация сырья заквасками молочнокислых бактерий снижает гликемический ответ продукта, уменьшает содержание фитатов и может частично компенсировать неблагоприятное влияние высокотемпературной обработки [7]. Проращивание зерна перед экструзией обогащает сырьё свободными аминокислотами и витаминами, а обработка ферментными препаратами (ксилаказы) позволяет направленно повышать долю растворимых арабиноксиланов.

Методы оценки. Для оценки влияния технологической обработки рекомендуется определять содержание общих, растворимых и нерастворимых пищевых волокон стандартизованными ферментативно-гравиметрическими методами, содержание и молекулярную массу β -глюканов, фракции крахмала по перевариваемости методом *in vitro*, а также оценивать образование КЦЖК при ферментации продукта с фекальной микробиотой в условиях *in vitro* после предварительного моделирования переваривания в верхних отделах желудочно-кишечного тракта [8]. Параллельно необходимо оценивать реологические и органолептические свойства продукта с участием потребителей пожилого возраста.

Требования к технологическим режимам. На основании анализа сформулированы основные требования к технологии геродиетических зерновых продуктов: стабилизация β -глюкан-содержащего сырья для инактивации эндогенных ферментов; умеренные режимы экструзии и гидротермической обработки; включение в рецептуру бобовых и отрубей; использование циклов «нагревание – охлаждение»

Date: 1st October-2026

для образования ретроградированного крахмала; предварительная ферментация или проращивание сырья; обеспечение мягкой консистенции без чрезмерного разрушения волокнистого комплекса.

Текстура продукта с учётом жевательной функции и глотания. У значительной части пожилых людей снижаются жевательная сила и количество зубов, уменьшается слюноотделение, а у некоторых развиваются нарушения глотания (дисфагия). Поэтому консистенция продукта является не только органолептическим, но и медицинским параметром безопасности. Для описания текстуры модифицированных продуктов разработана международная система IDDSI (International Dysphagia Diet Standardisation Initiative), в которой продукты распределены по уровням от жидких до обычной пищи. Геродиетические зерновые продукты целесообразно разрабатывать в нескольких вариантах консистенции: пюреобразные каши, мягкие каши, размягчающиеся хлопья и обычные изделия. Технологически мягкая консистенция достигается тонким измельчением, повышенным гидромодулем, ферментативной обработкой и экструзией с образованием пористой структуры. При этом важно, чтобы разрушение структуры не приводило к чрезмерному увеличению доли быстро перевариваемого крахмала.

Особенности поведения отдельных компонентов при обработке. β -Глюканы ячменя и овса при сохранении высокой молекулярной массы образуют вязкие растворы, ответственные за снижение постпрандиальной гликемии и связывание желчных кислот. Их физиологическая эффективность зависит не только от количества, но и от растворимости и вязкости в условиях желудочно-кишечного тракта. Арабиноксиланы пшеничных отрубей в нативном состоянии в основном нерастворимы и ферментируются медленно; частичная солубилизация при экструзии или ферментативной обработке повышает их доступность для бифидобактерий, однако полное разрушение полимерной структуры может уменьшить долю субстрата, достигающего дистальных отделов толстой кишки. Бобовые (маш, нут) содержат крахмал с высоким содержанием амилозы, который после варки и охлаждения образует значительные количества ретроградированного крахмала; кроме того, они содержат олигосахариды семейства раффинозы, обладающие пребиотическими свойствами, но способные вызывать газообразование.

Сушка и хранение. После гидротермической обработки продукты подвергаются сушке, режимы которой также влияют на углеводный комплекс. Медленная сушка при умеренной температуре способствует ретроградации крахмала, тогда как высокотемпературная сушка может усиливать реакции неферментативного потемнения (реакции Майяра) и снижать доступность лизина – одной из лимитирующих аминокислот зерновых. При хранении готовых продуктов продолжается ретроградация крахмала, что необходимо учитывать при оценке содержания резистентного крахмала и органолептических свойств в течение срока годности.



Date: 1st October-2026



Практические рекомендации для местного сырья. Для условий Узбекистана перспективна следующая схема: стабилизация ячменя и овса, умеренная экструзия или пропаривание смеси цельнозерновой пшеничной муки, ячменя, сорго и маша, охлаждение и выдержка продукта для частичной ретроградации крахмала, при необходимости – введение пробиотических культур или витаминно-минерального премикса после термической обработки. Такой подход позволяет получить удобные для пожилых людей продукты – быстроразваривающиеся каши, хлопья и экструдированные зерновые смеси – с сохранённым пребиотическим потенциалом.

Пищевая ценность и безопасность после обработки. Помимо углеводного комплекса, технологическая обработка влияет на белки, витамины и безопасность продукта. Умеренная тепловая обработка повышает перевариваемость белков за счёт их денатурации и инактивации ингибиторов протеаз бобовых, что важно для пожилых людей с повышенной потребностью в белке. Однако высокотемпературные режимы с низкой влажностью способствуют реакции Майяра, снижающей доступность лизина, и образованию нежелательных соединений, в частности акриламида в продуктах с высоким содержанием восстанавливающих сахаров и аспарагина. Термолабильные витамины группы В частично разрушаются при экструзии и сушке, что обосновывает внесение витаминного премикса после термической обработки. С другой стороны, тепловая обработка обеспечивает микробиологическую безопасность и увеличивает срок хранения продукта за счёт инактивации липаз, вызывающих прогоркание цельнозерновой муки и овса.

Гликемический ответ как критерий выбора режимов. Снижение толерантности к глюкозе и высокая распространённость сахарного диабета 2 типа среди пожилых делают гликемический ответ одним из ключевых критериев выбора технологии. Режимы, приводящие к полной клейстеризации и декстринизации крахмала, повышают скорость переваривания и гликемический индекс продукта. Снизить гликемический ответ позволяют сохранение частиц цельного зерна, включение вязких β -глюканов и бобовых, образование ретроградированного крахмала, а также подкисление продукта в результате ферментации заквасками. Оценку гликемического потенциала целесообразно проводить на этапе разработки методом *in vitro* переваривания с последующим подтверждением *in vivo*.

Выбор формы продукта. С учётом рассмотренных закономерностей для лиц пожилого возраста наиболее перспективны следующие формы зерновых продуктов: быстроразваривающиеся каши из стабилизированных хлопьев ячменя и овса с добавлением муки бобовых; экструдированные зерновые смеси для приготовления каш и напитков, выработанные при умеренных режимах; мягкие хлебобулочные изделия на закваске с частичной заменой рафинированной муки цельнозерновой; зерновые пюре и кремы для лиц с нарушениями глотания. Каждая форма требует собственного подбора режимов обработки, поскольку оптимальные условия для хлопьев, экструдатов и хлебобулочных изделий существенно различаются. Общим принципом для всех форм является поиск баланса между мягкостью консистенции,

Date: 1st October-2026

сохранением пищевых волокон и резистентного крахмала, низким гликемическим ответом и привлекательными органолептическими свойствами.

Выводы

1. Технологическая обработка зерна существенно изменяет структуру пищевых волокон и крахмала и тем самым определяет пребиотический потенциал и гликемический индекс геродиетических зерновых продуктов.

2. Экструзия повышает растворимость волокон отрубей и улучшает удобство потребления продукта пожилыми людьми, однако при жёстких режимах снижает содержание резистентного крахмала и молекулярную массу β -глюканов.

3. Сохранение пребиотических свойств обеспечивается стабилизацией сырья, умеренными режимами обработки, включением бобовых и отрубей, использованием ретроградации крахмала и сочетанием с ферментацией и проращиванием.

4. Выбор оптимальных режимов должен основываться на комплексной оценке состава волокон, фракций крахмала, образования КЦЖК *in vitro* и органолептических свойств продукта.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Claesson M.J., Jeffery I.B., Conde S. et al. Gut microbiota composition correlates with diet and health in the elderly // *Nature*. – 2012. – Vol. 488, № 7410. – P. 178–184.

2. Biagi E., Nylund L., Candela M. et al. Through ageing, and beyond: gut microbiota and inflammatory status in seniors and centenarians // *PLoS ONE*. – 2010. – Vol. 5, № 5. – e10667.

3. Koh A., De Vadder F., Kovatcheva-Datchary P., Bäckhed F. From dietary fiber to host physiology: short-chain fatty acids as key bacterial metabolites // *Cell*. – 2016. – Vol. 165, № 6. – P. 1332–1345.

4. Makki K., Deehan E.C., Walter J., Bäckhed F. The impact of dietary fiber on gut microbiota in host health and disease // *Cell Host & Microbe*. – 2018. – Vol. 23, № 6. – P. 705–715.

5. Englyst H.N., Kingman S.M., Cummings J.H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions // *European Journal of Clinical Nutrition*. – 1992. – Vol. 46, Suppl. 2. – P. S33–S50.

6. Brennan M.A., Derbyshire E., Tiwari B.K., Brennan C.S. Ready-to-eat snack products: the role of extrusion technology in developing consumer acceptable and nutritious snacks // *International Journal of Food Science and Technology*. – 2013. – Vol. 48, № 5. – P. 893–902.

7. Poutanen K., Flander L., Katina K. Sourdough and cereal fermentation in a nutritional perspective // *Food Microbiology*. – 2009. – Vol. 26, № 7. – P. 693–699.

8. Brodkorb A., Egger L., Alminger M. et al. INFOGEST static *in vitro* simulation of gastrointestinal food digestion // *Nature Protocols*. – 2019. – Vol. 14, № 4. – P. 991–1014.

