УДК 664.2:637.5
DOI: https://doi.org/10.21323/2071-2499-2020-5S-??-??
Табл. 1. Ил.7. Библ. 77.

О применении резистентных крахмалов в производстве мясных изделий

Л. Б. Кузина, Л. Г. Кузьмина, А. А. Копыльцов, канд. техн. наук

ВНИИ крахмалопродуктов – филиал «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, Красково, Россия

Аннотация

Рабочей группой Международного агентства по изучению рака было установлено, что употребление красного мяса (говядина, баранина и свинина) является «вероятной» причиной рака толстого кишечника. Красное мясо было отнесено ко второй А группе канцерогенов, а продукция мясопереработки (ветчина, салями, бекон, сосиски, мясные консервы, солонина) была отнесена к канцерогенам первой группы, вызывающим рак. Департамент здравоохранения рекомендовал сократить потребление красного мяса и мясоколбасных изделий до 70 г/сут. Снизить потребление и нивелировать вредное воздействие, оказываемое употреблением мясных изделий, можно добавлением в их рецептуры пищевых волокон, таких как резистентный крахмал. В данной статье проанализированы работы мирового научного сообщества по технологиям производства мясных продуктов с добавлением резистентных крахмалов, описано влияние на организм человека, в результате их употребления. Обозначена роль резистентного крахмала в профилактике коллатерального рака, риск которого возрастает при употреблении мясных изделий из красных видов мяса (каждое превышение нормы на 50 г/сут., повышает вероятность на 18 %). Благодаря своим свойствам, резистентный крахмал может применяться как заменитель жира в рецептуре колбасных изделий. Кроме этого, он способен улучшать структуру, текстуру и цвет продукции, в том числе при термической обработке (варке, жарке), увеличивать срок хранения при температуре +4 ^{0}С, уменьшать калорийность (его калорийность ниже в 4,3 раза, чем у животного жира). В качестве дополнения приведены способы повышения резистентности крахмалов и крахмалопродуктов: смешивание с клетчаткой, криомодификация, химическая модификация, экструзионная и ферментативная обработки. Указаны качественные – электронное и световое микроскопирование с окрашиванием раствором Люголя, и количественные – титрометрический, фотоколориметрический, хроматографический, методы идентификации и определения крахмалов в мясных изделиях. Сделан вывод о необходимости разработки технологий и расширения ассортимента функциональных мясных изделий с добавлением пищевых волокон так, как это позволит улучшить качество жизни населения и снизить себестоимость выпускаемой продукции.

Ключевые слова: резистентный крахмал, мясные изделия, красное

мясо, колоректальный рак, короткоцепочечные жирные кислоты, ферментативный гидролиз, модификация крахмала.

About resistant starches application in meat products

L. B. Kuzina, L. G. Kuzmina, A. A. Kopyltsov

Research Institute of starch products - Branch of V.M. Gorbatov
Federal Research Center for Food Systems

Abstract

The International Agency for Research on Cancer working group found that the consumption of red meat (beef, lamb and pork) is a "likely" colon cancer cause. Red meat was assigned to the second A group of carcinogens, and processed meat products (ham, salami, bacon, sausages, canned meat, corned beef) were assigned to the first group carcinogens that cause cancer. The Department of Health has recommended reducing red meat and meat sausages consumption to 70 g/day. The addition of dietary fiber such as resistant starch to the formulation can reduce consumption and mitigate the harmful meat products effects. This article analyzes the world scientific community work on technologies for the meat products production with the addition of resistant starches, describes the effect on the human body as their use result. The resistant starch role in the collateral cancer prevention, which increases risk with the consumption of meat products made from red meat types (each excess of the norm by 50 g/day, increases the likelihood by 18 %), is indicated. Due to its properties, resistant starch can be used as a fat substitute in sausage recipes. In addition, it is able to improve the structure, texture and color of products, including during heat treatment (cooking, frying), to increase the shelf life at a temperature of + 4 ^{0}C, to reduce the calorie content (its calorie content is 4,3 times lower than that of animal fat). As an addition, methods of increasing the starches resistance and starch products are given: mixing with fiber, cryomodification, chemical modification, extrusion and enzymatic processing. Qualitative - electron and light microscopy with staining with Lugol's solution, and quantitative - titrometric, photocolorimetric, chromatographic, starches identification and determination methods in meat products are indicated. It is concluded that it is necessary to develop technologies and expand the functional meat products range with the dietary fiber addition, as this will improve the life quality of the population and reduce the products cost.

Key words: resistant starch, meat products, red meat, colorectal cancer, short-chain fatty acids, enzymatic hydrolysis, starch modification.

Введение

По отчетам ВОЗ от октября 2015 года, переработанное мясо (мясная продукция: ветчина, салями, бекон, сосиски, мясные консервы, солонина) было отнесено к канцерогенам первой группы, вызывающим рак. Помимо этого, рабочей группой Международного агентство по изучению рака были проведены более 800 наблюдательных исследований, в которых изучалась связь потребления красного мяса и рака в различных странах и при "мясных

диетах". Было установлено, что употребление красного мяса (говядина, баранина и свинина) является «вероятной» причиной рака толстого кишечника, и мясо было отнесено ко второй А группе канцерогенов. Департамент здравоохранения рекомендует сократить потребление красного мяса и мясоколбасных изделий до 70 г., так как увеличение их потребления на 100 и 50 г/день увеличивает риск колоректального рака на 17 % и 18 %, соответственно [1].

Нивелировать вредное воздействие свинины, говядины и баранины можно разными путями, например, уменьшить потребляемые порции или частично исключить на несколько дней в неделю, перейти на другие источники белка (бобовые, мясо птицы, морепродукты, грибы, орехи, вегетарианские колбасные изделия).

Существует еще одна проблема. Жир в эмульгированной мясной продукции обеспечивает ее вкусовые и качественные показатели, такие как стабильность [2]. Обработанные мясные продукты являются важными источниками белка с высокой биологической ценностью, витаминов (B_6 и B_{12}) и минералов (Fe и Zn), а жиры являются источником энергии и незаменимых жирных кислот. Замена животного жира в мясных изделиях может привести к ухудшению внешнего вида, вкусовых качеств, сочности и интенсивности вкуса [3]. Но чрезмерное потребление жиров приводит к появлению избыточного веса и ожирению, гипертонии, сердечно-сосудистым заболеваниям и ишемической болезни сердца [4]. Снизить содержание жира возможно, благодаря добавлению в мясные изделия пищевых волокон, таких как резистентный [5, 6] и нативный крахмалы [7, 8, 9, 10], пектин [11, 12, 13], клетчатка [14, 15, 16], цедра [17, 18], инулин [19, 20, 21], карбоксиметилцеллюлоза [22, 23], β-глюкан [24, 25], мука [26, 29]) и хитозан [30, 31, 32]. Волокна могут полностью или частично заменить жир, снизить калорийность, продлить возможные сроки хранения, улучшить качество, увеличить стабильность эмульсий и выход мясной продукции [33]. Это происходит благодаря их растворимости, высокой вязкости, хорошим гелеобразующей, водосвязывающей и адсорбирующей масло способностям, способности связывать молекулы органических и минеральных веществ [34].

Решения данных проблем представляют наибольший интерес среди ученых всех стран, они проводят все больше исследований по созданию новых мясных продуктов с низким содержанием жира и натрия, обогащенных пищевыми волокнами и жирными кислотами ω-3 и ω-6, содержащих природные антиоксиданты, пребиотики, противомикробные препараты [35, 36].

Потребление пищевых волокон предотвращает запоры, снижает вероятность рака и сердечно-сосудистых заболеваний (за счет гипохолестеринемических эффектов и низкой энергетической ценности), помогает за счет уменьшения абсорбции глюкозы при диабете 2 типа [37]. Полные обзоры по пищевым волокнам, в целом, и их применению в мясной промышленности были опубликованы в 2019 году группами ученых из Италии, России и Канады [38, 39].

В данной статье будут рассмотрены применение резистентных крахмалов, в качестве заменителей жира и стабилизаторов эмульсий для изготовления колбас, способы повышения степени резистентности применяемых крахмалов, методы их идентификации и количественного определения.

Основная часть

1. Понятие «резистентный крахмал»

Крахмал – главный источник углеводов, широко применяемый во всех отраслях пищевых производств. По химической структуре крахмал представляет собой полисахарид, состоящий из α-D-глюкопиранозных остатков, которые связаны α-D- (1-4) или α-D- (1-6) гликозид-гликозидными связями. линейную амилозу, образованную звеньями глюкозы, связанными α-D- (1-4) способом, и разветвленный амилопектин, образованный единицами глюкозы, разветвленными через α-D- (1-6) связи. Соотношение амилоза/амилопектин в гранулах крахмала в значительной степени зависит от ботанических источников и условий сорта [40].

В организме, крахмал, гидролизуется в тонком кишечнике, под действием α-амилазы поджелудочной железы, до короткоцепочечных фрагментов-мономеров: глюкозы, мальтозы и декстринов. Этот процесс позволяет получить моносахариды, которые абсорбируются через стенки тонкого кишечника и впоследствии транспортируются кровотоком к клеткам, которые используют их в качестве источника энергии, для обеспечения жизнедеятельности человеческого организма [41].

Выделяют три фракции крахмала по скорости переваривания: быстроусвояемый (легкоусвояемый) крахмал (БУК/ЛУК или DS), медленно усваиваемый крахмал (МУК или SDS) и неперевариваемый резистентный крахмал (РК или RS) [42, 43]. Больший интерес представляет РК, ферментируемый только в толстом кишечнике, в результате жизнедеятельности анаэробных микроорганизмов рода Ruminococcus, R. bromii, до короткоцепочечных жирных кислот (КЦЖК) (масляной, пропионовой), которые питают слизистую оболочку кишечника [40, 44, 45].

Применение РК в рецептурах пищевых продуктов позволяет снизить их [46], вероятность ожирения и возникновения рака толстого кишечника [47], контролировать уровень глюкозы [48] и холестерина в крови [49], обеспечить увеличение числа бифидо- и лактобактерий [50].

В подтверждение перечисленных полезных свойств, приведем калорийность животного жира, добавляемого в мясные изделия и деликатесы, она составляет 896 - 902 ккал/100 г. У РК этот показатель ниже в 4,3 раза – 210 ккал /100 г (Европейская комиссия) [46]. Это свойство поможет вступить в борьбу с избыточным весом и ожирением. Рассмотрим исследования, проведенные учеными из Америки и Австралии, которые доказывают, что РК снижает риск возникновения рака толстого кишечника.

2. Резистентный крахмал – средство профилактики колоректального рака

Австралийские ученые изучили вопрос повреждения ДНК толстой кишки у крыс при употреблении красного или белого мяса и защиты тканей кишечника РК. Крыс кормили рационом, содержащим 15, 25 или 35 % вареной говядины или курицы, и с 20 % высокоамилозного кукурузного крахмала, обладающего высокой степенью резистентности, или без него. Исследование проводили в течение 4 недель. Однонитевые и двунитевые разрывы ДНК, длину теломер, уровень апоптоза, толщину слизистой оболочки и массовую долю КЦЖК толстой кишки определяли в изолированных колоноцитах. Теломеры представляют собой длинные гексамерные повторы, которые защищают ДНК кишечника от повреждения, которое может привести к хромосомной нестабильности. Укорочение теломер связано с повышением риска колоректального рака. Было установлено, что красное мясо вызывает больше 1 и 2-нитиевых разрывов ДНК толстой кишки, чем белое мясо, а РК защищает от разрывов и увеличивает долю КЦЖК. Длина теломер уменьшалась пропорционально содержанию красного мяса в рационе. Аналогичная тенденция наблюдалась в группе людей, находящихся на диете из белого мяса. Укорочение теломер колоноцитов из-за увеличения количества потребляемого мяса было нивелировано включением РК в рацион [51, 52].

Австралийские ученые, совместно с датскими и американскими, провели эксперименты на крысах, которых посадили на высокопротеиновую диету или частично протеиновую, с добавлением 10% высокоамилозного кукурузного, картофельного или кукурузного бутирилированного крахмалов. Картофельный и кукурузный бутирилированные крахмалы продемонстрировали хороший профилактический эффект, основанный на снижении экспрессии микро-РНК кластера miR17-92 в толстой кишке, но не наблюдалось значительных различий в уровнях аддукта O^6-метил-2-дезоксигуанозина. В целом, четырехнедельное потребление бутирилированного РК показало наибольший потенциал для ликвидации негативных последствий высокопротеиновой диеты [53].

Испытания были проведены и на людях. В исследовании Университета при медицинском центре в Чикаго приняли участие 23 здоровых добровольца в возрасте 50-75 лет. Участникам случайным образом была назначена диета с высоким содержанием красного мяса (300 г/сут нежирной говядины или баранины) или та же диета плюс добавка РК под названием StarPlus (40 г/сут крахмала кукурузы с высоким содержанием амилозы, обработанный масляной кислотой). После 4 недель одной диеты участники перешли на другую еще на 4 недели. По окончанию каждой фазы, исследователи отбирали образцы фекалий и клеток слизистой оболочки прямой кишки. Определялись массовые доли масляной и других КЦЖК, распространение, экспрессия микро-РНК, целевые гены этих микро-РНК, включая ингибитор клеточного цикла CDKN1A и проапоптотических генов PTEN и BCL2L11. Диета с красным мясом статистически значимо увеличивало разрастание слизистой оболочки, что соответствует более высокому выражению онкогенных микро-РНК (кластера miR17-92 и miR21). После 4 недель диеты

с высоким содержанием красного мяса, уровни miR17-92 увеличились в среднем на 30%. Добавление РК в мясную диету способствовало снижению только miR17-92 [54].

3. Резистентный крахмал – заменитель жира и улучшитель сенсорных свойств мясных изделий

Научные работники Бразилии оценивали технологические и реологические свойства мясных эмульсий с низким содержанием жира и пониженным содержанием натрия. В качестве заменителей жира и крахмала использовали различные виды пребиотических волокон (инулин, полидекстроза, РК). Наблюдалась низкая стабильность эмульсии, в основном, при обработке, содержащей инулин и полидекстрозу (3 и 6 г/100 г). Пребиотические волокна влияли на цвет мясной массы, но не на цвет колбасы, вероятно, из-за плавления жира и последующего его отверждения. Повысилась температура гелеобразования, что может быть результатом добавления волокон, которые задерживают реакцию гелеобразования миозина. Микроструктуры с РК образовали пористую матрицу, а компактная и плотная сетка наблюдалась только в контрольных образцах и вариантах, содержащих инулин (из-за длины цепи). Более высокая стабильность эмульсий и нежность конечной продукции наблюдалась у обезжиренных болонских колбас, содержащих РК в количествах 3-6 г/100 г, с 10 г жира и 1 г соли – эту рецептуру приняли за оптимальную [55].

В 2019 году иранскими учеными исследовалось влияние РК из кукурузы (0,1–0,6 % по весу) на водоудерживающую способность (ВУС) и прочность геля миозина куриной грудки. Результаты показали, что РК может последовательно увеличивать ВУС и стабильность миозин-РК гелей (уровень значимости $p<0,05$) с повышением концентрации РК от 0,1-0,6 %, благодаря гидрофильности РК. Набухание и усиленное поперечное сшивание между миозиновым хвостом и РК способствовали образованию непрерывной, компактной и гомогенной гелевой, что привело к увеличению стабильности геля. Установлено, что индуцированный нагреванием конформационный переход от β-листа к α-спирали улучшить ВУС и прочность геля [56].

Иранскими учеными была проведена работа по разработке рецептур пребиотических колбас с использованием РК, β-глюкана (БГ) и крахмала (К) с использованием моделей D-оптимального дизайна смеси. Результаты показали, что добавление РК, БГ и К оказало заметное влияние на физические и сенсорные свойства колбасы. Использование в рецептуре только РК оказало отрицательное влияние и обеспечило потери готового продукта, но его совместное применение с БГ и К, так как они нивелируют потери. Была обнаружена положительная корреляция между выходом продукции и потерями при жарке. РК увеличивал твердость, но при применении РК+БГ продукция была более мягкой. Органолептические оценки цвета и текстуры коррелировали с инструментальным анализом цвета и текстуры. Оптимальная рецептура, исходя из выхода при варке, потерь при

жарке и твердости – РК = 2,216 г/100 г, БГ = 1,328 г/100 г, К = 2,456 г/100 г с коэффициентом корреляции 0,878, при уровне значимости 0,05 [57].

В Бразилии колбаса является одним из самых популярных мясных изделий, поэтому было проведено исследование по оценке РК как заменителя жира, изучались физико-химические свойства и органолептические показатели. Определялись: состав, стабильность эмульсии, цвет, профиль текстуры и сенсорное восприятие. В качестве РК использовали экструзионный крахмал Novelose 330. Исследование показало, что частичное сокращение жира положительно влияет на снижение калорийности, стабильности эмульсии, цветовых параметров и анализа профиля текстуры, доказав, что РК является многообещающим ингредиентом для создания более здоровых мясных продуктов [58].

Исследователи из Кореи изучали вопросы замены свинины кукурузным крахмалом, куриной грудкой и сурими и влияние на химический состав, физические, текстурные и сенсорные свойства, а также на время хранения. Было изготовлено 5 образцов с составами: Т1 (10 - РК: 0 – куриная грудка: 0 – сурими, %), Т2 (10:5:0, %), Т3 (10:10:5, %), Т4 (10:15:10, %) и Т5 (10:20:15 %). Колбаса из свинины служила контролем. Контроль образец имел более высокое содержание влаги и жира, но более низкое содержание белка, чем в образцах с заменителями ($p < 0,05$). Колбасы Т2 и Т5 имели пониженные значения pH после 3 недель хранения. Значение яркости было самым низким в Т3, тогда как значения желтизны были самыми низкими в Т5. Значения TBARS (реактивное вещество с 2-тиобарбитуровой кислотой) были самыми низкими в контроле за все время хранения. Однако у колбасы в контроле было более высокое значение VBN (летучего основного азота), чем других вариантах, в течение 1 недели хранения. Результаты показали, что кукурузный крахмал, куриную грудку и сурими можно использовать в качестве заменителя свинины, а также ими можно улучшить физико-химические, текстурные свойства и пережевываемость ($p < 0,05$) [59].

4. Резистентный крахмал – улучшитель цвета и текстуры мясных изделий для термической обработки (варка и жарка)

Турецкие ученые изучали возможность использования ретроградированной муки, произведенной в лабораторных условиях, при изготовлении фрикаделек. Ретроградация – это явление, возникающее, когда молекулы, содержащие желатинизированный (клейстеризованный) крахмал, начинают повторно связываться в упорядоченную структуру [60]. Были проведены сопоставления ретроградированной муки, хлеба и панировочной муки, как связующих фарш ингредиентов. Потери при варке фрикаделек, произведенных с использованием ретроградной муки, были аналогичны потере фрикаделек с панировочной мукой. Применение ретроградированной муки с 5 г/100 г до 20 г/100 г привели к значительному снижению потерь при варке с 21,95 % до 6,19 % и диаметра фрикаделек с 18,60 % до 12,74 %, но к увеличению плотности фрикаделек, с 28,82 % до 41,39 % по сравнению с контролем. Пружинистость фрикаделек с использованием хлеба была

значительно выше, чем у других фрикаделек из-за того, что хлеб имеет упругую структуру. Кроме того, добавление ретроградной муки в фрикадельки значительно увеличило ($p<0,05$) твердость, упругость и сцепляемость фарша. Установлено, что оптимальное количеством ретроградированной муки составляет 10 г/100 г [61].

Поскольку мясные продукты, такие как сосиски и колбаски, употребляются чаще в жареной форме, очень важно в процессе приготовления сохранить их цвет и текстуру. В Иране изучалось использование пребиотических компонентов – как один из подходов к повышению пищевой ценности и снижению негативного воздействия мясных продуктов на деятельность кишечника. Было разработано 13 рецептур колбас с БГ, К и РК. Используемые ингредиенты повышали твердость, в то время как комбинации БГ/РК и РК/К снижали твердость колбас ($p<0,05$). Обжарка существенно повлияла на цвет и текстуру колбас: они приобрели красновато-коричневый цвет и увеличилась жесткость [5].

В Испании разрабатывались рецептуры кляров для жарки с добавлением РК Novelose 330. Цвет - одно из основных свойств жареных продуктов в кляре; желаемый цвет - светло-золотисто-коричневый. Замена пшеничной муки РК на 20 % увеличила общее содержание пищевых волокон с 5,0 % до 13,2 %. После обжарки было обнаружено значительное увеличение твердости и хрупкости корочки кляра и более интенсивный золотисто-коричневый цвет. Продукция была представлена на дегустационную комиссию численностью в 50 потребителей. Все члены комиссии оценили варианты одинаково (без РК, 10 % РК и 20 % РК). Ученые установили, что РК может быть использован, в количестве до 20 г/100 г, для изготовления продуктов в кляре [62].

Для продления срока хранения используют заморозку, в результате которой изменяются физико-химические свойства мясной продукции. Французскими исследователями была запатентована рецептура композиций на основе химически модифицированного экструзионного РК. Эти композиции предназначены для покрытия замороженных и охлажденных пищевых продуктов, они позволяют сохранить потребительские качества мясной продукции [63].

5. Резистентный крахмал – ингредиент, продляющий срок хранения мясной продукции

Иранскими и итальянскими научными сотрудниками были проведены исследования по оценке качества двух типов колбас, изготовленных с добавлением РК и БГ (2,216 РК / 1,328 БГ и 2,75 РК / 1,875 БГ). Рассматривался процесс хранения в охлажденном виде. Сделан вывод, что соотношение 2,216 РК / 1,328 БГ является оптимальным, так как увеличение количества РК и БГ способствует увеличению окисления жира. Антимикробные свойства пищевых волокон фиксировались в течение 60 дней. Общее количество жизнеспособных организмов увеличивалось до 45 дня и затем снижалось. Было рекомендовано установить срок хранения

равный 45 дням, так как более длительное хранение приводит к росту общего уровня летучего основного азота и порче внешнего вида продукта из-за значительного снижения влажности [64].

6. Выпускаемые резистентные крахмалы

Таблица 1

Характеристики резистентных крахмалов, выпускаемых в мире

Торговая марка/ Производитель, Страна	Название крахмала	Сырье	Используемая обработка крахмала	Калорийность, ккал/ 100 г
1	2	3	4	5
ВНИИК, РФ	Резистамил 1	Кукурузный или гороховый высокоамилозные крахмалы, выше 35%	Экструзия при 160^0С	232,6 гороховый 346,2 кукурузный
	Резистамил 2	Кукурузная или гороховая мука с содержанием амилозы выше 35%	Экструзия при 160^0С	308,8 гороховая 328,8 кукурузная
	Резистамил 3	Кукурузный или гороховый крахмалы	Вымораживание 24 ч при -10^0С	232,6 гороховый 343,6 кукурузный
Ingredion, США	Hi-maize 260 53% RS	Высокоамилозный кукурузный крахмал	Нет	268
	Novelose 330	Высокоамилозный кукурузный крахмал	Экструзия	318
National Starch Food Innovation, США	HACS	Высокоамилозный кукурузный крахмал	Нет	Нет данных
	HAPS	Высокоамилозный картофельный крахмал	Нет	Нет данных
	HACSB	Высокоамилозный кукурузный крахмал + масляная кислота	Обработка масляной кислотой	Нет данных
Tate & Lyle, США	PROMITOR	Кукурузная растворимая клетчатка, мальтодекстрин	Смесь с пищевыми волокнами	190
Functional matt, Финляндия	FiberFinn	Кукурузный крахмал + кукурузная мезга	Смесь с пищевыми волокнами	175
Realife, Турция	Resistant starch	Пшеничный крахмал + пшеничная мезга	Смесь с пищевыми волокнами	246

В рассмотренных статьях, помимо полученных в лабораторных условиях, были использованы РК торговой марки Ingredion или полученные от организации «National Starch Food Innovation». В таблице перечислены РК, изготавливаемые различными крахмалопаточными предприятиями, а также созданные по технологиям, разработанным и зарегистрированным во ВНИИ крахмалопродуктов в 2007 году.

7. Технологии повышения резистентности крахмалов

Существуют несколько способов повышения степени резистентности уже изготовленных крахмалов:

1) Приготовление смесей пищевых волокон и крахмала - при изготовлении, например, кукурузного крахмала остается мезга, ее измельчают до тонкодисперсного состояния и смешивают с полученным крахмалом, что снижает степень его переваривания.

2) Химические модификации - сшивание (фосфатирование, ацетилирование), окисление, оксипропилирование, карбоксиметилирование [65].

3) Криомодификация – замораживание клейстеров крахмалов при с последующим оттаиванием [65].

4) Экструзионная обработка – ретроградация крахмала под действием давления и температуры, при температуре клейстеризации (90-95 ^{0}C) [66, 67].

5) Ферментативный гидролиз - пористый крахмал, полученный обработкой α-1-6-пуллуланазой, изоамилазой, α- и β-амилазами [68, 69].

8. Методы определения и идентификации резистентных крахмалов в мясных продуктах

Сейчас очень важно знать и использовать инструменты для контроля сырья и готовой продукции производителей. Некоторые заводы-изготовители занимаются производством продуктов без пищевых добавок Е, поэтому требуется тщательный контроль соблюдения технологий. Перечисленные способы помогут провести качественную и количественную проверку на содержание нативного, модифицированного и резистентного крахмалов.

8.1. Качественный анализ – гистохимическое окрашивание йодным раствором люголя и микроскопирование

Целевыми структурами этого последовательного окрашивания являются крахмалы и коллагеновые связки, а также других структур, если знать их морфологию. Метод пригоден для определения нативного крахмала в мясных продуктах, а в сочетании с окрашиванием других ингредиентов дает комплексное представление о составе и структуре продукции. При окрашивании в крахмале происходит реакция между раствором Люголя и крахмальной амилозой. Примеры окрашенных препаратов представлены на рисунках 1-2. Повторяемость и воспроизводимость результатов внутрилабораторных исследований составляет 100%, селективность – 1,03,

специфичность метода – 0,9, предел обнаружения на уровне 100 % для 0,001 г/кг и 87,7 % для концентрации 0,0001 г/кг добавки крахмала [70].

Рисунок 1. Окрашивание сосисок (Debrecínské párky) раствором Люголя: а) картофельный крахмал, б) мышечная ткань, в) коллаген (Pospiech и др., 2014) [70]

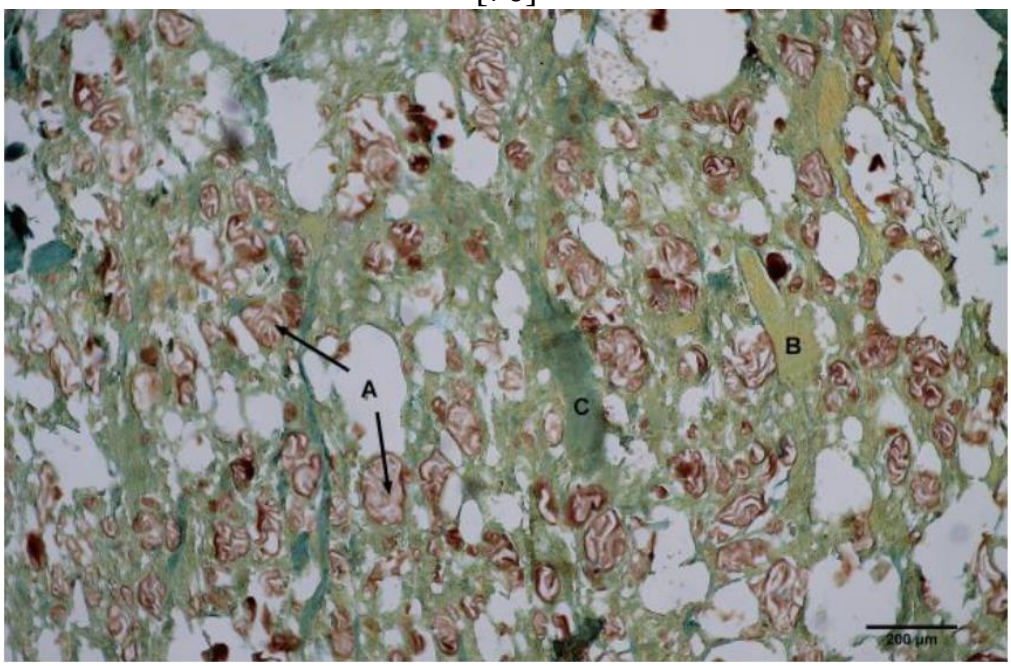
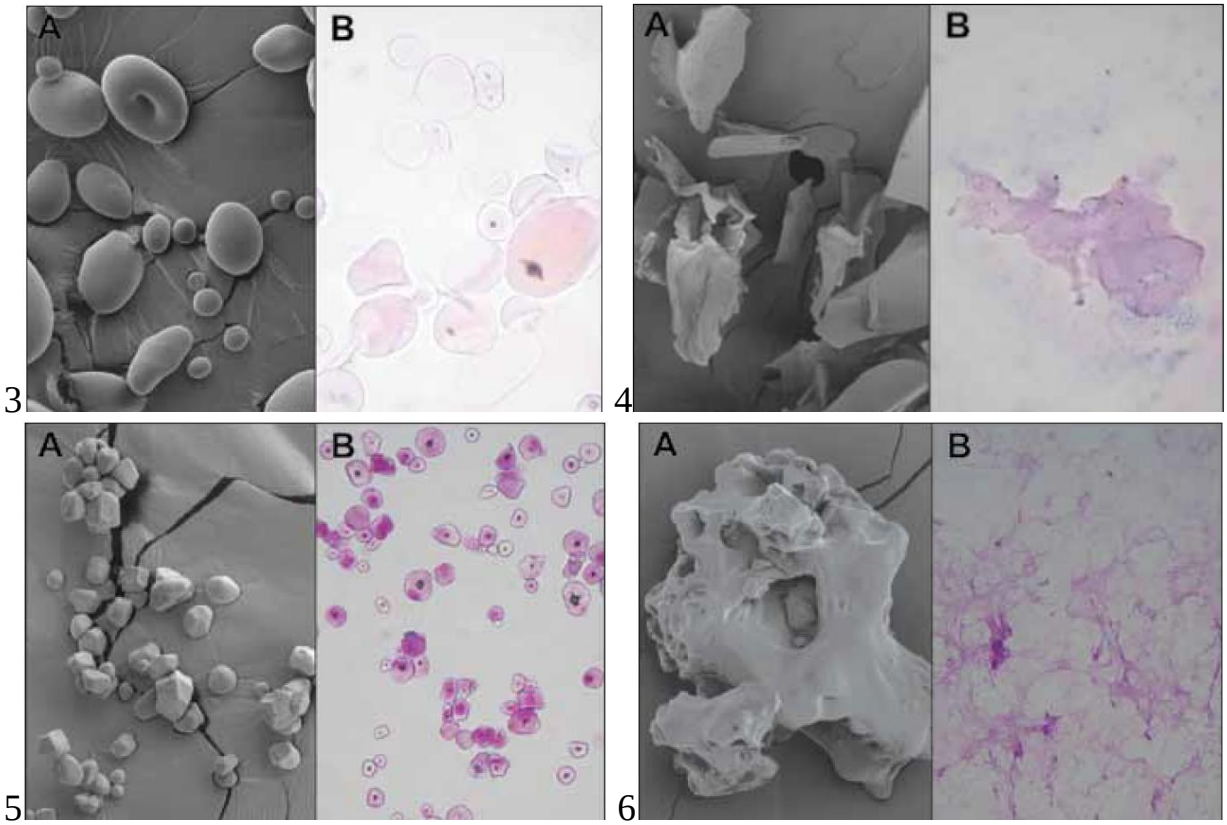


Рисунок 2. Окрашивание сосисок ESO раствором Люголя: а) неидентифицированный крахмал, б) мышечная ткань, в) коллагеновые связки (Pospiech и др., 2014) [70]

8.2. Качественный анализ – электронное микроскопирование

Электронная микроскопия – способ идентификации нативных крахмалов в мясных продуктах, который основывается на определении состояния, размера и формы крахмальных гранул. Электронный микроскоп (ЭМ), по сравнению со световым (СМ), дает гораздо более четкую информацию о морфологии крахмалов, даже в случае их модификации или

высокой растворимости [71]. Различия можно увидеть на микрофотографиях, представленных на рисунках 3-6.



Рисунки 3-6. Сравнение электронного (а) и светового микроскопирования крахмалов (б) при окрашивании Люголем с увеличением 400х (Eliasova и др., 2012) [71]:
3) картофельный крахмал;
4) физически модифицированный картофельный крахмал;
5) кукурузный крахмал;
6) химически модифицированный кукурузный крахмал Е 1422.

8.3. Количественный анализ – титрование – общее содержание крахмала

Этот метод описан в национальном стандарте ГОСТ 10574-2016 Продукты мясные. Методы определения крахмала. Он основывается на окислении альдегидных групп моносахаридов, которые образуются при гидролизе крахмала в кислой среде. Окисление осуществляется с помощью двухвалентной меди из жидкости Фелинга. После этого окись меди восстанавливают в закись и проводят йодометрическое титрование [72].

8.4. Количественный анализ – ферментативно-фотоколориметрический метод – общее содержание крахмала

Принцип метода AOAC 996.11 представлен на рисунке 7. Он заключается в ферментативном гидролизе крахмала и последующим определении глюкозы на спектрофотометре. Используемые ферменты – α-

амилаза и амилоглюкозидаза, для спектроскопирования применяют реактив GOPOD, который окрашивает раствор гидролизата.

Для получения более точных результатов в образцах с высоким содержанием жира (например, в колбасе), их следует сначала обработать растворителем в соответствии с AOAC 991.42 [73].

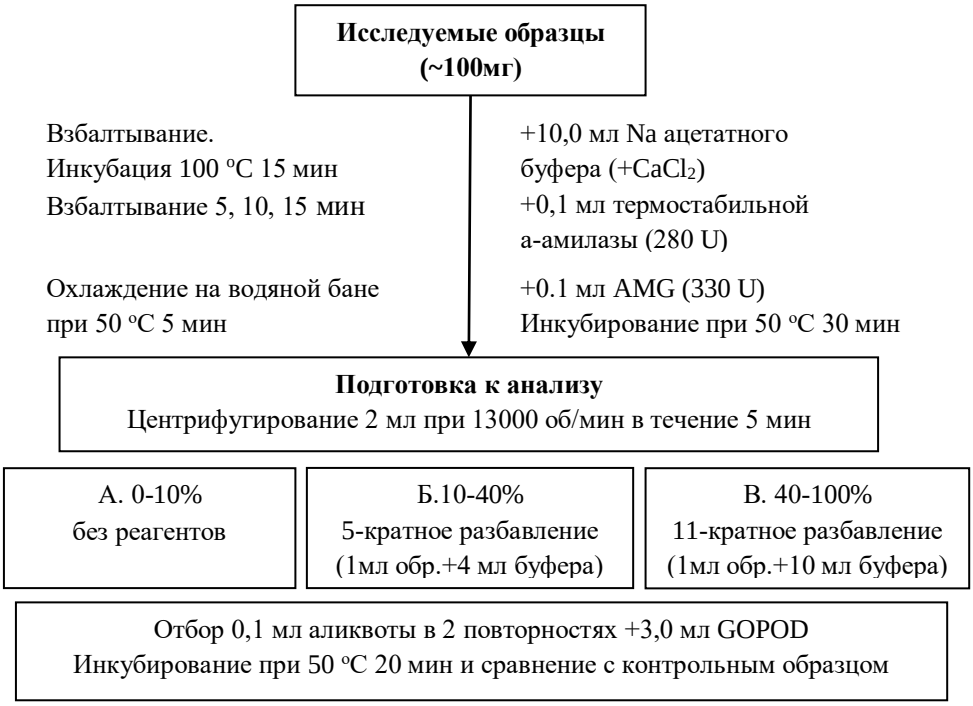


Рисунок 7. Схематическое изображение методики определения крахмала фотоколориметрическим методом (McCleary, Charmier, McKie, 2018) [73]

8.5. Количественный анализ – ферментативно-фотометрический и хроматографический методы – содержание резистентного крахмала

Существует арбитражный метод определения степени резистентности крахмалов и крахмалопродуктов AOAC 2002.02. Его принцип заключается в том, что крахмал гидролизуется панкреатином и амилоглюкозидазой, после этого из общего содержания крахмала, вычитается содержание глюкозы в растворенном щелочью осадке, которое определяется спектрофотометрически. Общее время гидролиза составляет 16 часов, его проводят при температуре +37 ^{0}С. После этого в гидролизаты добавляют окрашивающий реактив GOPOD и проводят определение глюкозы на спектрофотометре. Ирландский профессор Мак Клиари создал и запатентовал специальный набор реагентов для фотоколориметрического определения степени резистентности крахмалов и крахмалопродуктов [74].

Ученые ВНИИ крахмалопродуктов разработали более удобную и быструю методику определения степени резистентности крахмалов и крахмалопродуктов [75]. Сущность заключается в 2-х стадийном ферментативном гидролизе клейстеров крахмалов под действием панкреатической α-амилазы и α-амилоглюкозидазы, в течение 2,5 ч., с последующим определением массовой доли глюкозы методом высокоэффективной жидкостной хроматографии.

Выводы

В статье были рассмотрены технологии мясных продуктов с низким содержанием жира. Этого добились путем применения в рецептурах РК как нативного, так и модифицированного. РК способствовал улучшению физико-химических и сенсорных свойств, как сырых, так и обработанных мясных изделий, и продлению сроков их хранения. Были приведены 5 способов повышения резистентности крахмалов и крахмалопродуктов: смешивание с клетчаткой, криомодификация, химическая модификация, экструзионная и ферментативная обработки. Указаны качественные – электронное и световое микроскопирование с окрашиванием раствором Люголя, и количественные – титрометрический, фотоколориметрический, хроматографический, методы идентификации и определения крахмалов в мясных изделиях.

Мясная промышленность имеет значительную возможность внедрить новые технологии для изменения состава и улучшения питательных свойств мясных продуктов [36]. Модификация традиционных мясных продуктов может быть достигнута путем полной или частичной замены жира пищевыми волокнами [38]. Для взрослых рекомендуемая допустимая доза пищевых волокон составляет 28–36 г/сут, кроме того, 70–80 % должны составлять нерастворимые волокна. В мясных продуктах они выполняют множество функций, а именно увеличивают выход продукции, позволяют сохранить потребительские качества после обработки, заменяют жир и т.д. Пищевые волокна являются побочным продуктом сельского хозяйства, следовательно, эти ингредиенты сравнительно дешевле и их включение в рецептуры поможет снизить общие производственные затраты [76].

Разработка технологий таких продуктов может быть выгодной из-за спроса и прибыльности на рынке. Еще это принесет пользу для потребителей так, как ассортимент здоровой продукции увеличится и станет более доступным. Употребление здоровых продуктов питания будет служить профилактикой многих заболеваний, что снизит расходы на здравоохранение [77].

Библиографический список

1. Вопросы и ответы о канцерогенности красного и обработанного мяса от 26 октября 2015 года. Официальный сайт Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ). [Электронный ресурс: https://www.who.int/westernpacific/news/q-a-detail/q-a-on-the-carcinogenicity-of-the-consumption-of-red-meat-and-processed-meat Дата обращения: 17.09.2020].

Q&A: Cancer: Carcinogenicity of the consumption of red meat and processed meat, October 26, 2015. World Health Organization (WHO) official website. [Electronic resource: https://www.who.int/westernpacific/news/q-a-detail/q-a-on-the-carcinogenicity-of-the-consumption-of-red-meat-and-processed-meat Access date: 17.09.2020].

2. Henning, S. S. C. Physico-chemical properties of reduced-fat beef species sausage with pork back fat replaced by pineapple dietary fibres and water / S. S. C. Henning, P. Tshalibe, L. C. Hoffman // LWT. – 2016. – V. 74(1). – 92-98. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.007.

3. Schmiele, M. Dietary fiber as fat substitute in emulsified and cooked meat model system / M. Schmiele, M. C. C. Nucci-Mascarenhas, A. C. da Silva-Barretto, M. A. Rodrigues-Pollonio // LWT. – 2015. – V. 61(1). – 105-111. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.11.037.

4. Khajavi, M. Z. Functional Meat Products: The New Consumer's Demand / M. Z. Khajavi, K. Abhari, F. Barzegar, H. Hosseini //Current Nutrition & Food Science. – 2019. – V. 15(3). https://doi.org/10.2174/1573401315666190227161051.

5. Sarteshnizi, A. R. Study the effect of frying process on texture and color of prebiotic sausage produced by using of β -glucan and resistant starch / A. R. Sarteshnizi, H.Hosseini, Z. Amiri, R. Komeili, M. Azimi // Iranian Journal of Food Science and Technology. – 2017. – V. 14(66). – 165 - 174.

6. Garcia-Santos, M. de S. L. Effect of the addition of resistant starch in sausage with fat reduction on the physicochemical and sensory properties / M. de S. L. Garcia- Santos, F. S. Conceicao, F. Villas-Boas, B. M. Salotti de Souza, A. C. da S. Barretto // Food Science and Technology. – 2019. – V. 39(2). – 491-497. https://doi.org/10.1590/fst.18918.

7. Bohrer, B. M. An investigation of the formulation and nutritional composition of modern meat analogue products / B. M. Bohrer //Food Science and Human Wellness. – 2019. https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.11.006.

8. Tarte, R. Ingredients in Meat Products: Properties, Functionality and Applications / R. Tarte (ed.) // Springer Science + Business Media, LLC. – 2009. – 419. https://doi.org/10.1007/978-0-387-71327-4. – ISBN: 978-0-387-71326-7.

9. Babic, J. Application of starch based additives in meat industry/ Babic, J., Subaric, D., Ackar, D., Jozinovic, A., Milicevic, B., Pajin, B., Alicic, D. // Materials Science. – 2013. – V. 15(1). – 224-229. Corpus ID: 15001162.

10. Yazid, N. S. M. Application of Starch and Starch-Based Products in Food Industry / N. S. M. Yazid, N. Abdullah, N. Muhammad, H.-M. Matias-Peralta // Journal of Science and Technology. – 2018. – V. 10(2). – 144-174. https://doi.org/10.30880/jst.2018.10.02.023.

11. Vanitha, T. Role of Pectin in Food Processing and Food Packaging. In book Pectins - Extraction, Purification, Characterization and Applications / T. Vanitha, M. Khan // Books on Demand. – 2020. – 178. https://doi.org/10.5772/intechopen.83677.

12. Candogan, K. The effects of carrageenan and pectin on some quality characteristics of low-fat beef frankfurters/ K. Candogan, N. Kolsarici // Meat Science. – 2003. – V. 64(2). – 199-206. https://doi.org/10.1016/s0309-1740(02)00181-x.

13. Mendez-Zamora, G. Fat reduction in the formulation of frankfurter sausages using inulin and pectin / G. Mendez-Zamora, J. A. Garcia-Macias, E. Santellano-Estrada, A. Chavez-Martinez, L. A. Duran-Melendez, R. Silva-

Vazquez, A. Quintero-Ramos //Food Science and Technology (Campinas). – 2015. – V. 35(1). – 25-31. https://doi.org/10.1590/1678-457x.6417.

14. Kim, H. J. Functionality and Application of Dietary Fiber in Meat Products / H. J. Kim, H.-D. Paik // Korean Journal for Food Science of Animal Resources. – 2012. – V. 32(6). – 695-705. https://doi.org/10.5851/kosfa.2012.32.6.695.

15. Betancur-Ancona, D. Dietary Fiber in Meat Products: Functional and Bioactive Ingredient. In book: Dietary Fiber: Sources, Properties and their Relationship / D. Betancur-Ancona, L. Chel-Guerrero, M.R. Segura-Campos (ed.) // Nova Publishers Inc. – 2013. – 222. ISBN-13: 978-1628089318.

16. Verma, A. K. Dietary fiber as functional ingredient in meat products: a novel approach for healthy living – a review / A. K. Verma, R. Banerjee // Journal of Food Science and Technology. – 2010. – V. 47(3). – 247-257. https://doi.org/10.1007/s13197-010-0039-8.

17. Sharma, S. K. Utilization of Food Processing By-products as Dietary, Functional, and Novel Fiber: A Review / S. K. Sharma, S. Bansal, M. Mangal, A. K. Dixit, R. K. Gupta, A. K. Mangal // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2015. – V. 56(10). – 1647-1661. https://doi.org/10.1080/10408398.2013.794327.

18. Ibrahim, H. Application of Lemon and Orange Peels in Meat Products: Quality and Safety / H. Ibrahim, I. M. Hassan, A. A. M. Hamed // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. – 2018. – V. 7(04). – 2703-2723. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.704.309.

19. Yousefi, M. An overview of the functionality of inulin in meat and poultry products / M. Yousefi, N. Khorshidian, H. Hosseini // Nutrition & Food Science. – 2018. https://doi.org/10.1108/nfs-11-2017-0253.

20. Vasilev, D. Inulin as a prebiotic and fat replacer in meat products / D. Vasilev, V. Djordjevic, N. Karabasil, M. Dimitrijevic, Z. Petrovic, B. Velebit, V. Teodorovic // Theory and practice of meat processing. – 2017. – V. 2(2). – 4-13. – https://doi.org/10.21323/2414-438X-2017-2-2-4-13.

21. Keenan, D. F. Modelling the influence of inulin as a fat substitute in comminuted meat products on their physico-chemical characteristics and eating quality using a mixture design approach / D. F. Keenan, V. C. Resconi, J. P. Kerry, R. M. Hamill // Meat Science. – 2014. – V. 96(3). – 1384-1394. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.11.025.

22. Lin, K. C. Comparisons of Carboxymethyl Cellulose with Differing Molecular Features in Low-Fat Frankfurters / K. C. Lin, J. T. Keeton, C. L. Gilchrist, H. R. Cross // Journal of Food Science. – 1988. – V. 53(6). – 1592-1595. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1988.tb07792.x.

23. Schuh, V. Impact of carboxymethyl cellulose (CMC) and microcrystalline cellulose (MCC) on functional characteristics of emulsified sausages / V. Schuh, K. Allard, K. Herrmann, M. Gibis, R. Kohlus, J. Weiss // Meat Science. – 2013. – V. 93(2). – 240-247. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.08.025.

24. Apostu, P. M. Technological and sensorial role of yeast β-glucan in meat batter reformulations / P. M. Apostu, T. E. Mihociu, A. I. Nicolau // Journal of Food Science and Technology. – 2017. – V. 54(9). – 2653-2660. https://doi.org/10.1007/s13197-017-2696-3.

25. Szpicer, A. The influence of oat β-glucan content on the physicochemical and sensory properties of low-fat beef burgers / A. Szpicer, A. Onopiuk, A. Poltorak, A. Wierzbicka // CyTA – Journal of Food. – 2020. – V. 18(1). – 315-327. https://doi.org/10.1080/19476337.2020.1750095

26. Kurt, S. The Effects of Cereal and Legume Flours on the Quality Characteristics of Beef Patties / S. Kurt, O. Kilincceker // Kafkas Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi. – 2012. – V. 18(5). https://doi.org/10.9775/kvfd.2012.6013.

27. Kurt, S. The Effects of Grape Seed Flour on the Quality of Turkish Dry Fermented Sausage (Sucuk) during Ripening and Refrigerated Storage / S. Kurt // Korean journal for food science of animal resources. – 2016. – V. 36(3). – 300-308. https://doi.org/10.5851/kosfa.2016.36.3.300.

28. Hartmann, G. L. Addition of pumpkin peel flour affect physicochemical and sensory characteristics of bovine burger / G. L. Hartmann, A. M. Marconato, M. M. Romeiro-Santos, L. A. do Amaral, E. F. dos Santos, D. Novello // International Journal of Research – GRANTHAALAYAH. – 2020. – V. 8(2). – 254-263. https://doi.org/10.29121/granthaalayah.v8.i2.2020.216.

29. Salim, D. A. Detection of phosphates and hydroxyproline in some meat products / D. A. Salim, N. A. Abou El-Roos // Benha Veterinary Medical Journal. – 2013. – V. 25(1). – 1-9.

30. Alam, J. Effect of chitosan on quality and shelf life of beef at refrigerated storage / J. Alam, H. Murshed, S. Rahman, D. Oh // Bangladesh Journal of Animal Science. – 2018. – V. 46(4). – 230-238. https://doi.org/10.3329/bjas.v46i4.36963.

31. Kanatt, S. R. Effects of chitosan coating on shelf-life of ready-to-cook meat products during chilled storage / S. R. Kanatt, M. S. Rao, S. P. Chawla, A. Sharma // LWT. – 2013. – V. 53(1). – 321-326. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.01.019.

32. Kanatt, S. R. Chitosan and mint mixture: A new preservative for meat and meat products / S. R. Kanatt, R. Chander, A. Sharma // Food Chemistry. – 2008. – V. 107(2). – 845-852. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.08.088.

33. Han, M. Designing healthier comminuted meat products: Effect of dietary fibers on water distribution and texture of a fat-reduced meat model system / M. Han, H. C. Bertram // Meat Science. – 2017. – V. 133(1). – 159-165. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.07.001.

34. Biswas, A. K. Dietary fibers as functional ingredients in meat products and their role in human health / A. K. Biswas, V. Kumar, S. Bhosle, J. Sahoo, M. K. Chatli // International Journal of Livestock Production. – 2011. – V. 2(4). – 45-54.

35. Hygreeva, D. Potential applications of plant based derivatives as fat replacers, antioxidants and antimicrobials in fresh and processed meat products /

D. Hygreeva, M. C. Pandey, K. Radhakrishna // Meat Science. – 2014. – V. 98(1). – 47-57. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.04.006.

36. Gabiatti, Jr. C. Enzymatically Treated Spent Cellulose SausageCasings as an Ingredient in Beef Emulsion Systems / Jr. C. Gabiatti, S. M. V. Mejia, L.-T. Lim, B. M. Bohrer, R. C. Rodrigues, C. Prentice // Meat and Muscle Biology. – 2020. – V. 4(1). – 1-11. https://doi.org/10.22175/mmb.9875.

37. Talukder, S. Effect of Dietary Fiber on Properties and Acceptance of Meat Products: A Review / S. Talukder // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2015. – V. 55(7). – 1005-1011. https://doi.org/10.1080/10408398.2012.682230.

38. Bis-Souza, C. V. New strategies for the development of innovative fermented meat products: a review regarding the incorporation of probiotics and dietary fibers / C. V. Bis-Souza, F. J. Barba, J. M. Lorenzo, A. L. B. Penna, A. C. S. Barretto // Food Reviews International. – 2019. – V. 35(5). – 467-484. https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1584816.

39. Zinina, O. Enrichment of meat products with dietary fibers: a review / O. Zinina, S. Merenkova, D. Tazeddinova, M. Rebezov, M. Stuart, E. Okuskhanova, Zh. Yessimbekov, N. Baryshnikova // Agronomy Research. – 2020. – V. 17(4). – 387-39. https://doi.org/10.15159/AR.19.163.

40. Magallanes-Cruz, P. A. Starch Structure Influences Its Digestibility: A Review / P. A. Magallanes-Cruz, P. C. Flores-Silva, L. A. Bello-Perez // Journal of Food Science. – 2017. – V. 82(9). – 2016-2023. https://doi.org/10.1111/1750-3841.13809.

41. Gonzalez, C. Simulation of Human Small Intestinal Digestion of Starch Using an In Vitro System Based on a Dialysis Membrane Process / C. Gonzalez, D. Gonzalez, R. N. Zuniga, H. Estay, E. Troncoso // Foods. – 2020. – V. 9(913). – 1-22. https://doi.org/10.3390/foods9070913.

42. Englyst, H. N. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions / H. N. Englyst, S. M. Kingman, J. H. Cummings // European Journal of Clinical Nutrition. – 1992. – V. 46(2). – 33-50.

43. McCleary B. V. Measurement of available carbohydrates, digestible, and resistant starch in food ingredients and products / B. V. McCleary, C. McLoughlin, L. M.-J. Charmier, P. McGeough // Cereal Chem. – 2019. – 1-24. https ://doi.org/10.1002/cche.10208.

44. Ze X. Ruminococcus bromii is a keystone species for the degradation of resistant starch in the human colon / X. Ze, S. H. Duncan, P. Louis, H. J. Flint // The ISME Journal. – V. 6(8). – 2012. – 1535-1543. https://doi.org/10.1038/ismej.2012.4.

45. La Reau, A. J. Sequence-based analysis of the genus Ruminococcus resolves its phylogeny and reveals strong host association / A. J. La Reau, J. P. Meier-Kolthoff, G. Suen // Microbial Genomics. – 2016. – V. 2(12). – https://doi.org/10.1099/mgen.0.000099.

46. Lockyer, S. Health effects of resistant starch / S. Lockyer, A. P. Nugent // Nutrition Bulletin. – 2017. – V. 42(1). – 10-41.

47. Amini, A. Resistant Starch as a Bioactive Compound in Colorectal Cancer Prevention / A. Amini, L. Khalili, A. K. Keshtiban, A. Homayouni // Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics. – 2016. – 773-780. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-802189-7.00058-7.

48. Wong, T. H. T. The relationship between resistant starch and glycemic control: A review on current evidence and possible mechanisms / T. H. T. Wong, J. C. Y. Louie // Starch – Stärke. – 2016. – V. 69(7-8). https://doi.org/10.1002/star.201600205.

49. Jyoshna E. Study on resistant starch supplementation effect on total cholesterol: Review of literature / E. Jyoshna, T. V. Hymavathi // Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. – 2017. – V. 6(1). – 50-51.

50. Zaman, S. A. The potential of resistant starch as a prebiotic / S. A. Zaman, S. R. Sarbini // Critical Reviews in Biotechnology. – 2015. – 1-7. https://doi.org/10.3109/07388551.2014.993590.

51. Toden, S. High red meat diets induce greater numbers of colonic DNA double-strand breaks than white meat in rats: attenuation by high-amylose maize starch / S. Toden, A. R. Bird, D. L. Topping, M. A. Conlon // Carcinogenesis. – 2007. – V. 28(11). – 2355-2362. https://doi.org/10.1093/carcin/bgm216.

52. O'Callaghan, N. J. Colonocyte telomere shortening is greater with dietary red meat than white meat and is attenuated by resistant starch / N. J. O'Callaghan, S. Toden, A. R. Bird, D. L. Topping, M. Fenech, M. A. Conlon // Clinical Nutrition. – 2012. – V. 31(1). – 60-64. https://doi.org/10.1016/j.clnu.2011.09.003.

53. Nielsen, T. S. High-Amylose Maize, Potato, and Butyrylated Starch Modulate Large Intestinal Fermentation, Microbial Composition, and Oncogenic miRNA Expression in Rats Fed A High-Protein Meat Diet / T. S. Nielsen, Z. Bendiks, B. Thomsen, M. E. Wright, P. K. Theil, B. L. Scherer, M. L. Marco // International Journal of Molecular Sciences. – 2019. – V. 20(9). – 21-37. https://doi.org/10.3390/ijms20092137.

54. Peres, J. Resistant Starch May Reduce Colon Cancer Risk From Red Meat / J. Peres // JNCI: Journal of the National Cancer Institute. – 2014. – V. 106(10). https://doi.org/10.1093/jnci/dju341.

55. Felisberto, M. H. F. Effect of prebiotic ingredients on the rheological properties and microstructure of reduced-sodium and low-fat meat emulsions / M. H. F. Felisberto, M. T. E. L. Galvao, C. S. F. Picone, R. L. Cunha, M. A. R. Pollonio // LWT. – 2015. – V. 60(1). – 148–155. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.08.004.

56. Wang, X. Effect of resistant corn starch on the thermal gelling properties of chicken breast myosin / X. Wang, Y. Li, Y. Zhou, F. Ma, P. Li, C. Chen // Food Hydrocolloids. – 2019. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.06.013.

57. Sarteshnizi, A. R. Optimization of prebiotic sausage formulation: Effect of using β-glucan and resistant starch by D-optimal mixture design approach / A. R. Sarteshnizi, H. Hosseini, D. Bondarianzadeh, F. J. Colmenero, R. Khaksar // LWT. – 2015. – V. 62(1). – 704–710. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.05.014.

58. Garcia-Santos, M. de S. L. Effect of the addition of resistant starch in sausage with fat reduction on the physicochemical and sensory properties / M. de S. L. Garcia-Santos, F. S. Conceicao, F. Villas Boas, B. M. Salotti de Souza, A. C. da S. Barretto // Food Science and Technology. – 2019. https://doi.org/10.1590/fst.18918.

59. Seo, H.-W. Quality Properties of Sausages Made with Replacement of Pork with Corn Starch, Chicken Breast and Surimi during Refrigerated Storage / H.-W. Seo, G.-H. Kang, S.-H. Cho, H. V. Ba, P.-N. Seong // Korean Journal for Food Science of Animal Resources. – 2015. – V. 35(5). – 638–645. https://doi.org/10.5851/kosfa.2015.35.5.638.

60. BeMiller, J. N. Starch: Chemistry and Technology / J. N. BeMiller, R. L. Whistler // Academic Press. – 2009. – 894. ISBN: 9780127462752.

61. Dincer, E. A. Investigation of the Usability of Retrograded Flour in Meatball Production as A Structure Enhancer / E. A. Dincer, O. K. Buyukkurt, C. Candal, B.F. Bilgic, M. Erbas // Food science of animal resources. – 2018. – V.38(1). – 78-87. https://doi.org/10.5851/kosfa.2018.38.1.78.

62. Sanz, T. Resistant starch (RS) in battered fried products: Functionality and high-fibre benefit / T. Sanz, A. Salvador, S. M. Fiszman // Food Hydrocolloids. – 2008. – V. 22(4). – 543–549. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.01.018.

63. Baur, N. C. J. Use of resistant starches in coating compositions / N. C. J. Baur, K. S. Darley, L. P. Hazlett, J. P. Kallo, N. C. Patel // WO2014197976A1. – 2014. [Electronic resource: https://patents.google.com/patent/WO2014197976A1/en Access date: 17.09.2020].

64. Sarteshnizi, A. R. Frying Performance and Shelf Life of Prebiotic Sausage / A. R. Sarteshnizi, H. Hosseini, N. K. Khosroshahi, F. Shahraz, A. M. Khaneghah, M. Kamran, R. Komeili, E. Chiavaro // Food Technology and Biotechnology. – 2017. – V. 55(4). – 475-482. https://doi.org/10.17113/ftb.55.04.17.5479.

65. Khoozani, A. A. Resistant Starch Preparation Methods / A. A. Khoozani, J. Birch, E.-D. A. Bekhit // Reference Module in Food Science. – 2018. https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.22491-8.

66. Juansang, J. Effect of gelatinisation on slowly digestible starch and resistant starch of heat-moisture treated and chemically modified canna starches / J. Juansang, C. Puttanlek, V. Rungsardthong, S. Puncha-arnon, D. Uttapap // Food Chemistry. – 2012. – V. 131(2). – 500-507.

67. Sarawong, C. Effect of extrusion cooking on the physicochemical properties, resistant starch, phenolic content and antioxidant capacities of green banana flour / C. Sarawong, R. Schoenlechner, K. Sekiguchi, E. Berghofer, P. K. W. Ng // Food Chemistry. – 2014. – V. 143 (1). – 33-39.

68. Reddy, C. K. Physico-chemical and functional properties of Resistant starch prepared from red kidney beans (Phaseolus vulgaris. L) starch by enzymatic method / C. K. Reddy, M. Suriya, S. Haripriya // Carbohydrate Polymers. – 2013. – V. 95(1). – 220-226.

69. Cai, L. Structure and digestibility of crystalline short-chain amylose from debranched waxy wheat, waxy maize, and waxy potato starches / L. Cai, Y.-C. Shi // Carbohydrate Polymers. – 2010. – V. 79(4). – 1117-1123.

70. Pospiech, M. Detection of native starches in meat products using histochemical Lugol Calleja method / M. Pospiech, M. Petrasova, B. Tremlova, Z. Randulova // Potravinarstvo. – 2014. – V. 8(1). – 77-81. https://doi.org/10.5219/335.

71. Eliasova, M. Native and modified starches in meat products – detection of raw materials using microscopy methods / M. Eliasova, M. Pospiech, B. Tremlova, K. Kubickova, J. Jandasek // Maso-International. – 2012. – V. 2. – 101-106.

72. ГОСТ 10574-2016 «Продукты мясные. Методы определения крахмала (Издание с Поправкой)». – М.: Стандартинформ, 2019. – 12 с.

GOST 10574-2016 «Meat products. Methods for determination of starch». – M.: Standartinform, 2019. – 12 p.

73. McCleary, B. V. Measurement of Starch: Critical Evaluation of Current Methodology / B. V. McCleary, L. M. J. Charmier, V. A. McKie // Starch – Starke. – 2018. https://doi.org/10.1002/star.201800146.

74. McCleary, B. V. Resistant starch assay procedure k-rstar 05/19 (100 Assay Kit) AOAC Method 2002.02+AACC Method 32-40.01+Codex Type II Method / B. V. McCleary // Megazyme. – 2019. – 16. [Electronic resource: https://www.megazyme.com/documents/Booklet/K-RSTAR_DATA.pdf Access date: 17.09.2020].

75. Кузина, Л. Б. Крахмал и крахмалопродукты. Методика определения степени резистентности крахмала и крахмалопродуктов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии / Л. Б. Кузина, Н. Д. Лукин, Е. К. Коптелова, Л. Г. Кузьмина // свидетельство ВНИИМС № МС16/12603 от 20 ноября 2019 г. – номер государственной регистрации № 103-201/RA.RU311787-2016/2019.

Kuzina, L. B. Starch and starch products. Methodology for determining starch and starch products resistance degree by high performance liquid chromatography / L. B. Kuzina, N. D. Lukin, E. K. Koptelova, L. G. Kuzmina // certificate of ARRIMS № MC16/12603 November 20, 2019. – state registration number № 103-201/RA.RU311787-2016/2019.

76. Mehta, N. Development of Dietary Fiber-Rich Meat Products: Technological Advancements and Functional Significance Bioactive Molecules in Food / N. Mehta, M. K. Chatli, P. Kumar, O. P. Malav, D. Kumar // Reference Series in Phytochemistry. – 2018. https://doi.org/10.1007/978-3-319-54528-8_9-1.

77. Aquino, J. de S. Models to Evaluate the Prebiotic Potential of Foods / J. de S. Aquino, K. S. Batista, F. N. D. D. Menezes, P. P. Lins, J. A. de S. Gomes, L. A. da Silva // Functional Food - Improve Health through Adequate Food. – 2017. https://doi.org/10.5772/intechopen.69174.

Контакты:

Кузина Лидия Борисовна

kulibo.kavai@yandex.ru
Кузьмина Любовь Григорьевна
kuzmina.lubov.grigorevna@mail.ru
Копыльцов Анатолий Александрович
kopylan@arrisp.ru