

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

УДК 663.93

**ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ, ПИЩЕВАЯ ЦЕННОСТЬ КОФЕ
И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ЗДОРОВЬЕ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ.
ОБЗОР ПРЕДМЕТНОГО ПОЛЯ**¹Бурак Л.Ч., ²Гулина С.В.¹ООО «БЕЛПРОСАКВА», Минск, e-mail: leonidburak@gmail.com;²ООО «Вилдост», Минск, e-mail: svetlana.gulina@wildost.by

Цель исследования – обзор современных знаний о химическом составе кофе, его пищевой ценности и влиянии на здоровье потребителей. В обзор включены статьи на английском и русском языке, опубликованные в 2010–2024 годы. Поиск научной литературы на английском языке по данной теме проводили по ключевым словам в библиографических базах Scopus, PubMed и Web of science. Для отбора научных статей на русском языке провели поиск по ключевым словам в Научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU. При выполнении работы использованы научные методы поиска и анализ научной литературы, извлечение данных, их анализ, систематизация и обобщение. Среди статей, соответствующих критериям включения, для составления данного обзора было выбрано 49 исследований. Результаты многочисленных научных исследований подтверждают, что кофе является одним из самых потребляемых напитков в мире, признанным за свой уникальный вкус и аромат, а также за его социальное и оздоровительное воздействие. Кофе содержит множество питательных и биологически активных веществ, количественный состав которых может варьировать в зависимости от места происхождения кофе, обработки и методов экстракции. Собранные в литературе доказательства показывают, что регулярное употребление кофе, содержащего функциональные вещества, такие как полисахариды, фенольные соединения и меланоидины, может оказывать потенциальное благотворное влияние на кардиометаболические факторы риска, такие как абдоминальное ожирение, гипергликемия и липогенез. Однако соединения кофе, такие как кофеин, дитерпены и конечные продукты гликирования, могут быть факторами риска для кардиометаболического здоровья. Следует отметить, что синергия между этими соединениями и их влияние на биоактивность полностью не раскрыты. Представленные в данном обзоре материалы могут представлять интерес как для научных исследований, так и для потребителей.

Ключевые слова: кофе, обжарка, химический состав, экстракция, заваривание, кофеин, полисахариды, дитерпены, липиды, аминокислоты, кардиометаболический риск, ожирение

**CHEMICAL COMPOSITION, NUTRITIONAL VALUE
OF COFFEE AND ITS IMPACT ON CONSUMER HEALTH.
A SUBJECT FIELD REVIEW**¹Burak L.Ch., ²Gulina S.V.¹Limited Liability Company BELROSAKVA, Minsk, e-mail: leonidburak@gmail.com;²Limited Liability Company Vildost, Minsk, e-mail: svetlana.gulina@wildost.by

The aim of the study is to review current knowledge about the chemical composition of coffee, its nutritional value and impact on consumer health. The review includes articles published in English and Russian in 2010–2024. A search for scientific literature in English on this topic was conducted using keywords in the bibliographic databases Scopus, PubMed and Web of science. To select scientific articles in Russian, a search was conducted using keywords in the Scientific Electronic Library eLIBRARY.RU. The work used scientific methods: searching and screening of scientific literature, data extraction, analysis, systematization and generalization. Among the articles that met the inclusion criteria, 49 studies were selected to compile this review. The results of numerous scientific studies confirm that coffee is one of the most consumed drinks in the world, recognized for its unique taste and aroma, as well as its social and health effects. Coffee contains many nutrients and biologically active substances, the quantitative composition of which may vary depending on their origin, processing and extraction methods. The collected evidence in the literature shows that regular consumption of coffee containing functional substances such as polysaccharides, phenolic compounds and melanoidins may have potential beneficial effects on cardiometabolic risk factors such as abdominal obesity, hyperglycemia and lipogenesis. On the other hand, coffee compounds such as caffeine, diterpenes and advanced glycation end products may be risk factors for cardiometabolic health. It should be noted that the synergy between these compounds and their effects on bioactivity have not been fully elucidated. The materials presented in this review may be of interest to both scientific research and consumers.

Keywords: coffee, roasting, chemical composition, extraction, brewing, caffeine, polysaccharides, diterpenes, lipids, amino acids, cardiometabolic risk, obesity, diabetes

Введение

Кофе является одним из самых потребляемых напитков в мире. Широко известны его органолептические свойства – аромат и вкус, а также биоактивные функции –

иммуностимулирующее, антиоксидантное, нейропротекторное и кардиопротекторное действие [1]. Хорошо известно, что химический состав варьируется в зависимости от места происхождения кофе, смешивания,

обжарки и помола [2, 3]. Кроме того, в зависимости от географических районов этот напиток готовят по-разному, что меняет его химический профиль. Было установлено, что различные профили заваривания обладают кардиопротекторным потенциалом в различных группах населения, как в здоровом, так и в болезненном состоянии [4]. Однако структурно-функциональные связи между химическим составом заваривания и его биоактивностью, в частности кардиометаболической защитой, до сих пор не раскрыты. Одна из причин этого может быть связана с тем фактом, что диетические интервенционные исследования, рассматривающие кофе, больше сосредоточены на биомаркерах здоровья потребления кофе в целом, чем на понимании химических соединений, присутствующих в заварке, определении того, какие из них отвечают за эту биоактивность, а также в прояснении возможного синергетического эффекта [5]. Напиток в основном состоит из высокомолекулярных соединений, таких как полисахариды (например, арабиногалактаны (АГ) и галактоманнаны (ГМ), меланоидины, белки), и низкомолекулярных соединений, таких как фенольные соединения (например, хлорогеновые кислоты (ХГК), липиды и конечные продукты гликирования) [6, 7]. Одним из наиболее распространенных соединений, присутствующих в кофейном напитке, является растворимая пищевая клетчатка, состоящая из полисахаридов ГМ и АГ, а также меланоидинов. Известно, что эти соединения влияют на биодоступность холестерина, в основном за счет изменения вязкости среды в просвете кишечника, ограничивая диффузию соединений к эпителию кишечника, а также способны изолировать желчные соли, которые имеют решающее значение для эмульгирования холестерина и, следовательно, его биодоступности [8]. Более того, эти высокомолекулярные соединения из-за содержания углеводов могут ферментироваться микробиотой, способствуя полезным бактериям (пребиотический эффект), обеспечивая высвобождение фенольных соединений, короткоцепочечных жирных кислот (КЦЖК) и биотрансформацию желчных солей [9]. Эти соединения могут оказывать различное действие на метаболизм холестерина, а именно действовать как ингибиторы холестеринэстеразы в просвете кишечника, снижать эндогенный синтез холестерина в печени или влиять на рециркуляцию желчных солей [10]. Таким образом, соединения кофе могут влиять на кардиометаболические факторы риска, такие как абдоминальное ожирение, дислипидемия и гипергликемия

[11]. Вместе с тем общеизвестно, что кофейные напитки содержат в своем составе кофеин, связанный с гипертензией, липиды, такие как кахвеол и кафестол, влияющие на уровень холестерина в крови, или конечные продукты гликирования (КПГК), участвующие в окислительном стрессе [12]. Тем не менее, концентрацию этих соединений в напитке можно модулировать, чтобы минимизировать их содержание, что позволяет улучшить полезные свойства кофе [13, 14]. Этим обусловлена **цель исследования** – обзор современных знаний о химическом составе кофе, его пищевой ценности и влиянии на здоровье потребителей.

Материалы и методы исследования

Поиск научной литературы по теме обзора проводили в библиографических базах «Scopus», «PubMed» и «Web of Science» с применением дескрипторов «coffee», «roasting», «chemical composition», «extraction», «brewing», «caffeine», «polysaccharides», «diterpenes», «cardiometabolic risk», «obesity», «diabetes». Поиск источников на русском языке проводили в Научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU по ключевым словам: «кофе», «обжарка», «химический состав», «экстракция», «заваривание», «кофеин», «полисахариды», «дитерпены», «липиды», «аминокислоты», «гипертензия», «кардиометаболический риск», «сахарный диабет». Обзор научных публикаций проводили за период 2010–2024 гг. Более ранние научные статьи изучали только при отсутствии новых публикаций по теме исследования. При выполнении работы применяли методы анализа, систематизации и обобщения. Изначально было отобрано и изучено 317 научных публикаций. Среди статей, соответствующих критериям включения, для составления данного обзора было выбрано 49 исследований.

Критерии включения и исключения для статей, подлежащих анализу, были следующими:

Критерии включения:

(1) Статья написана в период 2010–2024 гг.

(2) Статья соответствует теме исследования.

(3) Типы анализируемых статей – оригинальные исследовательские статьи, обзорные статьи, монографии.

Критерии исключения:

(1) Статья не соответствует теме данного обзора.

(2) Содержание статьи дублируется. Если из разных баз данных или разных электронных библиотечных систем были извлечены повторяющиеся источники, их классифицировали только один раз.

**Результаты исследования
и их обсуждение**

**Химический состав кофе от зеленых
зерен до заваренного напитка**

Химический состав зеленых зерен

Зеленые кофейные зерна получают из кофейных ягод, которые являются сырыми плодами кофейного растения. Существует два достаточно исследованных сорта кофейных растений: *Coffea arabica* и *Coffea canephora*. В кофейных зернах этих двух видов содержатся следующие химические элементы, которые можно расположить по убыванию содержания следующим образом: 34–53% нерастворимых полисахаридов (в основном целлюлозы и гемицеллюлозы), 8–18% липидов (в основном масла и воска), 8,5–12% белков, 6–12,5% растворимых углеводов (моносахаридов, олигосахаридов и полисахаридов), 3,5–14% ХГК, 1,3–2,9% нелетучих алифатических кислот, 0,8–4,0% кофеина, 0,3–1,2% тригонеллина, 3–5,4% минералов, 0,2–0,8% свободных аминокислот и 0,1% летучих кислот в пересчете на сухую массу. Наиболее отличительным признаком *C. arabica* является более высокое количество липидов, которое составляет 15–18%, по сравнению с *C. canephora*, где этот показатель колеблется от 8 до 12%, тогда как последний показывает более высокое количество кофеина – от 1,7 до 4% – по сравнению с 0,8–1,4% в зернах арабики [15]. Содержание ХГК, описанное для *C. arabica*, находится в диапазоне 3,5–7,5% (по массе сухого вещества (СВ)), тогда как для *C. canephora* оно составляет 7,0–14,0% (по массе СВ), что показывает самое высокое содержание у более позднего сорта [16]. Количество белка и аминокислот в *C. arabica* меньше, чем в *C. canephora*. Среди незаменимых аминокислот лейцин (0,84 г/100 г СВ), лизин (0,63 г/100 г СВ) и аргинин (0,61 г/100 г СВ) являются наиболее распространенными аминокислотами в сортах кофе [17].

Химический состав жареных бобов

После получения сушеного зеленого кофейного зерна следующим шагом является его термическая обжарка, в результате которой получается обжаренное кофейное зерно, на основе которого будет создан напиток. Процесс обжарки кофейного зерна осуществляется с использованием температурных градиентов (в производстве используют температуры в диапазоне 180–250°C), сопряженных с температурными циклами, что вызовет несколько реакций в соединениях, присутствующих в зеленом зерне. Следовательно, это обуславливает измене-

ния в химическом составе, что, в свою очередь, влияет на органолептические свойства кофейного зерна, а также на их потенциальную биологическую активность. Обжарка приводит к потере веса (п.в) кофейных зерен, что позволяет охарактеризовать стадию обжарки, а именно светлую (11% п.в), среднюю (14% п.в) и темную обжарку (20% п.в). С обжаркой связаны несколько химических реакций, а именно реакции Майяра, в итоге потемнением, которые происходят между аминокислотами, свободными сахарами и ХГК, что приводит к образованию конечных продуктов гликирования (КПГК, которые могут иметь низкую молекулярную массу (например, *N* ε-(карбоксиметил) лизин, *N* ε-(1-карбоксиэтил)лизин и *N* δ-(5-гидро-5-метил-4-имидазолон-2-ил)-орнитин, в других случаях) или высокомолекулярных азотсодержащих соединений (например, меланоидин, 17% СВ). Более того, обжарка также увеличивает растворимость нескольких полисахаридов, таких как АГ и ГМ, которые высвобождаются из структуры клеточной стенки зеленых зерен, когда они набухают и подвергаются деполимеризации. Известно, что АГ более подвержены деградации при обжарке, чем ГМ. Содержание полисахаридов в жареных зернах (24–39%) ниже, чем в зеленом кофе (37–55%, при этом в *C. arabica* оно выше, чем в *C. canephora*). Другой класс соединений, которые могут претерпевать изменения при обжарке, – это липиды, их количество обычно увеличивается при обжарке (может увеличиваться с 11 до 20%). Основными липидными соединениями являются триглицериды, составляющие около 75%, тогда как дитерпены (кафестол, кахвеол и 16- *O*-метилкафестол) составляют 20%, а остальное – стерины, токоферолы и свободные жирные кислоты. При обжарке концентрации кафестола и кахвеола разлагаются, что приводит к образованию дегидрокафестола и дегидрокахвеола. Соотношения кафестола и дегидрокафестола можно использовать для характеристики степени обжарки кофе. Липид 16-метилкафестол, характерный для *C. canephora*, обычно не изменяется при обжарке и может использоваться в качестве маркера для определения возможного присутствия *C. canephora* в кофейных смесях на основе *C. arabica*.

Фенольные соединения также являются классом соединений, имеющих в обжаренных кофейных зернах, а именно ХГК, включая кофейлхинные кислоты (КХК), дикофейлхинные кислоты (диКХК), ферулоилхинные кислоты (ФХК) и *p*-кумароилхинные кислоты (КуХК). Увеличение степени обжарки приводит к снижению концентрации

ХГК [18, 19, 20]. Уровень кофеилхинной кислоты значительно снижается при обжарке – с 5,5–10% до 1,2–4,6%, тогда как уровень хинной кислоты (основного продукта распада КХК), γ -хинидина и силлохинной кислоты увеличивается [18]. Таким образом, содержание хинной кислоты можно использовать в качестве индикатора степени обжарки в результате распада ХГК [21]. В ходе процесса обжарки γ -хинидин преобразуется после этерификации в силлохинную кислоту [21]. В условиях темной обжарки хинные кислоты могут разлагаться, образуя фенол, катехол, бензойную кислоту и 2-фурилметанол. Кроме того, чем дольше длится обжарка, тем больше образуется лактонов изомеров ХКГ (т.е. лактонов ФХК, лактонов КХК и лактонов диКХК) [21].

Другим продуктом распада ХГК являются коричневые кислоты, которые служат предшественниками молекул, отвечающих за вкус. Помимо вкуса, аромат является еще одной уникальной особенностью кофе, которая также зависит от обжарки и задействованных реакций, таких как деградация Майяра, Штрекера и пиролиз. Обычно считается, что сорт *C. arabica* имеет более высокое качество аромата, чем *C. canephora*. Было идентифицировано более 1000 соединений, принадлежащих к нескольким химическим семействам, таким как кислоты, спирты, альдегиды, эфиры, фураны, кетоны, фенолы, пиразины, пиридины, пирролы, тиофены и соединения серы. Кофейная, хинная кислоты и ХГК обычно приводят к образованию летучих соединений [19, 21].

Модуляция заваривания кофе: влияние на химический состав

Заключительным этапом потребления кофе является его экстракция из кофейного порошка. Кофейный напиток получается в результате взаимодействия твердого вещества и жидкости и включает три этапа: (1) поглощение воды молотым кофе; (2) массоперенос растворимых твердых веществ из молотого кофе в горячую воду; и (3) отделение извлеченной жидкости от оставшихся твердых веществ. Для получения экстрактов можно использовать несколько методов, а именно: настой, отвар или перколяцию. Настой получается в результате контакта молотого кофе с кипящей водой в течение короткого периода времени с последующей фильтрацией или декантацией. Отвар характеризуется кипячением молотого кофе в течение определенного периода времени (например, как это происходит при экстракции турецкого кофе). При перколяции горячая вода проходит через кофейный порошок в течение короткого периода времени,

обычно под давлением, как в случае приготовления эспрессо или мока [22]. В зависимости от способа приготовления напитка используются различные степени помола – от 100 до 1000 мкм, что позволяет растворять нелетучие и летучие соединения. Большинство напитков имеют узкое однородное распределение размера частиц [23]. Другим распространенным напитком является растворимый кофе, при изготовлении которого после процессов обжарки и помола применяется дополнительный этап экстракции. Распылительная сушка является наиболее традиционным методом, при котором концентрированный кофейный экстракт распыляется в сушильной камере, а вода удаляется при температурах от 200 до 300°C. Для приготовления эспрессо требуется бимодальное распределение размеров частиц в целях улучшения перколяционной экстракции, что в то же время обеспечивает хорошую циркуляцию воды через более крупные частицы кофе и извлечение соединений из более мелких частиц [23]. Размер частиц влияет на их содержание в чашке, обуславливая общее содержание твердых веществ, которое может варьировать от 0,5% в фильтрованном кофе до 16% в заваренном кофе [11]. Употребление кофейного напитка способствует ежедневному поступлению в организм растворимых пищевых волокон, которые в основном состоят из полисахаридов ГМ и АГ II типа, а также меланоидинов. Содержание пищевых волокон в кофе светлой обжарки ниже, чем в кофе темной обжарки. Кофейный напиток с самым высоким содержанием пищевых волокон (на чашку) – это растворимый кофе (0,38 г), за которым следуют эспрессо (0,26 г) и фильтрованный кофе (0,23 г) [11]. Было определено, что типичный кофе эспрессо содержит в среднем 1,21 г общих сухих веществ, из которых в среднем 242 мг составляют растворимые пищевые волокна. Эти растворимые пищевые волокна могут быть разложены на 62 мг ГМ, 48 мг полисахаридов АГ и 123 мг меланоидинов [24]. Повышение степени обжарки приводит к снижению степени полимеризации и разветвленности ГМ и АГ, что позволяет им быть более извлекаемыми. Более того, соотношение между ГМ и АГ отличается в растворимом кофе [25]. По сравнению с эспрессо и фильтрованным кофе, от 0,4 до 1,3 [26]. Различия в составе углеводов и гликозидных связей влияют на ферментацию, поскольку известно, что ГМ, в основном состоящий из маннозо-связанной ($\beta 1 \rightarrow 4$) основной цепи и разветвленный с остатками галактозы, связанными ($\alpha 1 \rightarrow 6$), более подвержен деградации, чем АГ [27]. Как упоминалось

ранее, пищевые волокна также состоят из меланоидинов, которые представляют собой высокомолекулярные азотсодержащие соединения коричневого цвета, образующиеся в результате реакций Майяра во время обжарки кофейных зерен. Содержание меланоидинов в эспрессо, мока и фильтрованном кофе составляет около 2,0 мг/мл. Помимо того что меланоидины состоят из углеводов и белков, они имеют в своем составе ХГК, которые могут быть либо ковалентно связаны, либо адсорбированы. ХГК относится к классу фенольных соединений и отвечает за терпкость, горечь и кислотность напитков, а также связана с несколькими функциональными свойствами, такими как антиоксидантная активность [3]. Наиболее распространенным ХГК в кофейном напитке является 5-КХК, который состоит из хинной кислоты и кофейной кислоты. Содержание ХГК выше в *C. canephora* и уменьшается со степенью обжарки. Уровни содержания ХГК на чашку эспрессо зависят от способа приготовления заваривания и колеблются от 16 до 400 мг и от 60 до 420 мг при заваривании во френч-прессе [3]. Другим распространенным соединением, присутствующим в кофейных напитках, является кофеин – алкалоид, содержание которого не сильно зависит от обжарки и выше в кофейных напитках из *C. canephora* [3, 28]. Однако содержание кофеина зависит от методов экстракции. Экстракт эспрессо имеет концентрацию в среднем 2,4 мг/мл, американо – 1,4 мг/мл и мока – 1,7 мг/мл [3]. Поскольку кофейный напиток представляет собой водный экстракт, содержание липидов в напитке относительно невелико, наиболее значимыми из них являются триглицериды и дитерпены [29]. Содержание последних выше в зернах *C. arabica*, обычно они этерифицированы жирными кислотами. Их концентрация зависит от способа заваривания, более высокая концентрация (6–12 мг на чашку) отмечается в заваренном и нефильтрованном кофе (например, турецком кофе), чем при других способах заваривания, включая фильтрацию [30] (например, кофе эспрессо содержит около 1,2–2,4 мг/чашку) [31]. В кофейном напитке были определены конечные продукты гликования (КПГК) – соединения *N* ε-(1-карбокситил)лизина и *N*δ-(5-гидро-5-метил-4-имидазолон-2-ил)-орнитин в количестве 0,01 мг/100 г и 0,24 мг/100 г соответственно [31].

Влияние кофе на здоровье потребителей

Как отмечено ранее, кофейный напиток представляет собой сложную смесь ингриди-

ентов, которая может содержать более тысячи соединений, включая кофеин, фенольные соединения, такие как ХГК, и дитерпены, такие как кахвеол и кафестол, растворимые волокна и некоторые вторичные метаболиты. Такие факторы, как место происхождения, сорт зерен, обжарка и помол, могут определять состав и концентрацию этих соединений в кофейном напитке [32, 33]. Благодаря разнообразию химического состава кофе может обладать различными биоактивными свойствами, такими как антиоксидантные и противовоспалительные свойства, а также оказывать благотворное влияние на кардиометаболические факторы здоровья, такие как ожирение, сахарный диабет 2-го типа (СД2), метаболический синдром (МС) и сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) [1]. Широкая популярность потребления кофе подчеркивает важность понимания потенциальной пользы для здоровья и рисков, которые он может представлять, что может иметь важные последствия для общественного здравоохранения [34]. Результаты многих исследований выявили защитное действие потребления кофе на значимые основные кардиометаболические расстройства, хотя влияние различных дозировок кофе на показатели кардиометаболического риска изучено недостаточно. Влияние потребления кофе на кардиометаболическое здоровье трудно оценить и измерить. Результаты исследований показывают, что регулярное употребление 3–4 чашек кофе в день оказывает благотворное влияние на организм при сердечно-сосудистых заболеваниях, сердечной недостаточности, артериальном давлении, сердечных аритмиях, ожирении и сахарном диабете. Тем не менее, важно подчеркнуть, что чрезмерное потребление кофе способно вызвать развитие бессонницы и раздражительности, что, в свою очередь может способствовать возникновению гипертонии и сердечно-сосудистых заболеваний [35, 36].

Ожирение – это заболевание, которое характеризуется избыточным накоплением жировой ткани (особенно абдоминальной). Эта ткань играет жизненно важную роль в регуляции здоровья сердечно-сосудистой системы, выделяя различные биоактивные продукты, которые оказывают как эндокринное, так и паракринное действие на сердечно-сосудистую систему. Таким образом, ожирение влияет на ряд неинфекционных заболеваний, включая диабет, сердечно-сосудистые заболевания, такие как высокий уровень холестерина липопротеинов низкой плотности (ЛПНП-Х), низкий уровень холестерина липопротеинов высокой плотности (ЛПВП-Х), высокий уровень тригли-

перидов (ТГ) и гипертония, что вызывает серьезные проблемы общественного здравоохранения во всем мире [37]. Установлено, что из-за содержания кофеина в кофе он повышает термогенез, выработку тепла и базальную скорость метаболизма [38]. Кроме того, усиление экспрессии генов, связанных с митохондриальным биогенезом и термогенезом, также стимулируется компонентами кофе [39]. Регуляция аппетита – еще один эффект кофе, который может влиять на выброс желудочно-кишечных гормонов, таких как желудочный ингибирующий пептид (ЖИП) и глюкагоноподобный пептид 1 (ГПП-1). Таким образом, он может активировать анорексигенные нейроны (CART, POMC) и стимуляцию аппетита, одновременно ингибируя орексигенные нейроны (AgRP, NPY) и аппетит [39, 40]. Полифенолы в кофе способствуют снижению риска ожирения, вызванного диетой, подавляя фактор транскрипции SREBP-1c (стерол-регуляторный элемент, связывающий белок-1c) и увеличивая расход энергии, подавляя липогенные ферменты [40, 41]. Другой механизм, с помощью которого соединения кофе, присутствующие в зернах и мякоти, могут помочь в профилактике набора веса, заключается в модулировании микробиоты кишечника, увеличении ее разнообразия и изменении соотношения *Firmicutes* и *Bacteroidetes* [42, 43]. Кофейные меланоидины, а также полисахариды, такие как ГМ и АГ, могут проявлять пребиотическую активность, производя короткоцепочные жирные кислоты (КЦЖК с известными эффектами против ожирения) [41, 42]. Различная степень ферментации этих полисахаридов приводит к производству различных количеств КЦЖК, которые могут всасываться в кровоток и воздействовать на несколько тканей. Было показано, что выработка пропионата ингибирует синтез холестерина в печени, а соотношение ацетат/пропионат было предложено в качестве биомаркера для отслеживания липидного метаболизма. Следовательно, ферментация полисахаридов кофе может способствовать снижению риска возникновения сердечно-сосудистых заболеваний [38, 42]. Кроме того, ХГК и кофейная кислота могут усиливать экспрессию PPAR- α , окисление жирных кислот в печени и снижать всасывание глюкозы в тонком кишечнике. Кофеин также усиливает перекисное окисление липидов, а кофеин и меланоидин способны снизить потребление энергии с пищей, что является дополнительными механизмами действия кофе против ожирения [42, 44]. Была описана корреляция между потреблением кофе и более низкими показателями

висцерального ожирения, а потребление более трех чашек кофе в день показало более низкий риск саркопенического ожирения относительно тех людей, которые потребляют менее 1 чашки в день [45]. Авторы сообщили, что люди, которые потребляют более двух чашек кофе в день, имеют более низкий индекс массы тела (ИМТ), но существенной разницы в ежедневном потреблении энергии не наблюдалось. Это же исследование также показало, что потребление кофе без кофеина связано с более низким общим потреблением энергии, тогда как более высокое потребление кофеина связано с более высоким общим потреблением энергии [44]. Хотя чрезмерное потребление кофеина было связано с тревогой, бессонницей и потенциальными неблагоприятными последствиями для развития мозга и репродуктивных органов у эмбрионов, а также с повышенным выведением кальция и более высоким риском переломов, обширные исследования показали, что потребление кофе может положительно влиять на здоровье и долголетие, несмотря на эти риски [44]. Хотя сбалансированная диета и регулярные физические упражнения являются основными факторами в борьбе с ожирением, защитные свойства кофе против кардиометаболических факторов риска, особенно ожирения, также значимы. Следует отметить, что смесь растворимого кофе с сахаром и/или сливками может повысить риск ожирения из-за дополнительного потребления калорий.

Кофе содержит множество химических соединений, таких как растворимые волокна, включая полисахариды, меланоидины, и фенольные соединения с кардиопротекторным потенциалом, таким как антигиперхолестеринемическое, антигипертензивное, противовоспалительное и антитромботическое действие. Однако употребление кофе также может отрицательно влиять на метаболизм холестерина из-за присутствия дитерпенов, которые способны воздействовать на биодоступность холестерина в кишечнике [11].

Связь между кофе и здоровьем сердечно-сосудистой системы по-прежнему остается спорной в литературе, создавая парадокс [46]. В метаанализе исследования потребление кофе с кофеином обратно коррелировало с сердечно-сосудистыми заболеваниями. Однако связь между сердечно-сосудистыми заболеваниями была нелинейной, и наибольшее снижение риска было зафиксировано при 3–4 чашках в день (~120 мл/чашка) [47]. Потребление кофеина обычно называют основным фактором риска возникновения сердечно-сосудистых заболеваний из-за

повышения артериального давления. Хотя краткосрочное потребление было связано с гипертоническими эффектами, долгосрочное потребление не было связано со значительным повышением артериального давления [48]. Однако следует учитывать генетическое изменение CYP1A2, поскольку этот фермент метаболизирует 90–95% кофеина. Следовательно, кофе может повышать артериальное давление, вызывать жесткость аорты и проаритмию при краткосрочном потреблении. Однако в долгосрочной перспективе он может снизить мерцательную аритмию, ишемию, сердечную недостаточность и риск ишемической болезни сердца и сахарного диабета 2-го типа. Наряду с гипертонией еще одним важным фактором риска для кардиометаболического здоровья является высокий липидный профиль крови, в основном уровень холестерина в крови. Было установлено, что ХГК ослабляет накопление липидов в печени за счет повышения экспрессии холестерина 7- α гидроксилазы (CYP7A1) и снижения уровней фактора роста фибробластов 15 и фарнезоидного X-рецептора (FXR) в кишечнике [49]. Было также показано, что экстракты, содержащие высокомолекулярные соединения, такие как АГ и ГМ, которые являются наиболее распространенными полисахаридами, присутствующими в растворимой в кофе клетчатке, секвестрируют желчные соли, снижая как биодоступность холестерина, так и его биодоступность.

Заключение

Кофе широко потребляется во всем мире, что в основном обусловлено его стимулирующим эффектом, вкусом и ароматом. Он имеет сложную химическую структуру, состоящую из более чем тысячи соединений, некоторые из них обладают высокой биологической активностью. Знание взаимосвязи между химической структурой кофе и механизмами действия соединений, входящих в его состав, имеет решающее значение для понимания их пользы для здоровья или рисков. Кардиометаболические эффекты кофе до конца не изучены и постоянно обсуждаются научным сообществом. С одной стороны, во многих литературных источниках подчеркивается, что потребление кофе оказывает некоторое защитное действие на организм при значительном числе основных кардиометаболических расстройств. Фенольные соединения, такие как кофеин и хлорогеновые кислоты, были идентифицированы с увеличением антиоксидантных и противовоспалительных биомаркеров как ингибиторы некоторых ферментов, связанных с кардиометабо-

лическим здоровьем и снижением процесса всасывания липидов и глюкозы в кишечнике. Они улучшают здоровье микробиома кишечника, демонстрируют пребиотический потенциал и уменьшают дисбактериоз. Определено, что высокомолекулярные соединения, такие как полисахариды арабиногалактаны (АГ) и галактоманнаны (ГМ), и меланоидины, которые являются частью пищевых волокон, присутствующих в кофейном напитке, влияют на популяцию микробиоты, что приводит к преобразованию вторичных желчных солей и влияет на метаболизм холестерина. С другой стороны, известно, что не все соединения кофе оказывают положительное влияние на кардиометаболическое здоровье. Помимо описанных положительных эффектов, кофеин действительно имеет амбивалентные эффекты, поскольку он также способствует повышению артериального давления. Было описано, что дитерпены и конечные продукты гликирования увеличивают абсорбцию холестерина и, соответственно, способствуют окислительному стрессу. Тем не менее, содержание этих соединений может варьироваться в зависимости от нескольких факторов, таких как место происхождения, смешивание, измельчение, обжарка и методы экстракции. Поскольку химический профиль кофе не рассматривается в большинстве интервенционных исследований, это может частично объяснить противоречивые результаты касательно кофе в отношении кардиометаболического здоровья. Также следует подчеркнуть, что комбинированное воздействие этих соединений и их влияние на биоактивность до конца не исследованы и не изучены. Таким образом, структурно-функциональные связи, описанные в данном обзоре, могут представлять интерес как для научных исследований, так и для потребителей.

Список литературы

1. Barrea L., Pugliese, G., Frias-Toral E., El Ghoch M., Castellucci B., Chapela S. P., Carignano M. D. L. A., Laudisio D., Savastano S., Colao A., & Muscogiuri G. Coffee consumption, health benefits and side effects: A narrative review and update for dietitians and nutritionists // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023. V. 63. No. 2. P. 1238–1261. DOI: 10.1080/10408398.2021.1963207.
2. Лашманова Л.А., Ибрагимова Р.Ю., Борисова А.В. Влияние способов заваривания кофе на органолептические и физико-химические свойства // *Вестник КрасГАУ*. 2023. № 3(192). С. 181–187. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-3-181-187.
3. Cordoba N., Fernandez-Alduenda M., Moreno F.L., Ruiz Y. Coffee extraction: A review of parameters and their influence on the physicochemical characteristics and flavour of coffee brews // *Trends in Food Science & Technology*. 2020. V. 96. P. 45–60. DOI: 10.1016/j.tifs.2019.12.004.
4. Tverdal A., Selmer R., Cohen J.M., Thelle D.S. Coffee consumption and mortality from cardiovascular diseases and

- total mortality: Does the brewing method matter? // *European Journal of Preventive Cardiology*. 2020. V. 27. No. 18. P. 1986–1993 DOI: 10.1177/2047487320914443.
5. Park Y., Cho H., Myung S.-K. Effect of coffee consumption on risk of coronary heart disease in a systematic review and meta-analysis of prospective cohort studies // *The American Journal of Cardiology*. 2023. V. 186. P. 17–29. DOI: 10.1016/j.amjcard.2022.10.010.
6. Dippong T., Dan M., Kovacs M.H., Kovacs E.D., Levei E.A., Cadar O. Analysis of volatile compounds, composition, and thermal behavior of coffee beans according to variety and roasting intensity // *Foods*. 2022. V. 11(19). P. 3146. DOI: 10.3390/foods11193146.
7. Saud S., Salamattullah A.M. Relationship between the chemical composition and the biological functions of coffee // *Molecules* (Basel, Switzerland). 2021. V. 26. P. 7634. DOI: 10.3390/molecules26247634.
8. Pires C.L., Silva I.M.V., Coimbra M.A., Moreno M.J., Coreta-Gomes F. Effect of coffee on the bioavailability of sterols // *Foods*. 2022. V. 11(19). P. 119. DOI: 10.3390/foods11192935.
9. Shaheen S., Shorbagi M., Lorenzo J.M., Farag M.A. Dissecting dietary melanoidins: Formation mechanisms, gut interactions and functional properties // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2022. V. 62. P. 8954–8971. DOI: 10.1080/10408398.2021.1937509.
10. Ye X., Li J., Gao Z., Wang D., Wang H., Wu J. Chlorogenic acid inhibits lipid deposition by regulating the enterohepatic FXR-FGF15 pathway // *BioMed Research International*. 2022. V. 2022. P. 4919153. DOI: 10.1155/2022/4919153.
11. Machado F., Coimbra M.A., Castillo M.D.D., Coreta-Gomes F. Mechanisms of action of coffee bioactive compounds – A key to unveil the coffee paradox // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023. V. 3. P. 1–23. DOI: 10.1080/10408398.2023.2221734.
12. Bansal S., Burman A., Tripathi A.K. Advanced glycation end products: Key mediator and therapeutic target of cardiovascular complications in diabetes // *World Journal of Diabetes*. 2023. V. 14. P. 1146. DOI: 10.4239/wjd.v14.i8.1146.
13. Nerurkar P.V., Yokoyama J., Ichimura K., Kutscher S., Wong J., Bittenbender H.C., Deng, Y. Medium roasting and brewing methods differentially modulate global metabolites, lipids, biogenic amines, minerals, and antioxidant capacity of Hawai'i-grown coffee (*Coffea arabica*) // *Metabolites*. 2023. V. 13. P. 412. DOI: 10.3390/metabo13030412.
14. Yildirim S., Demir E., Gok I., Aboul-Enein H.Y. Use of electrochemical methods to determine the effect of brewing techniques (Espresso, Turkish and Filter coffee) and roasting levels on the antioxidant capacity of coffee beverage // *Journal of Food Science and Technology*. 2023. V. 60. No. 7. P. 1933–1943. DOI: 10.1007/s13197-022-05460-x.
15. D'Amelio N., De Angelis E., Navarini L., Schievano E., Mammì S.J.T. Green coffee oil analysis by high-resolution nuclear magnetic resonance spectroscopy // *Talanta*. 2013. V. 110. P. 118–127. DOI: 10.1016/j.talanta.2013.02.024.
16. Dziki D., Gawlik-Dziki U., Pecio Ł., Różyło R., Świeca M., Krzykowski A. Ground green coffee beans as a functional food supplement—Preliminary study // *Technology*. 2015. V. 63(1). P. 691–699. DOI: 10.1016/j.lwt.2015.03.076.
17. Dong W., Tan L., Zhao J., Hu R., Lu M.J.M. Characterization of fatty acid, amino acid and volatile compound compositions and bioactive components of seven coffee (*Coffea robusta*) cultivars grown in Hainan Province, China // *Molecules* (Basel, Switzerland). 2015. V. 20(9). P. 16687–16708. DOI: 10.3390/molecules200916687.
18. Hong S.J., Boo C.G., Yoon S., Jeong H., Jo S.M., Youn M.Y., Shin E.-C. Impact of roasting conditions on physicochemical, taste, volatile, and odor-active compound profiles of *Coffea arabica* L.(cv. Yellow Bourbon) using electronic sensors and GC–MS–O using a multivariate approach // *Food Chemistry*. 2024. V. 21. P. 101119. DOI: 10.1016/j.fochx.2024.101119.
19. Liao Y.-C., Kim T., Silva J.L., Hu W.-Y., Chen B.-Y. Effects of roasting degrees on phenolic compounds and antioxidant activity in coffee beans from different geographic origins // *Lwt*. 2022. V. 168. P. 113965. DOI: 10.1016/j.lwt.2022.113965.
20. Тищенко Е.А., Цюпко Т.Г., Милевская В.В., Темердашев А.В. Идентификация и хроматографическое определение биоактивных компонентов в образцах растворимого кофе // *Аналитика и контроль*. 2017. Т. 21, № 3. С. 251–261.
21. Wei F., Furihata K., Koda M., Hu F., Miyakawa T., Tanokura M. Roasting process of coffee beans as studied by nuclear magnetic resonance: Time course of changes in composition // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2012. V. 60(4). P. 1005–1012. DOI: 10.1021/jf205315r.
22. Derossi A., Ricci I., Caporizzi R., Fiore A., Severini C. How grinding level and brewing method (Espresso, American, Turkish) could affect the antioxidant activity and bioactive compounds in a coffee cup // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2018. V. 98. P. 3198–3207. DOI: 10.1002/jsfa.8826.
23. von Blittersdorff M., Klatt C. The grind – Particles and particularities. In *The craft and science of coffee* // Elsevier. 2017. P. 311–328. DOI: 10.1016/B978-0-12-803520-7.00013-X.
24. Lopes G.R., Ferreira A.S., Pinto M., Passos C.P., Coelho E., Rodrigues C., Figueira C., Rocha S.M., Nunes F.M., Coimbra M.A. Carbohydrate content, dietary fibre and melanoidins: Composition of espresso from single-dose coffee capsules // *Food Research International*. 2016. V. 89. P. 989–996. DOI: 10.1016/j.foodres.2016.01.018.
25. Lopes G.R., Passos C.P., Rodrigues C., Teixeira J.A., Coimbra M.A. Impact of microwave-assisted extraction on roasted coffee carbohydrates, caffeine, chlorogenic acids and coloured compounds // *Food Research International*. 2020. V. 129. P. 108864. DOI: 10.1016/j.foodres.2019.108864.
26. Lopes G.R., Passos C.P., Petronilho S., Rodrigues C., Teixeira J.A., Coimbra M.A. Carbohydrates as targeting compounds to produce infusions resembling espresso coffee brews using quality by design approach // *Food Chemistry*. 2021. V. 344. P. 128613. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.128613.
27. Angeloni G., Guerrini L., Masella P., Bellumori M., Daluiso S., Parenti A., Innocenti M. What kind of coffee do you drink? An investigation on effects of eight different extraction methods // *Food Research International*. 2019. V. 116. P. 1327–1335. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.10.022.
28. Olechno E., Puścion-Jakubik A., Zujko M.E., Socha K. Influence of various factors on caffeine content in coffee brews // *Foods*. 2021. V. 10. P. 1208. DOI: 10.3390/foods10061208.
29. León D., Medina S., Londoño-Londoño J., Jiménez-Cartagena C., Ferreres F., Gil-Izquierdo A. Anti-inflammatory activity of coffee. In A. Farah & A. Farah (Eds.), *Coffee: Consumption and health implications* // *The Royal Society of Chemistry*. 2019. P. 54–57. DOI: 10.1039/9781788015028-00057.
30. Lim L.-T., Zwicker M., Wang X. Coffee: One of the most consumed beverages in the world. In *Comprehensive biotechnology* // Elsevier. P. 275–285. DOI: 10.1016/B978-0-444-64046-8.00462-6.
31. Scheijen J.L., Clevers E., Engelen L., Dagnelie P.C., Brouns F., Stehouwer C.D., Schalkwijk C.G. Analysis of advanced glycation endproducts in selected food items by ultra-performance liquid chromatography tandem mass spectrometry: Presentation of a dietary AGE database // *Food Chemistry*. 2016. V. 190. P. 1145–1150. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.06.049.
32. Stoikidou T., Koidis A. Coffee and tea bioactive compounds. In *Functional foods and their implications for health promotion* // Academic Press. 2023. P. 29–53. DOI: 10.1016/B978-0-12-823811-0.00006-7.
33. Febrianto N.A., Zhu F. Coffee bean processing: Emerging methods and their effects on chemical, biological and sensory properties // *Food Chemistry*. 2023. V. 412. P. 135489. DOI: 10.1016/j.foodchem.2023.135489.
34. Ribeiro M., Alvarenga L., Cardozo L.F.M.F., Kemp J.A., Lima L.S., Almeida J.S.D., Leal V.D.O., Stenvinkel P., Shiels P.G., Mafra D. The magical smell and taste: Can coffee be good

- to patients with cardiometabolic disease? // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2024. V. 64. P. 562–583. DOI: 10.1080/10408398.2022.2106938.
35. Daneschvar H.L., Smetana G.W., Brindamour L., Bain P.A., Mukamal K.J. Impact of coffee consumption on physiological markers of cardiovascular risk: A systematic review // *The American Journal of Medicine*. 2021. V. 134. P. 626–636.e2. DOI: 10.1016/j.amjmed.2020.09.036.
36. Henn M., Babio N., Romaguera D., Vázquez-Ruiz Z., Konieczna J., Vioque J., Torres-Collado L., Razquin C., Buil-Cosiales P., Fitó M. Increase from low to moderate, but not high, caffeinated coffee consumption is associated with favorable changes in body fat // *Clinical Nutrition*. 2023. V. 42. P. 477–485. DOI: 10.1016/j.clnu.2023.02.004.
37. Okati-Aliabad H., Ansari-Moghaddam A., Kargar S., Jabbari N. Prevalence of obesity and overweight among adults in the middle east countries from 2000 to 2020: A systematic review and meta-analysis // *Journal of Obesity*. 2022. V. 2022. P. 8074837. DOI: 10.1155/2022/8074837.
38. Li H., Wang C., Li L., Li L. Skeletal muscle non-shivering thermogenesis as an attractive strategy to combat obesity // *Life Sciences*. 2021. V. 269. P. 119024. DOI: 10.1016/j.lfs.2021.119024.
39. Martins B.C., Soares A.C., Martins F.F., Resende A.d.C., Inada K.O.P., Souza-Mello V., Nunes N.M., Daleprane J.B. Coffee consumption prevents obesity-related comorbidities and attenuates brown adipose tissue whitening in high-fat diet-fed mice // *The Journal of Nutritional Biochemistry*. 2023. V. 117. P. 109336. DOI: 10.1016/J.JNUTBIO.2023.109336.
40. Costa-Machado L.F., Garcia-Dominguez E., McIntyre R.L., Lopez-Aceituno J.L., Ballesteros-Gonzalez A., Tapia-Gonzalez A. Peripheral modulation of antidepressant targets MAO-B and GABAAR by harmol induces mitohormesis and delays aging in preclinical models // *Nature Communications*. 2023. V. 14. P. 2779. DOI: 10.1038/s41467-023-38410-y.
41. Moslehi A., Komeili-Movahhed T., Ahmadian M., Ghoddoosi M., Heidari F. Chlorogenic acid attenuates liver apoptosis and inflammation in endoplasmic reticulum stress-induced mice // *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*. 2023. V. 26. P. 478485. DOI: 10.22038/IJBMS.2023.66827.14659.
42. Cavalcanti M.H., Roseira J.P.S., Leandro E.d.S., Arruda S.F. Effect of a freeze-dried coffee solution in a high-fat diet-induced obesity model in rats: Impact on inflammatory response, lipid profile, and gut microbiota // *PLoS ONE*. 2022. V. 17. P. e0262270. DOI: 10.1371/journal.pone.0262270.
43. Bhandarkar N.S., Mouatt P., Majzoub M.E., Thomas T., Brown L., Panchal S.K. Coffee pulp, a by-product of coffee production, modulates gut microbiota and improves metabolic syndrome in high-carbohydrate, high-fat diet-fed rats // *Pathogens*. 2021. V. 10. P. 1369. DOI: 10.3390/pathogens10111369.
44. Wang S., Han Y., Zhao H., Han X., Yin Y., Wu J., Zhang Y., Zeng X. Association between coffee consumption, caffeine intake, and metabolic syndrome severity in patients with self-reported rheumatoid arthritis: National Health and Nutrition Examination Survey 2003–2018 // *Nutrients*. 2022. V. 15. P. 107. DOI: 10.3390/nu15010107.
45. Lee D.-Y., Shin S. Sarcopenic obesity is associated with coffee intake in elderly Koreans // *Frontiers in Public Health*. 2023. V. 11. P. 990029. DOI: 10.3389/fpubh.2023.990029.
46. Terentes-Printzios D., Vlachopoulos C. Coffee and cardiovascular health: Looking through the steaming cup // Oxford University Press. 2022. V. 118. No. 7. P. e51–e53. DOI: 10.1093/cvr/cvac045.
47. di Maso M., Boffetta P., Negri E., La Vecchia C., Bravi F. Caffeinated coffee consumption and health outcomes in the US population: A dose–response meta-analysis and estimation of disease cases and deaths avoided // *Advances in Nutrition*. 2021. V. 12. No. 4. P. 1160–1176. DOI: 10.1093/advances/nmaa177.
48. Ramli N.N.S., Alkhalidy A.A., Jalil A.M.M. Effects of caffeinated and decaffeinated coffee consumption on metabolic syndrome parameters: A systematic review and meta-analysis of data from randomised controlled trials // *Medicina (Kaunas, Lithuania)*. 2021. V. 57(9). P. 957. DOI: 10.3390/MEDICINA57090957.
49. Senfingger J., Nikorowitsch J., Borof K., Ojeda F., Aarabi G., Beikler T., Mayer C., Behrendt C.A., Walther C., Zyriax B.C., Twerenbold R., Blankenberg S., Wenzel J.P. Coffee consumption and associations with blood pressure, LDL-cholesterol and echocardiographic measures in the general population // *Scientific Reports*. 2023. V. 13. No. 1. P. 4668. DOI: 10.1038/s41598-023-31857-5.