

УДК 664.9.03

Научный обзор



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-403-02-135-148

Н.А. Горбунова**М.Б. Ребезов** ✉**М.И. Бабурина***Федеральный научный центр
пищевых систем им. В.М. Горбатова
Российской академии наук, Москва,
Россия*✉ m.rebezov@fnscps.ru

Поступила в редакцию: 01.11.2025

Одобрена после рецензирования: 13.01.2026

Принята к публикации: 28.01.2026

© Горбунова Н.А., Ребезов М.Б.,
Бабурина М.И.

Роль факторов, влияющих на формирование вкуса и аромата мясных изделий (обзор, часть 1-я)

РЕЗЮМЕ

Первая часть научного обзора посвящена анализу молекулярных механизмов и ключевых химических соединений, определяющих формирование вкусоароматических характеристик мясных изделий при термической обработке. Основное внимание уделено биохимическим путям генерации летучих ароматических веществ, среди которых центральное место занимают реакция Майяра между редуцирующими сахарами и аминокруппами аминокислот (пептидов), а также окисление липидов, преимущественно фосфолипидов. Отмечена роль деградации по Штрекеру и термического разложения тиамин как источников специфических серосодержащих и гетероциклических соединений.

Проанализировано взаимодействие между продуктами реакции Майяра и окисления липидов, приводящее к образованию широкого спектра гетероциклических соединений (пиразинов, тиазолов, тиофенов, фуранов), детерминирующих видовой аромат мясных изделий. Установлена модулирующая роль фосфолипидов, которые не только служат основным источником летучих карбонильных соединений, но и выступают в качестве регулятора, оптимизирующего состав ароматического букета посредством контроля образования серосодержащих гетероциклов.

Рассмотрены нейрофизиологические основы сенсорного восприятия с акцентом на доминирующую роль ретроназального обоняния, интегрирующегося со вкусовыми и соматосенсорными сигналами в ЦНС человека. Сделан вывод, что органолептический профиль представляет собой результат синергетического взаимодействия сложной системы химических реакций между водорастворимыми прекурсорами и липидной фракцией, зависящего от биохимического состава сырья животного происхождения и параметров технологической обработки мяса.

Ключевые слова: реакция Майяра, деградация липидов, мясной аромат и вкус; химия вкуса, вкусовой фактор, анализ вкусовых качеств, летучие ароматические компоненты, мясные продукты

Для цитирования: Горбунова Н.А., Ребезов М.Б., Бабурина М.И. Роль факторов, влияющих на формирование вкуса и аромата мясных изделий (обзор, часть 1-я). *Аграрная наука*. 2026; 403(02): 135–148.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-403-02-135-148>

Review



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-403-02-135-148

Natalia A. Gorbunova**Maksim B. Rebezov** ✉**Marina I. Baburina***Gorbatov Federal Research Center for
Food Systems, Moscow, Russia*✉ m.rebezov@fnscps.ru

Received by the editorial office: 01.11.2025

Accepted in revised: 13.01.2026

Accepted for publication: 28.01.2026

© Gorbunova N.A., Rebezov M.B.,
Baburina M.I.

The role of factors influencing the formation of taste and aroma of meat products (review, part 1)

ABSTRACT

The first part of the scientific review is devoted to the analysis of molecular mechanisms and key chemical compounds that determine the formation of flavor and aroma characteristics in meat products during thermal processing. Primary focus is placed on the biochemical pathways generating volatile aromatic substances, with central roles attributed to the Maillard reaction between reducing sugars and amino groups of amino acids/peptides, as well as lipid oxidation, primarily of phospholipids. The significance of Strecker degradation and thermal decomposition of thiamine as sources of specific sulfur-containing and heterocyclic compounds is highlighted.

The interaction between Maillard reaction products and lipid oxidation products is analyzed, demonstrating how it leads to the formation of a wide spectrum of heterocyclic compounds (pyrazines, thiazoles, thiophenes, furans) that determine the species-specific aroma of meat products. The modulating role of phospholipids is established; they not only serve as the main source of volatile carbonyl compounds but also act as regulators, optimizing the aromatic bouquet by controlling the formation of sulfur-containing heterocycles.

The neurophysiological basis of sensory perception is examined, emphasizing the dominant role of retronasal olfaction, which integrates with gustatory and somatosensory signals in the central nervous system. It is concluded that the organoleptic profile results from the synergistic interaction of a complex system of chemical reactions between water-soluble precursors and the lipid fraction, dependent on the biochemical composition of the animal raw material and meat processing parameters.

Key words: Maillard reaction, lipid degradation, meat aroma and flavor, taste chemistry, taste factor, taste analysis, volatile aroma components, meat products

For citation: Gorbunova N.A., Rebezov M.B., Baburina M.I. The Role of Factors Affecting the Formation of Taste and Aroma of Meat Products (review, part 1). *Agrarian science*. 2026; 403(02): 135–148 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-403-02-135-148>

Введение/Introduction

Важные потребительские характеристики пищевых продуктов, в том числе на основе мясных, — вкус и аромат. В связи с растущей потребностью в полноценных продуктах питания, сохраняя при этом вкусовые качества, пищевая промышленность ищет новые способы влияния на вкус продуктов питания. Исследования, направленные на понимание химического состава мясного аромата, а также на определение факторов, влияющих на вкусовые качества при производстве и переработке мяса, активно развиваются с учетом совершенствования технологий, использования различных вкусоароматических добавок, пожеланий потребителей [1].

Ароматические соединения вносят свой вклад в ароматический профиль мяса и заметно влияют на восприятие вкуса [2]. Сырое мясо почти не имеет аромата, а большинство ароматических соединений в мясе образуются в процессе нагревания. Вкусовые качества являются одной из важнейших качественных характеристик мясных продуктов, а также ключевым фактором, влияющим на общую приемлемость мясных продуктов. Аромат мясных продуктов формируется прекурсорами, претерпевающими ряд сложных реакций при тепловой обработке [3, 4]. Так, исследования показывают, что между вкусом говядины и ее приемлемостью для потребителей существует тесная взаимосвязь. Даже более выраженная, чем между сочностью или нежностью [1, 5].

Во время переработки, приготовления и хранения мяса происходит серия сложных термических реакций между нелетучими компонентами постной ткани и жировой, в результате которых образуется большое количество продуктов реакции. Хотя на вкус приготовленного мяса влияют соединения, влияющие на восприятие вкуса, именно летучие соединения, образующиеся в процессе приготовления, определяют ароматические свойства и в наибольшей степени придают мясу характерный вкус. Ключевыми факторами, влияющими на вкус мяса, являются продукты реакции Майяра, продукты окисления липидов и ряд аминокислот, пептидов и нуклеотидов [6]. Эти соединения взаимодействуют, создавая различные ароматы, вкусы и общие вкусовые характеристики, которые отличают различные виды мяса и определяют их приемлемость для потребителей [3, 4, 7].

Важной фракцией в синтезе летучих веществ является жировая ткань, которая претерпевает превращения, приводящие к образованию множества реакционноспособных веществ, таких как кислоты, спирты, альдегиды или кетоны [7].

Кровяной, металлический и соленый вкус со слегка сладковатым ароматом, как правило, является уникальной характеристикой свежего сырого мяса. Его аромат напоминает сыворотку крови. Однако во время приготовления во вкусе мяса происходят значительные изменения [8, 9].

Основными реакциями, участвующими в приготовлении, которые отвечают за развитие вкуса, являются реакция Майяра, термическое расщепление липидов и взаимодействие Майяра с липидами [10]. Вкус и аромат развиваются во время приготовления посредством сложных реакций между компонентами, содержащимися в сыром мясе, в сочетании с теплом. Вклад отдельных летучих соединений в формирование характерного вкуса различен. Лишь небольшая часть этого огромного числа летучих соединений, содержащихся в пищевых продуктах, способствует формированию вкуса [11].

Изучение литературы, анализирующей летучие соединения, содержащиеся в мясе, показывает, что были идентифицированы более 1000 летучих соединений, при этом в говядине их обнаружено больше, чем в других видах мяса [7]. Поэтому крайне важно отделять ароматоактивные соединения от других непахучих компонентов пищи [12].

Достоверная идентификация этих веществ, находящихся в сложной смеси с очень низким содержанием компонентов, осуществляется, как правило, методами масс-спектрометрического анализа [13, 14]. Так, в недавно выполненном A. Sohail *et al.* исследовании обобщены результаты исследований за последние 40 лет и проведена оценка 332 запаховых веществ, обнаруженных в термически приготовленном мясе с помощью GC-O [15].

Анализ ароматизирующих компонентов сырья и пищевых продуктов представляет собой сложную аналитическую задачу, поскольку возникает необходимость в достоверном определении близких по физико-химическим свойствам сотен химических веществ сложного органического строения, содержание которых может находиться на достаточно низком (порядка 0,001 мг/кг) уровне и даже быть ниже чувствительности применяемого метода. Такие вещества распределены по объему аналита и проявляют вкусоароматические свойства, как правило, синергетически, усиливая или ослабляя оттенки вкуса. Источниками их образования в продукции животного происхождения являются входящие в них и претерпевающие изменения при переработке и хранении белки, жиры и углеводы, а также привносимые компоненты специй, витаминов, ароматизаторов, реопротекторов и других ингредиентов [16].

Источниками значительного количества образующихся веществ могут выступать животные белки и их фракции, общее содержание которых в мясных продуктах составляет 10–21%, а также липиды, содержание которых может быть больше 2–55% [17, 18].

Данный обзор направлен на выявление, сопоставление и синтез результатов эмпирических исследований, посвященных анализу механизмов и химических соединений, формирующих и придающих аромат и вкус мясным продуктам, прошедшим термическую и альтернативную

нетермическую обработку с оценкой сенсорики восприятия запаха и вкуса человеком.

**Материалы и методы исследования /
Materials and methods**

Для достижения вышеуказанной цели были отобраны публикации, содержащие систематизированные данные, представленные в научных статьях, опубликованных на английском и русском языках с 1983 г. по ноябрь 2025-го в базах Google Scholar¹, Science Direct², eLibrary³ — Базе данных (РИНЦ), Scopus⁴, Sci-Hub⁵, PubMed⁶, направленные на анализ и обобщение существующей доказательной базы механизмов, участвующих в образовании ароматических соединений в мясе при

термической обработке, включая окисление липидов, реакцию Майяра и реакцию разложения Штеклера, взаимодействие липидов.

Отобранные статьи были тщательно проанализированы, чтобы оценить и систематизировать факторы, определяющие механизм, факторы и ключевые ароматические соединения, образующиеся в процессе нагревания при технологической обработке мясного сырья.

Процесс отбора научных публикаций, проведенный авторами с целью минимизации предвзятости, включал определение критериев и исключения данных (рис. 1).

Научный обзор был разбит на части и разделы, представленные в таблице 1.

Рис. 1. Определение критериев отбора опубликованных научных работ
Fig. 1. Definition of criteria for selection of published scientific publications

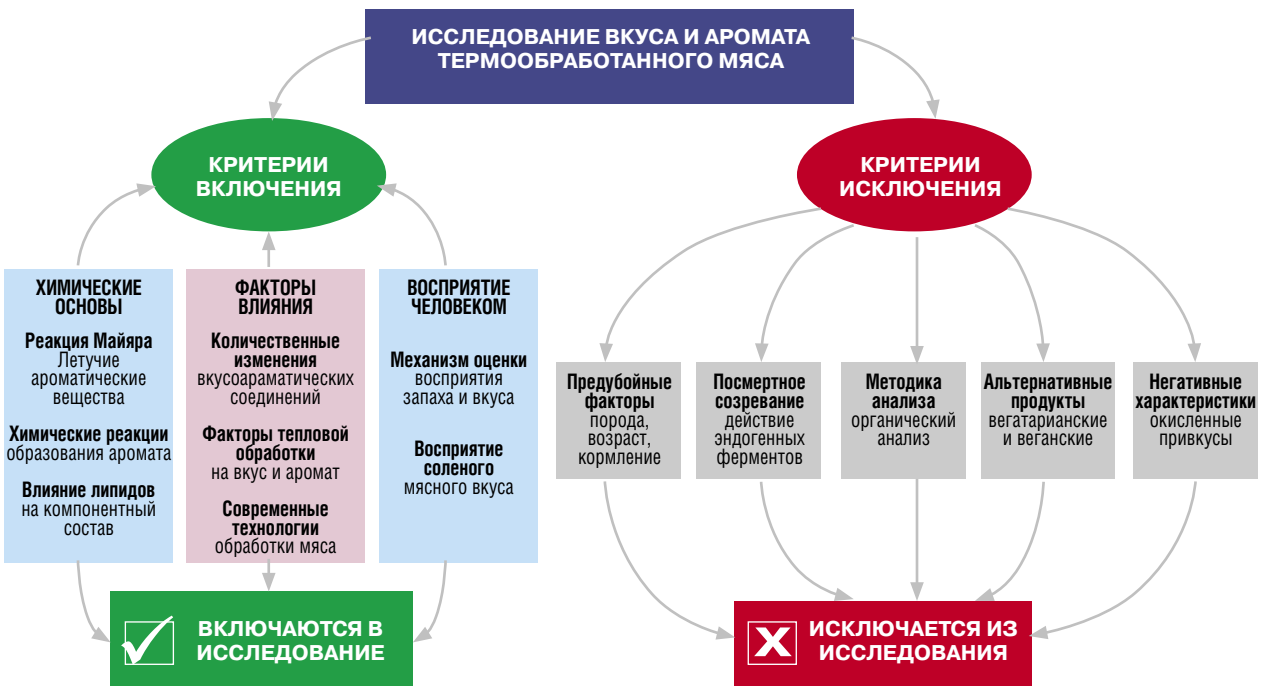


Таблица 1. Структура научного обзора «Роль факторов, влияющих на формирование вкуса и аромата мясных изделий»
Table 1. Structure of the scientific review “The Role of Factors Influencing the Formation of Taste and Aroma of Meat Products”

№ части обзора	Наименование раздела научного обзора	Примечание
1	1. Восприятие запаха и вкуса человеком	-
	2. Летучие вещества, образующиеся в результате реакции Майяра	
	3. Взаимодействие липидов и реакция Майяра при приготовлении мяса	
	4. Фосфолипиды и мясной аромат. Влияние фосфолипидов на летучие вещества в модельных реакционных системах Майяра	
2	5. Соединения, придающие аромат и вкус мясным продуктам, подвергнутым термической обработке	Часть 2-я будет опубликована в следующем номере журнала «Аграрная наука»
	6. Вкусоароматические вещества и восприятие солёности	
	7. Влияние нетермических методов обработки на вкус и аромат мясных продуктов	
	8. Фактор животноводства при формировании вкуса мяса	

¹ URL: <https://scholar.google.com/>
² URL: <https://www.sciencedirect.com/>
³ URL: <https://elibrary.ru/>
⁴ URL: <https://www.elsevier.com/products/scopus>
⁵ URL: <https://sci-hub.ru/>
⁶ URL: pubmed.ncbi.nlm.nih.gov

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Часть 1

1. Восприятие запаха и вкуса человеком

Восприятие запаха — сложный сенсорный процесс, включающий в себя обнаружение летучих молекул обонятельными рецепторами в полости носа. Эти одоранты попадают в обонятельный эпителий двумя основными путями — ортоназальным (через ноздри во время обнюхивания) и ретроназальным (из полости рта во время приема пищи и глотания). Хотя оба пути стимулируют одни и те же рецепторы, мозг обрабатывает их по-разному. Ортоназальное обоняние играет ключевую роль в ожидании приема пищи и предотвращении опасности перед употреблением, в то время как ретроназальное обоняние непосредственно влияет на восприятие вкуса во время употребления [19].

Исследования с помощью нейровизуализации показали, что ретроназальное обоняние активирует области мозга, связанные со вкусом, такие как островковая кора и орбитофронтальная кора, подчеркивая их интеграцию с вкусовыми и соматосенсорными сигналами [20]. Геном человека содержит около 400 функциональных генов обонятельных рецепторов [21]. Каждый обонятельный рецептор способен связываться с определенным набором молекул одоранта, и, наоборот, отдельные одоранты могут стимулировать множество рецепторов. Этот сложный, перекрывающийся паттерн взаимодействий рецептор-лиганд в сочетании с генетическим разнообразием индивидуумов позволяет обонятельной системе человека распознавать от 10 тыс. до 1 трлн различных летучих соединений [22].

Значительная часть того, что мы обычно воспринимаем как вкус, по оценкам, составляет от 75 до 95%, на самом деле является результатом обоняния [23]. Запах играет важную роль в формировании памяти благодаря уникальным нервным путям, которые напрямую соединяют обонятельную систему с эмоциональными центрами мозга и центрами памяти, такими как миндалевидное тело и гиппокамп. Это объясняет, почему запахи часто вызывают яркие, эмоционально насыщенные воспоминания более эффективно, чем другие чувства. При приеме пищи такие ассоциации в обонятельной памяти существенно влияют на долгосрочные вкусовые предпочтения, особенно если они связаны с сильными эмоциональными или физиологическими переживаниями. Благодаря многократному воздействию и усвоенным ассоциациям запахи становятся неотъемлемой частью формирования индивидуальных вкусовых качеств и диетических привычек [24]. Хотя запах во многом определяет вкус, в первую очередь вкус отвечает за определение основных химических свойств, которые сигнализируют о питательности или потенциальной опасности.

Вкус — сенсорная функция, которая включает в себя распознавание химических веществ, связанных с пищей, с помощью рецепторных клеток, расположенных во вкусовых рецепторах [25, 26]. Вкусы возникают в результате сложного взаимодействия вкусовых ощущений, тактильных ощущений и ароматов, совместно воспринимаемых языком, носовыми пазухами и ротовой полостью [1].

Каждая вкусовая рецепторная клетка состоит из 50–150 специализированных эпителиальных клеток, включая рецепторные, опорные и базальные клетки, которые встроены в эпителий языка и открываются в ротовую полость через небольшую пору. Эта вкусовая пора служит местом, где переносимые слюной вкусовые вещества взаимодействуют с микроворсинками на рецепторных клетках, инициируя преобразование химических раздражителей в нервные сигналы [27].

Вкус в первую очередь выполняет две ключевые функции: оценивает пищевые продукты как с точки зрения безопасности, так и с точки зрения питательной ценности и инициирует физиологические реакции, которые подготавливают организм к перевариванию [25, 28]. Знакомые продукты помогают организму предвидеть метаболические последствия, основываясь на предыдущем опыте, в то время как новые продукты задействуют процессы обучения, которые улучшают восприятие вкуса и диетическое поведение [25]. Это способствует получению удовольствия и стимулирует потребление в будущем как за счет внутреннего удовольствия, так и за счет обратной связи о питании [25, 28].

Вкусовые стимулы обычно высвобождаются во время жевания, когда пища растворяется в слюне и подвергается предварительному ферментативному перевариванию такими ферментами, как амилаза и липаза [29]. Эти процессы помогают высвободить химические вещества, придающие вкус, которые активируют специфические рецепторные клетки во вкусовых рецепторах. Люди, как и другие всеядные животные, распознают необходимые питательные вещества и потенциальные токсины с помощью пяти основных вкусовых ощущений: сладкого, соленого, кислого, умами и горького [28].

Сладость обычно ассоциируется с простыми углеводами; умами образуется из таких аминокислот, как глутамат и аспартат, а также некоторых рибонуклеотидов; соленый вкус придают натрий и другие катионные соли. Кислотность воспринимается как кислое, в то время как многие природные токсины и соединения растительного происхождения придают горький вкус, часто вызывая врожденную реакцию отвращения [28, 29].

2. Летучие вещества, образующиеся в результате реакции Майяра

Первичная реакция, участвующая в образовании ароматических соединений в мясе при термической обработке, включает окисление липидов, реакцию Майяра и реакцию разложения

Штекера, взаимодействие липидов, реакцию Майяра и деградацию тиамин [26, 30, 31]. Из-за внутримышечного введения липидов многие ароматические соединения могут быть идентифицированы в высоких концентрациях даже в сухой мышечной массе [32]. Некоторые линейные альдегиды, спирты, кетоны и кислотные соединения рассматриваются как побочные продукты окисления липидов.

Реакция Майяра — это комплекс сложных взаимодействий между редуцирующими сахарами и аминокетонами в процессе переработки и хранения пищевых продуктов, который является одним из наиболее важных путей получения разнообразных вкусовых и ароматических веществ в приготовленных пищевых продуктах, включая мясо. Эта реакция является сложной и приводит к образованию большого количества соединений, которые придают готовым пищевым продуктам улучшенный аромат, цвет, вкус и антиоксидантные свойства [7, 33].

Известно, что продуктами термического разложения аминокислот белков, входящих в состав всех пищевых продуктов, кроме CO_2 и NH_3 , являются органические соединения. Например, аланин может образовывать этиламин, 2-метил-5-этилпиридин, бутен-2; валин — изобутилен, диизобутиламин, ацетон; лейцин — 3-метилбутен-1, N-изобутилденизоамиламин, изомаляновый альдегид и другие вещества [34].

Начальные стадии реакции были изучены довольно подробно и включают конденсацию карбонильной группы редуцирующего сахара с аминокислотой с образованием гликозиламина. Впоследствии происходят перегруппировка и обезвоживание, в результате чего дезоксиозоны, к различным продуктам дегидратации и разложения сахаров, таким как производные фурфурола и фуранона, гидроксикетоны и дикарбонильные соединения. Хотя эта реакция обсуждалась во многих исследовательских работах, интересно отметить, что механизм, предложенный Ходжем в 1953 году, всё еще обеспечивает основу для нашего понимания ранних стадий этой реакции [35].

Последующие стадии реакции Майяра включают взаимодействие этих соединений с другими реакционноспособными компонентами, такими как амины, аминокислоты, альдегиды, сероводород и аммиак. Именно на этих стадиях образуются ароматические соединения, которые характеризуют приготовленные продукты и, следовательно, представляют особый интерес для химиков-ароматизаторов. Важной сопутствующей реакцией является расщепление аминокислот по Штрекеру дикарбонильными соединениями, образующимися в реакции Майяра.

Деградация по Штрекеру — это химическая реакция, происходящая при деградации аминокислот в присутствии дикарбонильных соединений, образующихся в ходе реакции Майяра. В результате образуются альдегиды, которые

играют ключевую роль в аромате приготовленного мяса [36]. Свободные аминокислоты, особенно серные, такие как цистеин и метионин, являются основными субстратами в реакциях Майяра и реакции деградации Штрекера [37].

Аминокислота декарбоксилируется и дезаминируется с образованием альдегида, в то время как дикарбонил превращается в аминокетон или аминокислотспирт. Если аминокислотой является цистеин, деградация Штрекера может привести к образованию сероводорода, аммиака и ацетальдегида. Эти соединения вместе с карбонильными соединениями, образующимися в результате реакции Майяра, являются богатым источником промежуточных продуктов для дальнейших реакций формирования вкуса. Это приводит к образованию многих важных классов ароматических соединений, включая фураны, пирразины, пирролы, оксазолы, тиофены, тиазолы и другие гетероциклические соединения. Соединения серы, полученные из рибозы и цистеина, по-видимому, особенно важны для придания мясу характерного аромата. В мясе основными источниками рибозы являются инозинмонофосфат и другие рибонуклеотиды [7, 33].

Взаимодействие сахаров с серными аминокислотами приводит к образованию многих ключевых летучих соединений с характерными мясными нотками вкуса [38].

В результате реакции Штрекера фенилаланин распадается до фенилацетальдегида, характеризующегося слегка сладковатым вкусом и медовым запахом, тогда как метионин распадается до метионаля с типичным запахом вареного картофеля [39].

Процессы гликогенолиза и гликолиза, происходящие в мясе, приводят к синтезу глюкозы и глюкозо-6-фосфата, тогда как распад АТФ приводит к образованию рибозы и рибозо-5-фосфата. Сахара образуют множество летучих соединений в реакциях с аминокислотами. Например, глюкоза образует пирразины с лизином [40], а рибоза образует множество ключевых серосодержащих соединений с цистеином, таких как 2-фуранметантиол, 3-меркапто-2-пентанон, 2-метил-3-фурантиол, 3-меркапто-2-бутанон, бис(2-метил-3-фурил) дисульфид, 2-ацетил-2-тиазолин, 1-меркапто-2-пропанон и 3-метил-3-тиофентиол [41, 42].

В процессе приготовления пищи в результате реакции Майяра могут образовываться сотни различных ароматических соединений в зависимости от химического состава продуктов, температуры, времени приготовления и наличия воздуха. Эти соединения в свою очередь часто распадаются, образуя еще большее количество ароматических соединений. Медленное приготовление при низкой температуре приводит к образованию преимущественно продуктов распада липидов, в то время как быстрое приготовление при высокой температуре — к образованию большего количества продуктов реакции Майяра [1, 43].

По оценкам Т. Hofmann *et al.*, только 3% из примерно 10 тыс. идентифицированных летучих соединений способны придавать запах пищевым продуктам [44].

На протяжении многих лет реакция Майяра используется для создания искусственных ароматизаторов, большинство патентов связаны с производством ароматизаторов, имитирующих вкус мяса [43]. Реакция Майяра в основном ответственна за производство гетероциклических соединений, таких как пиразин и фуран. Многочисленные реакции, возникающие в результате термического разложения и окисления липидов, приводят к образованию ароматических соединений из нелетучих водорастворимых прекурсоров и липидов [32].

Примечательно, что цвет, выход и типы образующихся вкусовых соединений определяются конкретными условиями, в которых протекает реакция Майяра, такими как температура, pH и влажность [45, 46].

Реакция Майяра не ограничивается простыми сахарами и аминокислотами и может включать пептиды. Пептиды с молекулярной массой от 1000 до 5000 усиливают вкусовые качества мяса посредством реакции Майяра [47]. Эти пептиды играют ключевую роль в формировании вкуса умами и вносят вклад в общую вкусовую привлекательность мяса [48].

3. Взаимодействие липидов и реакция Майяра при приготовлении мяса

Компонентный состав вкусоароматических веществ мясной продукции определен широким набором органических веществ, которые в общей совокупности формируют вкусовую гамму пищевой продукции. Важнейшими вкусоароматическими компонентами выступают природные липиды, содержащиеся во всех видах пищевой продукции в основном как соединения жирных кислот. Это свойство жиров связано с двумя основными компонентами — триглицеридами, локализованными в жировой ткани и межмышечных жировых клетках и являющимися растворителем для многих ароматических веществ, и фосфолипидами, расположенными в мембранах миофибрилл [49]. В процессе переработки мяса жиры подвергаются двум основным превращениям — липолизу и окислению. Интенсивность протекания этих изменений зависит от множества факторов, включая вид и продолжительность технологической обработки. Природные липиды являются неотъемлемой частью пищевых композиций и представляют собой смесь триглицеридов формулы:



где $R_{1,2,3}$ — остатки предельных, моно- и полиненасыщенных жирных кислот.

Липолиз из различных молекул липидов является независимым, в основном катализируемым кислотными липазами, нейтральными липазами и фосфолипазами, которые получают из эндогенной мышечной ткани и микроорганизмов. Эндогенные липазы включают липопроteinлипазу, чувствительную к гормону липазу, моноацилглицероллипазу и лизосомальную кислотную липазу [3, 50].

Наличие в продуктах питания жиров от 1 до более 50% приводит к формированию в ароматизирующей фракции пула химических веществ запахов значительного количества жирных кислот и их эфиров, которые во многом оказывают синергический эффект на органолептические характеристики. Значительную долю в такой композиции занимают эфиры пальмитиновой, стеариновой и олеиновой жирных кислот [51–53].

Насыщенные и ненасыщенные альдегиды, образующиеся в результате автоокисления липидов, вносят основной вклад в летучий состав приготовленного мяса. Реакции между карбонильными соединениями и амино- и тиольными группами являются важными этапами реакции Майяра как на начальных стадиях, так и при образовании ароматических соединений на более поздних стадиях. Таким образом, можно предположить, что альдегиды липидного происхождения могут участвовать в реакции Майяра во время приготовления мяса.

Среди летучих веществ, которые были обнаружены в мясе, есть ряд соединений, которые могут образовываться в результате взаимодействия липидов в реакции Майяра [15, 54]. Сообщалось о нескольких тиазолах с C&s n-алкильными заместителями во втором положении в ростбифе [55] и жареной курице [56]. Сообщалось о других алкилтиазолах с гораздо более длинными 2-алкильными заместителями (C1s–C15), которые содержатся в летучих веществах разогретой говядины и курятины [7], причем их наибольшие концентрации наблюдаются в говяжьей сердечной мышце.

Недавно более 50 алкил-3-тиазолинов и алкилтиазолов были выделены из вареной говядины, полученной от крупного рогатого скота, которого кормили рационами, содержащими добавки с рыбьим жиром [57]. Оказалось, что они легче образуются в мясе, приготовленном под давлением, чем в мясе, приготовленном на гриле. Хотя многие из тиазолов и 3-тиазолинов присутствовали в мясе крупного рогатого скота, получавшего обычную пищу, концентрация 3-тиазолинов в мясе крупного рогатого скота, получавшего добавки с рыбьим жиром, была значительно выше, чем в контрольных образцах.

В приготовленном мясе животных, которых кормили рыбьим жиром, содержались значительно более высокие концентрации насыщенных и ненасыщенных альдегидов, чем в мясе контрольной группы. По-видимому, алифатические альдегиды обеспечивают длинные n-алкильные группы

для этих соединений. Пути образования тиазола в разогретых пищевых продуктах с участием альдегидов, гидроксикетонов, аммиака и сероводорода уже обсуждались, и разумно предположить, что альдегиды, образующиеся в результате окисления липидов, могут участвовать в этих реакциях с образованием длинноцепочечных 2-алкилтиазолов. Алкилтиазолы, содержащие алкильные группы C₃–C₅, требуют альдегидов C₁₄–C₁₆, и наиболее вероятным источником их являются плазмалогены, которые содержат длинноцепочечные алкениловые эфирные заместители, которые гидролизуются с образованием жирных альдегидов [58].

Сердечная мышца содержит более высокие концентрации плазмалогенов, что объясняет более высокий уровень этих алкилтиазолов, содержащихся в разогретом говяжьем сердце. Сообщалось о наличии алкилпиридинов в бараньем жире для жарки [59], включая 2-пентилпиридин, который был обнаружен во всех других основных видах мяса. Реакция 2,4-декадиенала с аммиаком является вероятным путем образования 2-пентилпиридина.

Связанные реакции между диеналами и сероводородом могут быть ответственны за образование 2-алкилтиофенов с алкильными заместителями C₄–C₈ в говядине, приготовленной под давлением. Другие гетероциклические соединения с длинными n-алкильными заместителями, обнаруженные в мясе, включают бутил- и пентилпиразины. Было высказано предположение, что они могут образовываться в результате реакции пентанала или гексанала с дигидропирозином, образующимся при конденсации двух молекул аминокетона [7].

Пентанал и гексанал, по-видимому, участвуют в образовании 5-бутил-3-метил-1,2,4-третиолана и его 5-пентильного гомолога, которые, как сообщалось, содержатся в жареной курице [60] и свинине [61]. Третиоланы могут образовываться из альдегидов и сероводорода, и в качестве способа получения этих бутиловых и пентилтретиоланов было предложено взаимодействие сероводорода, ацетальдегида и пентанала или гексанала [62].

Об ароматических характеристиках сообщалось только для нескольких из этих алкилзамещенных гетероциклических соединений, но те, которые были исследованы, позволяют предположить, что они могут усиливать жирный и жареный аромат мяса [62]. Анализ запаха алкил-3-тиазолинов и алкилтиазолов, недавно обнаруженных в говядине, показывает, что они не обладают низкими пороговыми значениями запаха и, следовательно, могут не оказывать существенного влияния на запах [57]. Однако образование этих соединений обеспечивает конкурирующие реакции для промежуточных продуктов реакций формирования аромата, связанных с реакцией Майяра, и, таким образом, может модифицировать и контролировать образование желаемых ароматических соединений.

Реакция Майяра, протекающая между редуцирующими сахарами и аминокислотами во время приготовления, особенно важна для формирования характерных румяных оттенков в приготовленном мясе [63].

4. Фосфолипиды и мясной аромат. Влияние фосфолипидов на летучие вещества в модельных реакционных системах Майяра

Жиры и жирные кислоты играют важную роль в формировании специфического вкуса отдельных видов мяса [11]. Основная фракция липидов, ответственная за образование специфических летучих веществ, включает фосфолипиды [9] и в меньшей степени триацилглицерины [64]. Эта специфика обусловлена различиями в профилях жирных кислот у разных видов животных [11].

Фосфолипиды являются важными структурными компонентами всех клеток и содержат гораздо большее количество ненасыщенных жирных кислот, чем триглицериды, включая значительное количество полиненасыщенных жирных кислот, таких как арахидоновая кислота (20:4). Это делает их более восприимчивыми к окислению при нагревании, и они ассоциируются с неприятным вкусом, известным как «подогретый привкус», который появляется при повторном нагревании вареного мяса. Однако они могут образовывать продукты окисления липидов во время начальной варки мяса, которые придают мясу желаемый аромат.

При изучении вклада липидов в формирование аромата при нагревании мяса было показано, что фосфолипиды играют особенно важную роль. Когда из нежирных мышц перед приготовлением с использованием гексана удаляли триглицериды для внутримышечного введения, аромат после приготовления невозможно было отличить от запаха необработанного продукта в тестах сенсорного треугольника; оба продукта были оценены как мясистые. Но когда для экстракции всех липидов, фосфолипидов и триглицеридов использовали более полярный растворитель (хлороформ-метанол), произошло очень заметное изменение аромата: мясной аромат сменился ароматом жареного печени. Анализ летучих ароматических веществ из этих мясных полуфабрикатов показал, что контрольный продукт и продукт, экстрагированный гексаном, имеют сходные характеристики, в которых преобладают алифатические альдегиды и спирты. Однако удаление фосфолипидов, а также триглицеридов дало совершенно другой профиль: продукты окисления липидов были выведены, а количество алкилпирозинов значительно увеличилось. Это означает, что в обычном мясе фосфолипиды или продукты их распада ингибируют реакции, связанные с образованием гетероциклических ароматических соединений в результате реакции Майяра [7, 65].

Исследования влияния фосфолипидов на летучие продукты из нагретых водных растворов аминокислот и сахаров показали, что присутствие

фосфолипидов влияет на продукты реакции Майяра, подтверждая более ранние наблюдения в отношении обезжиренного мяса. Наиболее интересные результаты были получены при использовании систем, содержащих цистеин и рибозу, которые взаимодействовали в присутствии нескольких различных фосфолипидных препаратов, включая фосфатидилхолин из яичного желтка, фосфатидилэтаноламин из яичного желтка и фосфолипиды и триглицериды, выделенные из говядины. Реакционные системы давали сложные смеси летучих веществ, в которых преобладали серосодержащие гетероциклические соединения, в частности тиофены, тиенотиофены, дитиоланоны, дитианоны, тритиоланы и тритиановые кислоты, а также 2-метил-3-фурантиол, 2-фуранметанантиол и 2-метил-3-тиофентиол [7].

В присутствии липидов наблюдалось уменьшение количества многих из этих летучих веществ по сравнению с системой без липидов. Это подтвердило наблюдения, проведенные в мясе, о том, что фосфолипиды оказывают закалывающее действие на количество гетероциклических соединений, образующихся в реакции Майяра. В целом триглицериды говядины оказывали гораздо меньшее влияние на уровень летучих веществ Майяра, чем фосфолипидные препараты. Аромат реакционной смеси без каких-либо липидов был описан как сернистый и каучуковый, но с отчетливым мясным привкусом.

Добавление говяжьего триглицерида не повлияло на аромат, однако при использовании говяжьих фосфолипидов мясной аромат был более интенсивным, а сернистые нотки менее выраженными. Аналогичным образом добавление фосфатидилхолина или фосфатидилэтаноламина придало смесям повышенную мясистость. Однако в реакционных системах, содержащих фосфолипиды, концентрация мясоароматических соединений, таких как 2-метил-3-фурантиол, была ниже. Эту аномалию можно объяснить тем, что липиды играют роль регулятора вкуса. При высоких концентрациях производные фурантиола имеют сильный сернистый запах, и только при низких концентрациях становится заметен мясной аромат. Предполагается, что липиды ограничивают образование этих соединений серы и поддерживают их концентрацию в реакционной смеси на оптимальном уровне. Эта гипотеза о смягчении и контроле вкуса может объяснить особую роль фосфолипидов в аромате приготовленного мяса [7].

В реакционных смесях Майяра, содержащих фосфолипиды, образуется множество летучих веществ липидного происхождения, таких как углеводороды, алкилфураны, насыщенные и ненасыщенные спирты, альдегиды и кетоны. Реакционные смеси содержат соединения, полученные в результате взаимодействия альдегидов липидного происхождения с промежуточными продуктами реакции Майяра, наиболее распространенными

из которых были 2-пентилпиридин, 2-пентилтиофен, 2-гексилтиофен и 2-пентил-2%тиапиран [7]. Были обнаружены меньшие количества других 2-алкилтиофенов с *n*-алкильными заместителями между C₄ и C₈, а также 2-(1-гексенил) тиофена. Все эти гетероциклические соединения, по-видимому, образуются в результате реакции ненасыщенных альдегидов с сероводородом или аммиаком, полученных из цистеина. В системах Майяра, содержащих триглицериды, были обнаружены лишь следовые количества этих соединений. Это может быть объяснено гораздо более высокой долей полиненасыщенных жирных кислот в структурных фосфолипиде, чем в триглицеридах, используемых в модельных системах. Они гораздо легче подвергаются термическому окислению, чем ненасыщенные жирные кислоты [7].

Выявлены соединения, которые, по-видимому, являются производными холиновой части фосфатидилхолина, в летучих веществах, образующихся в результате реакции цистеина и рибозы в присутствии фосфатидилхолина. Три сульфида, 2-метил-3-(метилтио)фуран, 2- (или 3)-(метилтио)тиофен и 2-метил-3-(метилтио)тиофен были идентифицированы в системах, содержащих цистеин, рибозу и фосфолипид, но не были обнаружены в системах, не содержащих фосфолипидов. 2-метил-3-(метилтио)фуран является важным компонентом, влияющим на вкусовые качества мяса, и имеет очень низкое пороговое значение запаха [61].

Тиамин является важным витамином, естественным образом присутствующим в мясе. Термическая деградация тиамин приводит к образованию транзиторных и конечных летучих соединений, влияющих на формирование запаха в мясных продуктах, таких как тиазолы, тиофены и фураны. Образуются летучие вещества, характеризующиеся следующими вкусовыми нотками: мясными (2-метил-3-фурантиол, бис (2-метил-3-фурил)дисульфид, 3-тиофентиол, 2-фирмил-5-метилтиофен, 2-метил-3-(метилдитио)фуран), землистыми (4,5-диметилтиазол), жжеными (2-ацетилтиофен) и зелеными (2-метил-4,5-дигидро-3(2H)-тиофенон) [66].

Отмечено, что в свинине содержание тиамин колеблется от 0,8 до 1,1 мг / 100 г [67]. Анализ C. Thomas *et al.* подчеркивает ключевую роль тиамин для формирования аромата вареной ветчины [68].

Сообщалось, что соответствующий тиофен содержится в летучих веществах, образующихся в результате реакции тиамин с метионином. Он обладает мясным ароматом и низким пороговым значением. Как 2-, так и 3-(метилтио)тиофены были предварительно идентифицированы в вареном мясе и имитации мясных вкусов, хотя их ароматические свойства не были зарегистрированы. Предполагается, что образование этих сульфидов происходит на тех же начальных этапах, что и образование соответствующих тиолов.

Таблица 2. Формирование вкуса и аромата мясных изделий

Table 2. Formation of taste and aroma of meat products

Роль летучих соединений	Вкусоароматические характеристики термически обработанных мясных изделий формируются преимущественно комплексом летучих соединений, генерируемых в ходе термоиндуцированных химических превращений. Сырое мясо практически лишено выраженного аромата, который развивается в процессе нагревания		
Биохимические механизмы	Основными путями образования ароматических веществ являются:	Реакция Майяра	Между редуцирующими сахарами (рибозой, глюкозой) и аминокислотами (особенно серосодержащих — цистеина и метионина) и пептидов.
		Окисление липидов	В первую очередь полиненасыщенных жирных кислот в составе фосфолипидов с образованием реакционноспособных альдегидов, кетонов, спиртов и кислот.
		Взаимодействие продуктов реакции Майяра и окисления липидов	Приводящее к синтезу широкого спектра гетероциклических соединений.
		Деградация тиамина (витамина В ₁)	Вносящая вклад в образование серосодержащих гетероциклов (тиазолов, тиофенов).
		Значение липидной фракции	Фосфолипиды, благодаря высокому содержанию полиненасыщенных жирных кислот, являются основным источником специфических летучих соединений липидного окисления, определяющих видовые различия аромата мяса. Одновременно фосфолипиды выступают в роли регулятора и модификатора реакций Майяра, ограничивая образование чрезмерного количества гетероциклических соединений (например, фурантиолов) и поддерживая их концентрацию в сенсорно-оптимальном диапазоне, смягчая резкие «сернистые» ноты и усиливая «мясной» букет.
Триглицериды оказывают значительно меньшее влияние на формирование аромата по сравнению с фосфолипидами.			
Сенсорная интеграция	Восприятие вкуса является мультимодальным процессом, в котором ретроназальное обоняние играет доминирующую роль (75–95% восприятия «вкуса»). Обонятельные сигналы интегрируются со вкусовыми и соматосенсорными ощущениями в ЦНС, формируя целостный органолептический образ. Обонятельные ассоциации тесно связаны с памятью и эмоциями, что существенно влияет на долгосрочные потребительские предпочтения мясных изделий.		
Сложность аналитических исследований	Идентификация и характеристика ключевых ароматических соединений представляют собой сложную аналитическую задачу из-за их чрезвычайно низких концентраций (на уровне мкг/кг), сложного химического состава и синергетического взаимодействия. Решение этой задачи требует применения высокочувствительных хромато-масс-спектрометрических методов в сочетании с ольфактометрией.		

Аналогичные механизмы, включающие замену кислорода в гетероциклическом кольце серой, объясняют образование 2-метил-3-фурантиола.3-тиофентиол [61].

Shu *et al.* [69] предположили, что 2- и 3-тиофентиолы могут образовываться при разложении цистеина путем конденсации двух молекул меркаптоацетальдегида с последующей реакцией с сероводородом и последующей дегидратацией и выделением сероводорода. Образование метилсульфидов требует присутствия реакционноспособной метилтиогруппы (например, метантиола), которая могла бы участвовать в более поздних стадиях этих реакций вместо сероводорода. Было высказано предположение, что в реакционных системах, содержащих цистеин, рибозу и фосфатидилхолин, метантиол образуется в результате взаимодействия фрагмента холина с сероводородом.

Выводы/Conclusions

Понимание вкуса мяса крайне важно для улучшения его качества, и его анализ должен проводиться на основе комплексных химических исследований для выявления различных факторов, влияющих на состав, формирование и развитие аромата мяса. Был выявлен пласт научных данных, дающих понимание и особенности формирования вкуса мяса и мясопродуктов.

Реакция Майяра играет важную роль в формировании вкуса мяса, опосредованного летучими и нелетучими предшественниками. Условия и методы приготовления мяса имеют решающее значение для формирования вкуса, поскольку в результате термических реакций образуется множество летучих веществ, которые способствуют формированию вкуса.

На основе проведенного анализа научных публикаций, возможно сформулировать следующие выводы, представленные в таблице 2.

Таким образом, формирование характерного вкуса и аромата мясных продуктов представляет собой результат сложной сети конкурирующих и взаимодополняющих химических реакций между водорастворимыми прекурсорами (аминокислоты, пептиды, сахара, нуклеотиды) и липидной фракцией, преимущественно фосфолипидами. Профиль образующихся летучих соединений и, как следствие, сенсорные характеристики конечного мясного продукта критически зависят от биохимического состава сырья животного происхождения, параметров технологической обработки (температуры, времени, pH) и их взаимодействия.

Во второй части обзора будут представлены другие факторы, влияющие на вкус мяса и мясопродуктов. Часть 2-я научного обзора будет опубликована в следующем номере журнала «Аграрная наука».

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Научный обзор подготовлен в рамках выполнения исследований по государственному заданию научно-исследовательских работ № FGUS-2024-0002 Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук.

FUNDING

This scientific review was prepared as part of the research carried out under the state assignment for scientific research work No. FGUS-2024-0002 of the V.M. Gorbatov Federal Scientific Center for Food Systems of the Russian Academy of Sciences.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kerth C.R., Miller R.K. Beef flavor: a review from chemistry to consumer. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2015; 95(14): 2783–2798. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7204>
2. Legako J.F. *et al.* Consumer palatability scores and volatile beef flavor compounds of five USDA quality grades and four muscles. *Meat Science*. 2015; 100: 291–300. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.10.026>
3. Fu Y., Cao S., Yang L., Li Z. Flavor formation based on lipid in meat and meat products: A review. *Journal Food Biochemistry*. 2022; 46(12): e14439. <https://doi.org/10.1111/jfbc.14439>
4. Park M.K., Choi Y.-S. Effective Strategies for Understanding Meat Flavor: A Review. *Food Science of Animal Resources*. 2025; 45(1): 165–184. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2024.e124>
5. Behrends J.M. *et al.* Beef customer satisfaction: USDA quality grade and marination effects on consumer evaluations of top round steaks. *Journal of Animal Science*. 2005; 83(3): 662–670. <https://doi.org/10.2527/2005.833662x>
6. Sun A. *et al.* Maillard reaction of food-derived peptides as a potential route to generate meat flavor compounds: A review. *Food Research International*. 2022; 151: 110823. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110823>
7. Mottram D.S. Flavour formation in meat and meat products: a review. *Food Chemistry*. 1998; 62(4): 415–424. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00076-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00076-4)
8. Jayasena D.D., Ahn D.U., Nam K.C., Jo C. Flavour Chemistry of Chicken Meat: A Review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2013; 26(5): 732–742. <http://doi.org/10.5713/ajas.2012.12619>
9. Soncin S., Chiesa L.M., Cantoni C., Biondi P.A. Preliminary study of the volatile fraction in the raw meat of pork, duck and goose. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2007; 20(5): 436–439. <http://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.09.001>
10. Brunton N.P., Cronin D.A., Monahan F.J. Volatile components associated with freshly cooked and oxidized off-flavours in turkey breast meat. *Flavour and Fragrance Journal*. 2002; 17(5): 327–334. <https://doi.org/10.1002/ffj.1087>
11. Kosowska M., Majcher M.A., Fortuna T. Volatile compounds in meat and meat products. *Journal of Food Science and Technology*. 2017; 37(1): 1–7. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.08416>
12. Grosch W. Detection of potent odorants in foods by aroma extract dilution analysis. *Trends in Food Science & Technology*. 1993; 4(3): 68–73. [http://doi.org/10.1016/0924-2244\(93\)90187-F](http://doi.org/10.1016/0924-2244(93)90187-F)
13. Амелин В.Г., Андоралов А.М. Высокоэффективная жидкостная хроматография — времяпролетная масс-спектрометрия в идентификации и определении 111 пестицидов в пищевых продуктах, кормах, воде и почве. *Журнал аналитической химии*. 2016; 71(1): 85–96. <https://doi.org/10.7868/S0044450215120038>
14. Кучменко Т.А., Кочетова Ж.Ю., Федорова Е.В., Бондарева Л.П., Шлык Ю.К., Коренман Я.И. Применение матрицы пьезосорбционных датчиков для анализа газовых этанолсодержащих смесей. *Журнал прикладной химии*. 2003; 76(5): 764–770. EDN PAYQNL
15. Sohail A. *et al.* Aroma compounds identified in cooked meat: A review. *Food Research International*. 2022; 157: 111385. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111385>
16. Кузнецова Т.Г., Иванкин А.Н., Куликовский А.В. Наносенсорный анализ мясного сырья и растительных объектов. Монография. Saarbrücken, Germany: *Lambert Academic Publishing*. 2012; 232. ISBN 978-3-8465-1027-8 EDN UNVMS

REFERENCES

1. Kerth C.R., Miller R.K. Beef flavor: a review from chemistry to consumer. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2015; 95(14): 2783–2798. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7204>
2. Legako J.F. *et al.* Consumer palatability scores and volatile beef flavor compounds of five USDA quality grades and four muscles. *Meat Science*. 2015; 100: 291–300. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.10.026>
3. Fu Y., Cao S., Yang L., Li Z. Flavor formation based on lipid in meat and meat products: A review. *Journal Food Biochemistry*. 2022; 46(12): e14439. <https://doi.org/10.1111/jfbc.14439>
4. Park M.K., Choi Y.-S. Effective Strategies for Understanding Meat Flavor: A Review. *Food Science of Animal Resources*. 2025; 45(1): 165–184. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2024.e124>
5. Behrends J.M. *et al.* Beef customer satisfaction: USDA quality grade and marination effects on consumer evaluations of top round steaks. *Journal of Animal Science*. 2005; 83(3): 662–670. <https://doi.org/10.2527/2005.833662x>
6. Sun A. *et al.* Maillard reaction of food-derived peptides as a potential route to generate meat flavor compounds: A review. *Food Research International*. 2022; 151: 110823. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110823>
7. Mottram D.S. Flavour formation in meat and meat products: a review. *Food Chemistry*. 1998; 62(4): 415–424. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00076-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00076-4)
8. Jayasena D.D., Ahn D.U., Nam K.C., Jo C. Flavour Chemistry of Chicken Meat: A Review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2013; 26(5): 732–742. <http://doi.org/10.5713/ajas.2012.12619>
9. Soncin S., Chiesa L.M., Cantoni C., Biondi P.A. Preliminary study of the volatile fraction in the raw meat of pork, duck and goose. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2007; 20(5): 436–439. <http://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.09.001>
10. Brunton N.P., Cronin D.A., Monahan F.J. Volatile components associated with freshly cooked and oxidized off-flavours in turkey breast meat. *Flavour and Fragrance Journal*. 2002; 17(5): 327–334. <https://doi.org/10.1002/ffj.1087>
11. Kosowska M., Majcher M.A., Fortuna T. Volatile compounds in meat and meat products. *Journal of Food Science and Technology*. 2017; 37(1): 1–7. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.08416>
12. Grosch W. Detection of potent odorants in foods by aroma extract dilution analysis. *Trends in Food Science & Technology*. 1993; 4(3): 68–73. [http://doi.org/10.1016/0924-2244\(93\)90187-F](http://doi.org/10.1016/0924-2244(93)90187-F)
13. Amelin V.G., Andoralov A.M. High-performance liquid chromatography — time-of-flight mass spectrometry in the identification and determination of 111 pesticides in food, feed, water, and soil. *Journal of Analytical Chemistry*. 2016; 71(1): 82–93. <https://doi.org/10.1134/S1061934815120035>
14. Kuchmenko T.A., Kochetova Zh.Yu., Fedorova E.V., Bondareva L.P., Shlyk Yu.K., Korenman Ya.I. Application of a Matrix of Piezosorption Sensors to Analysis of Ethanol-Containing Gas Mixtures. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2003; 76(5): 736–741. <https://doi.org/10.1023/A:1026057102983>
15. Sohail A. *et al.* Aroma compounds identified in cooked meat: A review. *Food Research International*. 2022; 157: 111385. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111385>
16. Kuznetsova T.G., Ivankin A.N., Kulikovskiy A.V. Nanosensory analysis of meat raw materials and plant objects. Monograph. Saarbrücken, Germany: *Lambert Academic Publishing*. 2012; 232 (in Russian). ISBN 978-3-8465-1027-8 EDN UNVMS

17. Vostrikova N.L., Chernukha I.M., Kulikovskiy A.V., Shishkin S.S. Study and identification of main proteins and peptides to determine the content of muscle protein in structureless cooked products by the method of two-dimensional electrophoresis followed by the time-of-flight mass spectrometry identification. *Foods and Raw Materials*. 2016; 4(2): 136–147. <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-2-136-147>
18. Baburina M.I., Vostrikova N.L., Kulikovskii A.V., Zarubina A.N., Ivankin A.N. Defragmenting Processing of Collagen-Containing Wastes of Meat Processing Industry into Functional Feed Additives for Obtaining High-Quality Food. *World Journal of Food Science and Technology*. 2017; 1(2): 39–46. EDN QACOIR
19. Blankenship M.L., Grigороva M., Katz D.B., Maier J.X. Retronasal Odor Perception Requires Taste Cortex, but Orthonasal Does Not. *Current Biology*. 2019; 29(1): 62–69.e3. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.11.011>
20. Small D.M., Voss J., Mak Y.E., Simmons K.B., Parrish T., Gitelman D. Experience-Dependent Neural Integration of Taste and Smell in the Human Brain. *Journal of Neurophysiology*. 2004; 92(3): 1892–1903. <https://doi.org/10.1152/jn.00050.2004>
21. Wu C., Xu M., Dong J., Cui W., Yuan S. The structure and function of olfactory receptors. *Trends in Pharmacological Sciences*. 2024; 45(3): 268–280. <https://doi.org/10.1016/j.tips.2024.01.004>
22. Gu Y. *et al.* A systematic review of the structure and function of human olfactory receptors and key technologies involved. *Trends in Food Science & Technology*. 2025; 159: 104971. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2025.104971>
23. Spence C. Just how much of what we taste derives from the sense of smell?. *Flavour*. 2015; 4: 30. <https://doi.org/10.1186/s13411-015-0040-2>
24. Hackländer R.P.M., Janssen S.M.J., Bermeitinger C. An in-depth review of the methods, findings, and theories associated with odor-evoked autobiographical memory. *Psychonomic Bulletin & Review*. 2019; 26(2): 401–429. <https://doi.org/10.3758/s13423-018-1545-3>
25. Breslin P.A.S. An Evolutionary Perspective on Food and Human Taste. *Current Biology*. 2013; 23(9): R409–R418. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.04.010>
26. Khan M.I., Jo C., Tariq M.R. Meat flavor precursors and factors influencing flavor precursors — A systematic review. *Meat Science*. 2015; 110: 278–284. <http://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.08.002>
27. Chandrashekar J., Hoon M.A., Ryba N.J.P., Zuker C.S. The receptors and cells for mammalian taste. *Nature*. 2006; 444(7117): 288–294. <http://doi.org/10.1038/nature05401>
28. Rolls E.T. Taste, olfactory, and food reward value processing in the brain. *Progress in Neurobiology*. 2015; 127–128: 64–90. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2015.03.002>
29. Martin L.E., Gutierrez V.A., Torregrossa A.-M. The role of saliva in taste and food intake. *Physiology & Behavior*. 2023; 262: 114109. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2023.114109>
30. Wang Y.-R., Luo R.-M., Wang S.-L. Water distribution and key aroma compounds in the process of beef roasting. *Frontiers in Nutrition*. 2022; 9: 978622. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.978622>
31. Afzal A. *et al.* The chemistry of flavor formation in meat and meat products in response to different thermal and non-thermal processing techniques: An overview. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2022; 46: e16847. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16847>
32. Gardner K., Legako J.F. Volatile flavor compounds vary by beef product type and degree of doneness. *Journal of Animal Science*. 2018; 96(10): 4238–4250. <https://doi.org/10.1093/jas/sky287>
33. Liu X., Xia B., Hu L.-T., Ni Z.-J., Thakur K., Wei Z.-J. Maillard conjugates and their potential in food and nutritional industries: A review. *Food Frontiers*. 2020; 1(4): 382–397. <https://doi.org/10.1002/fft2.43>
17. Vostrikova N.L., Chernukha I.M., Kulikovskiy A.V., Shishkin S.S. Study and identification of main proteins and peptides to determine the content of muscle protein in structureless cooked products by the method of two-dimensional electrophoresis followed by the time-of-flight mass spectrometry identification. *Foods and Raw Materials*. 2016; 4(2): 136–147. <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-2-136-147>
18. Baburina M.I., Vostrikova N.L., Kulikovskii A.V., Zarubina A.N., Ivankin A.N. Defragmenting Processing of Collagen-Containing Wastes of Meat Processing Industry into Functional Feed Additives for Obtaining High-Quality Food. *World Journal of Food Science and Technology*. 2017; 1(2): 39–46. EDN QACOIR
19. Blankenship M.L., Grigороva M., Katz D.B., Maier J.X. Retronasal Odor Perception Requires Taste Cortex, but Orthonasal Does Not. *Current Biology*. 2019; 29(1): 62–69.e3. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.11.011>
20. Small D.M., Voss J., Mak Y.E., Simmons K.B., Parrish T., Gitelman D. Experience-Dependent Neural Integration of Taste and Smell in the Human Brain. *Journal of Neurophysiology*. 2004; 92(3): 1892–1903. <https://doi.org/10.1152/jn.00050.2004>
21. Wu C., Xu M., Dong J., Cui W., Yuan S. The structure and function of olfactory receptors. *Trends in Pharmacological Sciences*. 2024; 45(3): 268–280. <https://doi.org/10.1016/j.tips.2024.01.004>
22. Gu Y. *et al.* A systematic review of the structure and function of human olfactory receptors and key technologies involved. *Trends in Food Science & Technology*. 2025; 159: 104971. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2025.104971>
23. Spence C. Just how much of what we taste derives from the sense of smell?. *Flavour*. 2015; 4: 30. <https://doi.org/10.1186/s13411-015-0040-2>
24. Hackländer R.P.M., Janssen S.M.J., Bermeitinger C. An in-depth review of the methods, findings, and theories associated with odor-evoked autobiographical memory. *Psychonomic Bulletin & Review*. 2019; 26(2): 401–429. <https://doi.org/10.3758/s13423-018-1545-3>
25. Breslin P.A.S. An Evolutionary Perspective on Food and Human Taste. *Current Biology*. 2013; 23(9): R409–R418. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.04.010>
26. Khan M.I., Jo C., Tariq M.R. Meat flavor precursors and factors influencing flavor precursors — A systematic review. *Meat Science*. 2015; 110: 278–284. <http://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.08.002>
27. Chandrashekar J., Hoon M.A., Ryba N.J.P., Zuker C.S. The receptors and cells for mammalian taste. *Nature*. 2006; 444(7117): 288–294. <http://doi.org/10.1038/nature05401>
28. Rolls E.T. Taste, olfactory, and food reward value processing in the brain. *Progress in Neurobiology*. 2015; 127–128: 64–90. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2015.03.002>
29. Martin L.E., Gutierrez V.A., Torregrossa A.-M. The role of saliva in taste and food intake. *Physiology & Behavior*. 2023; 262: 114109. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2023.114109>
30. Wang Y.-R., Luo R.-M., Wang S.-L. Water distribution and key aroma compounds in the process of beef roasting. *Frontiers in Nutrition*. 2022; 9: 978622. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.978622>
31. Afzal A. *et al.* The chemistry of flavor formation in meat and meat products in response to different thermal and non-thermal processing techniques: An overview. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2022; 46: e16847. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16847>
32. Gardner K., Legako J.F. Volatile flavor compounds vary by beef product type and degree of doneness. *Journal of Animal Science*. 2018; 96(10): 4238–4250. <https://doi.org/10.1093/jas/sky287>
33. Liu X., Xia B., Hu L.-T., Ni Z.-J., Thakur K., Wei Z.-J. Maillard conjugates and their potential in food and nutritional industries: A review. *Food Frontiers*. 2020; 1(4): 382–397. <https://doi.org/10.1002/fft2.43>

34. Неклюдов А.Д., Иванкин А.Н. Биохимическая переработка жиров и масел в новые липидные продукты с улучшенными биологическими и физико-химическими свойствами. Обзор. *Прикладная биохимия и микробиология*. 2002; 38(5): 469–481. EDN MРKOWB
35. Ledl F., Schleicher E. New Aspects of the Maillard Reaction in Foods and in the Human Body. *Angewandte Chemie International Edition*. 1990; 29(6): 565–594. <https://doi.org/10.1002/anie.199005653>
36. Chen L., Liu R., Wu M., Ge Q., Yu H. A review on aroma-active compounds derived from branched-chain amino acid in fermented meat products: Flavor contribution, formation pathways, and enhancement strategies. *Trends in Food Science & Technology*. 2024; 145: 104371. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104371>
37. Majcher M., Jeleń H.H. Effect of Cysteine and Cystine Addition on Sensory Profile and Potent Odorants of Extruded Potato Snacks. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2007; 55(14): 5754–5760. <http://doi.org/10.1021/jf0703147>
38. Elmore J.S., Campo M.M., Enser M., Mottram D.S. Effect of Lipid Composition on Meat-like Model Systems Containing Cysteine, Ribose, and Polyunsaturated Fatty Acids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2002; 50(5): 1126–1132. <http://doi.org/10.1021/jf0108718>
39. Granvogl M., Beksan E., Schieberle P. New Insights into the Formation of Aroma-Active Strecker Aldehydes from 3-Oxazolines as Transient Intermediates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2012; 60(25): 6312–6322. <http://doi.org/10.1021/jf301489j>
40. Ames J.M., Guy R.C.E., Kipping G.J. Effect of pH and Temperature on the Formation of Volatile Compounds in Cysteine/Reducing Sugar/Starch Mixtures during Extrusion Cooking. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2001; 49(4): 1885–1894. <http://doi.org/10.1021/jf0012547>
41. Cerny C., Davidek T. Formation of Aroma Compounds from Ribose and Cysteine during the Maillard Reaction. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2003; 51(9): 2714–2721. <http://doi.org/10.1021/jf026123f>
42. Hofmann T., Schieberle P. Evaluation of the Key Odorants in a Thermally Treated Solution of Ribose and Cysteine by Aroma Extract Dilution Techniques. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1995; 43(8): 2187–2194. <http://doi.org/10.1021/jf00056a042>
43. Danehy J.P. Maillard Reactions: Nonenzymatic Browning in Food Systems with Special Reference to the Development of Flavor. *Advances in Food Research*. 1986; 30: 77–138. [https://doi.org/10.1016/s0065-2628\(08\)60348-1](https://doi.org/10.1016/s0065-2628(08)60348-1)
44. Dunkel A. *et al.* Nature's Chemical Signatures in Human Olfaction: A Foodborne Perspective for Future Biotechnology. *Angewandte Chemie International Edition*. 2014; 53(28): 7124–7143. <http://doi.org/10.1002/anie.201309508>
45. Ribeiro F.A. *et al.* Effects of relative humidity on dry-aged beef quality. *Meat Science*. 2024; 213: 109498. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2024.109498>
46. Wei C.-K., Ni Z.-J., Thakur K., Liao A.-M., Huang J.-H., Wei Z.-J. Color and flavor of flaxseed protein hydrolysates Maillard reaction products: Effect of cysteine, initial pH, and thermal treatment. *International Journal of Food Properties*. 2019; 22(1): 84–99. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1573830>
47. Fu Y., Zhang Y., Soladoye O.P., Aluko R.E. Maillard reaction products derived from food protein-derived peptides: insights into flavor and bioactivity. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2020; 60(20): 3429–3442. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1691500>
48. Kang L., Alim A., Song H. Identification and characterization of flavor precursor peptide from beef enzymatic hydrolysate by Maillard reaction. *Journal of Chromatography B*. 2019; 1104: 176–181. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2018.10.025>
49. Лисицын А.Б., Туниева Е.К., Горбунова Н.А. Окисление липидов: механизм, динамика, ингибирование. *Всё о мясе*. 2015; (1): 10–15. EDN TJZEYN
34. Neklyudov A.D., Ivankin A.N. Biochemical Processing of Fats and Oils As a Means of Obtaining Lipid Products with Improved Biological and Physicochemical Properties. A Review. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2002; 38(5): 399–409. <https://doi.org/10.1023/A:1019948830882>
35. Ledl F., Schleicher E. New Aspects of the Maillard Reaction in Foods and in the Human Body. *Angewandte Chemie International Edition*. 1990; 29(6): 565–594. <https://doi.org/10.1002/anie.199005653>
36. Chen L., Liu R., Wu M., Ge Q., Yu H. A review on aroma-active compounds derived from branched-chain amino acid in fermented meat products: Flavor contribution, formation pathways, and enhancement strategies. *Trends in Food Science & Technology*. 2024; 145: 104371. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104371>
37. Majcher M., Jeleń H.H. Effect of Cysteine and Cystine Addition on Sensory Profile and Potent Odorants of Extruded Potato Snacks. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2007; 55(14): 5754–5760. <http://doi.org/10.1021/jf0703147>
38. Elmore J.S., Campo M.M., Enser M., Mottram D.S. Effect of Lipid Composition on Meat-like Model Systems Containing Cysteine, Ribose, and Polyunsaturated Fatty Acids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2002; 50(5): 1126–1132. <http://doi.org/10.1021/jf0108718>
39. Granvogl M., Beksan E., Schieberle P. New Insights into the Formation of Aroma-Active Strecker Aldehydes from 3-Oxazolines as Transient Intermediates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2012; 60(25): 6312–6322. <http://doi.org/10.1021/jf301489j>
40. Ames J.M., Guy R.C.E., Kipping G.J. Effect of pH and Temperature on the Formation of Volatile Compounds in Cysteine/Reducing Sugar/Starch Mixtures during Extrusion Cooking. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2001; 49(4): 1885–1894. <http://doi.org/10.1021/jf0012547>
41. Cerny C., Davidek T. Formation of Aroma Compounds from Ribose and Cysteine during the Maillard Reaction. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2003; 51(9): 2714–2721. <http://doi.org/10.1021/jf026123f>
42. Hofmann T., Schieberle P. Evaluation of the Key Odorants in a Thermally Treated Solution of Ribose and Cysteine by Aroma Extract Dilution Techniques. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1995; 43(8): 2187–2194. <http://doi.org/10.1021/jf00056a042>
43. Danehy J.P. Maillard Reactions: Nonenzymatic Browning in Food Systems with Special Reference to the Development of Flavor. *Advances in Food Research*. 1986; 30: 77–138. [https://doi.org/10.1016/s0065-2628\(08\)60348-1](https://doi.org/10.1016/s0065-2628(08)60348-1)
44. Dunkel A. *et al.* Nature's Chemical Signatures in Human Olfaction: A Foodborne Perspective for Future Biotechnology. *Angewandte Chemie International Edition*. 2014; 53(28): 7124–7143. <http://doi.org/10.1002/anie.201309508>
45. Ribeiro F.A. *et al.* Effects of relative humidity on dry-aged beef quality. *Meat Science*. 2024; 213: 109498. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2024.109498>
46. Wei C.-K., Ni Z.-J., Thakur K., Liao A.-M., Huang J.-H., Wei Z.-J. Color and flavor of flaxseed protein hydrolysates Maillard reaction products: Effect of cysteine, initial pH, and thermal treatment. *International Journal of Food Properties*. 2019; 22(1): 84–99. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1573830>
47. Fu Y., Zhang Y., Soladoye O.P., Aluko R.E. Maillard reaction products derived from food protein-derived peptides: insights into flavor and bioactivity. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2020; 60(20): 3429–3442. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1691500>
48. Kang L., Alim A., Song H. Identification and characterization of flavor precursor peptide from beef enzymatic hydrolysate by Maillard reaction. *Journal of Chromatography B*. 2019; 1104: 176–181. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2018.10.025>
49. Lisitsyn A.B., Tuniyeva E.K., Gorbunova N.A. Oxidation of lipids: the mechanism, dynamics, inhibition (on materials of foreign literature). *Vsyo o Myase*. 2015; (1): 10–15 (in Russian). EDN TJZEYN

50. Shahidi F., Hossain A. Role of Lipids in Food Flavor Generation. *Molecules*. 2022; 27(15): 5014. <https://doi.org/10.3390/molecules27155014>
51. Mateo J., Zumalacárregui J.M. Volatile compounds in chorizo and their changes during ripening. *Meat Science*. 1996; 44(4): 255–273. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(96\)00028-9](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(96)00028-9)
52. Иванкин А.Н. Жиры в составе современных мясных продуктов. *Мясная индустрия*. 2007; (6): 8–15. EDN IAJQDN
53. Casaburi A. *et al.* Biochemical and sensory characteristics of traditional fermented sausages of Vallo di Diano (Southern Italy) as affected by the use of starter cultures. *Meat Science*. 2007; 76(2): 295–307. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.11.011>
54. Whitfield F.B., Mottram D.S. Volatiles from interactions of Maillard reactions and lipids. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 1992; 31(1–2): 1–58. <https://doi.org/10.1080/10408399209527560>
55. Hartman G.J., Jin Q.Z., Collins G.J., Lee K.N., Ho C.T., Chang S.S. Nitrogen-containing heterocyclic compounds identified in the volatile flavor constituents of roast beef. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1983; 31(5): 1030–1033. <https://doi.org/10.1021/jf00119a027>
56. Tang J., Jin Q.Z., Shen G.H., Ho C.T., Chang S.S. Isolation and identification of volatile compounds from fried chicken. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1983; 31(6): 1287–1292. <https://doi.org/10.1021/jf00120a035>
57. Elmore J.S., Mottram D.S., Enser M.B., Wood J.D. Novel Thiazoles and 3-Thiazolines in Cooked Beef Aroma. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1997; 45(9): 3603–3607. <https://doi.org/10.1021/jf970066m>
58. Fogerty A.C., Whitfield F.B., Svoronos D., Ford G.L. The composition of the fatty acids and aldehydes of the ethanolamine and choline phospholipids of various meats. *International Journal of Food Science & Technology*. 1991; 26(4): 363–371. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1991.tb01978.x>
59. Buttery R.G., Haddon W.F., Seifert R.M., Turnbaugh, J.G. Thiamin odor and bis(2-methyl-3-furyl) disulfide. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1984; 32(3): 674–676. <https://doi.org/10.1021/jf00123a061>
60. Hwang S.S., Carlin J.T., Bao Y., Hartman G.J., Ho C.T. Characterization of volatile compounds generated from the reactions of aldehydes with ammonium sulfide. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1986; 34(3): 538–542. <https://doi.org/10.1021/jf00069a042>
61. Werkhoff P., Brtning J., Emberger R., Gtinter, M., Hopp R. Flavor chemistry of meat volatiles: New results on flavor components from beef, pork and chicken. Hopp R., Mori K. (eds.). *Recent Developments in Flavor and Fragrance Chemistry. Proceedings of the 3rd International Haarmann & Reimer Symposium*. Weinheim: VCH. 1993; 183–213.
62. Buttery R.G., Ling L.C., Teranishi R., Mon T.R. Roasted lamb fat: basic volatile components. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1977; 25(6): 1227–1229. <https://doi.org/10.1021/jf60214a038>
63. Li L., Belloch C., Flores M. The Maillard Reaction as Source of Meat Flavor Compounds in Dry Cured Meat Model Systems under Mild Temperature Conditions. *Molecules*. 2021; 26(1): 223. <https://doi.org/10.3390/molecules26010223>
64. Meinert L., Andersen L.T., Bredie W.L.P., Bjerregaard C., Aaslyng M.D. Chemical and sensory characterization of pan-fried pork flavor: Interaction between raw meat quality, ageing and frying temperature. *Meat Science*. 2007; 75(2): 229–242. <http://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.07.004>
65. Ren Y. *et al.* Effect of alterations in phospholipids and free fatty acids on aroma-active compounds in instant-boiled chuck tender, sirloin and silverside beef. *Heliyon*. 2024; 10(16): e36382. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36382>
66. Ba H.V., Hwang I., Jeong D., Touseef A. Principle of Meat Aroma Flavors and Future Prospect. Akyar I. (ed.). *Latest Research into Quality Control. IntechOpen*. 2012. <https://doi.org/10.5772/51110>
50. Shahidi F., Hossain A. Role of Lipids in Food Flavor Generation. *Molecules*. 2022; 27(15): 5014. <https://doi.org/10.3390/molecules27155014>
51. Mateo J., Zumalacárregui J.M. Volatile compounds in chorizo and their changes during ripening. *Meat Science*. 1996; 44(4): 255–273. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(96\)00028-9](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(96)00028-9)
52. Ivankin A.N. Fats in the composition of modern meat products. *Meat Industry*. 2007; (6): 8–15 (in Russian). EDN IAJQDN
53. Casaburi A. *et al.* Biochemical and sensory characteristics of traditional fermented sausages of Vallo di Diano (Southern Italy) as affected by the use of starter cultures. *Meat Science*. 2007; 76(2): 295–307. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.11.011>
54. Whitfield F.B., Mottram D.S. Volatiles from interactions of Maillard reactions and lipids. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 1992; 31(1–2): 1–58. <https://doi.org/10.1080/10408399209527560>
55. Hartman G.J., Jin Q.Z., Collins G.J., Lee K.N., Ho C.T., Chang S.S. Nitrogen-containing heterocyclic compounds identified in the volatile flavor constituents of roast beef. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1983; 31(5): 1030–1033. <https://doi.org/10.1021/jf00119a027>
56. Tang J., Jin Q.Z., Shen G.H., Ho C.T., Chang S.S. Isolation and identification of volatile compounds from fried chicken. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1983; 31(6): 1287–1292. <https://doi.org/10.1021/jf00120a035>
57. Elmore J.S., Mottram D.S., Enser M.B., Wood J.D. Novel Thiazoles and 3-Thiazolines in Cooked Beef Aroma. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1997; 45(9): 3603–3607. <https://doi.org/10.1021/jf970066m>
58. Fogerty A.C., Whitfield F.B., Svoronos D., Ford G.L. The composition of the fatty acids and aldehydes of the ethanolamine and choline phospholipids of various meats. *International Journal of Food Science & Technology*. 1991; 26: 363–371. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1991.tb01978.x>
59. Buttery R.G., Haddon W.F., Seifert R.M., Turnbaugh, J.G. Thiamin odor and bis(2-methyl-3-furyl) disulfide. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1984; 32(3): 674–676. <https://doi.org/10.1021/jf00123a061>
60. Hwang S.S., Carlin J.T., Bao Y., Hartman G.J., Ho C.T. Characterization of volatile compounds generated from the reactions of aldehydes with ammonium sulfide. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1986; 34(3): 538–542. <https://doi.org/10.1021/jf00069a042>
61. Werkhoff P., Brtning J., Emberger R., Gtinter, M., Hopp R. Flavor chemistry of meat volatiles: New results on flavor components from beef, pork and chicken. Hopp R., Mori K. (eds.). *Recent Developments in Flavor and Fragrance Chemistry. Proceedings of the 3rd International Haarmann & Reimer Symposium*. Weinheim: VCH. 1993; 183–213.
62. Buttery R.G., Ling L.C., Teranishi R., Mon T.R. Roasted lamb fat: basic volatile components. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1977; 25(6): 1227–1229. <https://doi.org/10.1021/jf60214a038>
63. Li L., Belloch C., Flores M. The Maillard Reaction as Source of Meat Flavor Compounds in Dry Cured Meat Model Systems under Mild Temperature Conditions. *Molecules*. 2021; 26(1): 223. <https://doi.org/10.3390/molecules26010223>
64. Meinert L., Andersen L.T., Bredie W.L.P., Bjerregaard C., Aaslyng M.D. Chemical and sensory characterization of pan-fried pork flavor: Interaction between raw meat quality, ageing and frying temperature. *Meat Science*. 2007; 75(2): 229–242. <http://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.07.004>
65. Ren Y. *et al.* Effect of alterations in phospholipids and free fatty acids on aroma-active compounds in instant-boiled chuck tender, sirloin and silverside beef. *Heliyon*. 2024; 10(16): e36382. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36382>
66. Ba H.V., Hwang I., Jeong D., Touseef A. Principle of Meat Aroma Flavors and Future Prospect. Akyar I. (ed.). *Latest Research into Quality Control. IntechOpen*. 2012. <https://doi.org/10.5772/51110>

67. Gerber N., Scheeder M.R.L., Wenk C. The influence of cooking and fat trimming on the actual nutrient intake from meat. *Meat Science*. 2009; 81(1): 148–154.
<http://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.07.012>

68. Thomas C., Mercier F., Tournayre P., Martin J.-L., Berdagué J.-L. Effect of added thiamine on the key odorant compounds and aroma of cooked ham. *Food Chemistry*. 2015; 173: 790–795.
<http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.078>

69. Shu C.K., Hagedorn M.L., Mookherjee B.D., Ho C.T. pH Effect on the volatile components in the thermal degradation of cysteine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1985; 33(3): 442–446.
<https://doi.org/10.1021/jf00063a029>

ОБ АВТОРАХ

Наталья Анатольевна Горбунова

кандидат технических наук, ученый секретарь
n.gorbunova@fncps.ru
<http://orcid.org/0000-0003-4249-9316>

Максим Борисович Ребезов

доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
главный научный сотрудник
m.rebezov@fncps.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

Марина Ивановна Бабурина

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник
m.baburina@fncps.ru

Федеральный научный центр пищевых систем
им. В.М. Горбатова Российской академии наук,
ул. им. Талалихина, 26, Москва, 109316, Россия

67. Gerber N., Scheeder M.R.L., Wenk C. The influence of cooking and fat trimming on the actual nutrient intake from meat. *Meat Science*. 2009; 81(1): 148–154.
<http://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.07.012>

68. Thomas C., Mercier F., Tournayre P., Martin J.-L., Berdagué J.-L. Effect of added thiamine on the key odorant compounds and aroma of cooked ham. *Food Chemistry*. 2015; 173: 790–795.
<http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.078>

69. Shu C.K., Hagedorn M.L., Mookherjee B.D., Ho C.T. pH Effect on the volatile components in the thermal degradation of cysteine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1985; 33(3): 442–446.
<https://doi.org/10.1021/jf00063a029>

ABOUT THE AUTHORS

Natalia Anatolyevna Gorbunova

Candidate of Technical Sciences, Scientific Secretary
n.gorbunova@fncps.ru
<http://orcid.org/0000-0003-4249-9316>

Maksim Borisovich Rebezov

Doctor of Agricultural Sciences,
Professor, Chief Researcher
m.rebezov@fncps.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

Marina Ivanovna Baburina

Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher
m.baburina@fncps.ru

Gorbatov Federal Research Center for Food
Systems,
26 Talalikhin St., Moscow, 109316, Russia



реклама

БЕСПЛАТНЫЙ
БИЛЕТ



агро **26**
техно
ЛОГИИ

18–20
февраля

8-я межрегиональная
агропромышленная
выставка-форум

поле деловых возможностей:
весь спрос региона
на одной площадке

3 дня **80+** участников **100+** единиц техники

150+ спикеров и специалистов

Официальная
поддержка:



Организатор
выставки:



Амбассадор
выставки:



Реклама

25+ мероприятий деловой программы

agrotech.proexpo.ru

место проведения: г. Пермь, ш. Космонавтов, 59