

УДК 612.11/.12:636.22/.28

## Минеральный профиль мышечной ткани бройлеров: биохимическая характеристика и вклад в физиологические потребности человека

Лахонин П. Д.

ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста,  
Московская обл., Россия

**Аннотация.** Мясо бройлеров занимает особое место в рационе человека благодаря сочетанию высокой пищевой ценности и диетических свойств: оно отличается легкоусвояемым полноценным белком, низким содержанием жира и холестерина. В мышечной ткани бройлеров макро- и микроэлементы представлены как в составе металлоферментов и металлопротеинов, так и в виде свободных ионов, что обеспечивает водно-солевой баланс, участие в энергетическом обмене и антиоксидантной защите. Натрий/калий поддерживают градиент  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -АТФазы; магний участвует в более чем 300 ферментативных реакциях как кофактор Mg-АТФ; фосфор необходим для энергетического обмена; железо (60–70% гемовое) доминирует в миоглобине, обеспечивая хранение кислорода; медь входит в состав Cu/Zn-SOD и церулоплазмина; цинк связан с МТ-белками; хром усиливает чувствительность к инсулину; марганец является кофактором марганец-супероксиддисмутазы. Физиологическая значимость указанных элементов обуславливает целесообразность их количественного определения в мясе бройлеров для оценки покрытия суточных норм потребления человека. Цель работы – анализ макро- и микроэлементов мяса бройлеров и обобщение их роли в питании человека. Результаты показывают насыщенный минеральный профиль с эссенциальными элементами. Порция 300 г в сутки полноценно покрывает потребности в фосфоре, калии, железе, цинке, меди, селене и хrome, обеспечивая профилактику анемии и иммунодефицита, тогда как магний, натрий и кальций требуют дополнения рациона.

**Ключевые слова:** микроэлементы, макроэлементы, бройлеры, мясо, физиологическая потребность.

**Для цитирования:** Лахонин П.Д. Минеральный профиль мышечной ткани бройлеров: биохимическая характеристика и вклад в физиологические потребности человека // Успехи наук о животных. 2026. № 1. С. 75–86. doi: 10.25687/3034-493X.2026.6.1.005

## Mineral profile of broiler muscle tissue: biochemical characterization and contribution to human physiological needs

P. D. Lakhonin

L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry  
Moscow Region, Russia

**Abstract.** Broiler meat occupies a special place in the human diet due to the combination of high nutritional value and dietary properties: it is distinguished by easily digestible complete protein, low fat and cholesterol content. In broiler muscle tissue, macro- and microelements are presented both in the composition of metalloenzymes and metalloproteins, and in the form of free ions, which ensures water-salt balance, participation in energy metabolism and antioxidant protection. Sodium/potassium maintain the  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPase gradient; magnesium is involved in more than 300 enzymatic reactions as a Mg-ATP cofactor; phosphorus is essential for energy metabolism; iron (60-70% heme) dominates in myoglobin, providing oxygen storage; copper is a part of Cu/Zn-SOD and ceruloplasmin; zinc is associated with MT proteins; chromium enhances insulin sensitivity; Manganese is a cofactor for manganese superoxide dismutase. The physiological significance of these elements makes it advisable to quantify them in broiler meat to assess the human daily intake requirements. The aim of this study was to analyze the macro- and micronutrients of broiler meat and summarize their role in human nutrition. The results demonstrate a rich mineral profile with essential elements. A 300 g serving per day fully covers the requirements for phosphorus, potassium, iron, zinc, copper, selenium, and chromium, helping to prevent anemia and immunodeficiency, while magnesium, sodium, and calcium require dietary supplementation.

**Keywords:** microelements, macroelements, broilers, meat, physiological needs

**For citation:** Lakhonin PD. Mineral profile of broiler muscle tissue: biochemical characterization and contribution to human physiological needs. Ernst Journal of Animal Science. 2026. 4: 75–86. Russian. doi: 10.25687/3034-493X.2026.6.1.005

**Введение.** Глобальная демографическая динамика характеризуется устойчивым ростом населения: к 2050 году прогнозируется его увеличение до 9,7 млрд человек, то есть с приростом 2 млрд по сравнению с текущими показателями. Данный тренд усиливает потребность в продовольственных ресурсах. Так, среди отраслей сельского хозяйства именно птицеводство демонстрирует наибольшую адаптивность к изменяющимся внешним условиям. Его вклад в белковое обеспечение растёт за счёт сокращённых производственных циклов и наивысшей экономической эффективности [1].

Птицеводческая отрасль преимущественно ориентирована на производство мяса бройлерных цыплят для удовлетворения рыночного спроса на мясную продукцию. Указанная специализация обусловлена глобальным демографическим ростом и сопутствующим увеличением потребности в источниках животного белка [2].

Значительная доля конкурентоспособной российской продукции реализуется на внешних рынках за счёт устойчивого роста экспорта, обусловленного диверсификацией ассортимента поставляемой продукции и географии сбыта, отсутствием эпизоотий, государственной поддержкой и техническим перевооружением производственных объектов. В период 2019–2024 гг. объём экспорта мяса птицы из РФ удвоился в натуральном выражении и вырос в 2,5 раза в стоимостном (до 427,1 тыс. т на сумму 820,8 млн долл. США), при этом ключевыми импортерами остаются КНР, Саудовская Аравия и Республика Казахстан [3].

Мясо птицы является высокопитательным диетическим продуктом с сбалансированной энергетической ценностью и умеренной калорийностью, высоким содержанием полноценных белков при сниженной доле коллагена и повышенной биодоступностью, а также преобладанием ненасыщенных жирных кислот, преимущественно локализованных в подкожной жировой ткани. Кроме того, оно характеризуется высоким уровнем витаминов группы В, включая тиамин (В1), пиридоксин (В6) и пантотеновую кислоту (В5) [4].

Куриное мясо превосходит другие виды мяса по содержанию белка при одновременном ограничении жиров до 10%. Белок данного мяса обеспечивает 92% незаменимых аминокислот, превышая аналогичные показатели для свинины (88%), баранины и говядины (73%). Куриная грудка («белое мясо») характеризуется минимальным содержанием холестерина среди мясных продуктов, уступая лишь рыбным источникам [5].

Продукты птицеводства помимо полноценного белка содержат значительные количества макроэлементов (Na, K, Mg, Ca, P), а также ряд микроэлементов (Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Zn), обеспечивающих нормальную метаболическую активность, гомеостатический баланс и иммунную компетентность организма. В белом мясе птицы по сравнению с красным мясом (за исключением свинины) наблюдается повышенное содержание кальция, магния, фосфора и натрия при сопоставимом уровне железа со свининой [6, 7].

Например, кальций выступает ключевым макроэлементом, обеспечивающим не только минерализацию костной ткани, но и нервно-мышечную возбудимость, регуляцию кардиоритмогенности, иммунную компетентность и ряд других фундаментальных физиологических процессов [8].

Фосфор интегрирован в структуру нуклеиновых кислот, высокоэнергетических соединений (АТФ, АДФ, ГТФ, ГДФ), фосфолипидов и биомембран, играя ключевую роль в энергетическом метаболизме, внутриклеточной сигнализации и кислотно-щелочном гомеостазе [9].

Медь, изменяя валентность, выступает переносчиком электронов, обеспечивая поддержание клеточного редокс-гомеостаза, участие в митохондриальном дыхании, а также биосинтезу меланина, коллагена и нейротрансмиттеров [10].

Качественная продукция птицеводства отличается доступной рыночной ценой для потребителей, несмотря на существующую переменчивость производственной себестоимости [11].

Таким образом целью обзорной статьи является анализ макро- и микроэлементов, входящих в состав мяса бройлеров, а также обобщения их роли в питании человека на основе литературных данных и экспериментальных исследований.

**Формы макро- и микроэлементов в мышечной ткани.** В биологических тканях макроэлементы и микроэлементы существуют как в составе биологических молекул (ферментативные комплексы, металлопротеины, нуклеотиды, липидные структуры), так и в свободной ионной форме ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Cl^-$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$  и др.), поддерживая ионный гомеостаз, осмотическое равновесие и кофакторную функцию ферментов [12].

**Макроэлементы.** В мышечной ткани характерно градиентное распределение щелочно-земельных металлов  $K^+$  и  $Na^+$  по компартментам клетки, поддерживаемое  $Na^+/K^+$ -АТФазой. Ионы калия ( $K^+$ ) преобладают в цитоплазматической фракции в свободной гидратированной форме и слабых комплексах с фосфатами органических соединений, образуя эквивалент  $KCl$ , в то время как ионы натрия ( $Na^+$ ) и  $Cl^-$  концентрируются во внеклеточной жидкости, формируя диссоциированную  $NaCl$ -соль [13].

Внутриклеточная концентрация магния превышает внеклеточную в 10 раз. Внутри клетки он преимущественно аккумулируется в митохондриях, где участвует в фосфорилировании АДФ (аденозиндифосфата) до АТФ (аденозинтрифосфата) с использованием неорганического фосфата. В форме  $Mg$ -АТФ-комплекса он обеспечивает биологически активное состояние АТФ для энергетического метаболизма [14].

Фосфор содержится в метаболитах, включая структурные фосфолипиды клеточных мембран и нуклеиновые кислоты. Клеточные мембраны преимущественно формируются фосфолипидами – фосфатидилхолином и фосфатидилэтаноламином. Фосфокреатин выступает ключевым энергетическим резервом в тканях с повышенными метаболическими требованиями [15].

**Микроэлементы.** В мышечной ткани железо ( $Fe$ ) представлено преимущественно в форме гема. Гемовое железо  $Fe^{2+}$  в основном содержится в миоглобине, выполняющем функцию внутриклеточного депо и транспорта кислорода. Длительное воздействие кислорода и других окислителей приводит к окислению миоглобина с образованием формы пигмента – метмиоглобина, в котором железо из  $Fe^{2+}$  становится  $Fe^{3+}$  [16].

Медь ( $Cu$ ) входит в состав металлоферментов: церулоплазмينا, супероксиддисмутазы, тирозиназы, цитохромоксидазы, дофамин- $\beta$ -гидроксилазы и лизилоксидазы [17].

В биологических системах марганец преимущественно представлен ионами  $Mn^{2+}$  или комплексами с белковыми молекулами, полинуклеотидами и аминокислотами, интегрированными в структуру металлоферментов – аргиназы, холинэстеразы, пируваткарбоксилазы и аналогичных  $Mn$ -зависимых катализаторов метаболических процессов [18].

Установлено, что наиболее физиологически активной формой  $Cr(III)$  выступает хроммодулин, усиливающий инсулиновую сигнализацию и модулирующий углеводный обмен путем повышения чувствительности рецепторов к инсулину и оптимизации глюкозного гомеостаза [19].

В скелетных мышцах содержится существенная доля цинка, преимущественно в связанном состоянии с альбумином и  $\alpha_2$ -микроглобулином. Остальная часть цинка образует комплексы с аминокислотами (цистеином, гистидином) и анионами органических кислот [20].

Селен встроен в структуру более 30 биологически активных молекул. Большая его часть приходится на обменный пул в виде селенита, селеноводорода и производных соединений. Кроме того, селен входит в состав свыше 100 белков, среди которых селеноцистеин, который выполняет ключевую функцию в окислительно-восстановительных процессах, обеспечивая антиоксидантную защиту и метаболическую регуляцию [21].

**Физиологическая роль макро- и микроэлементов в организме.** Натрий представляет собой преобладающий катион внеклеточной жидкости, совместно с сопутствующими анионами формируя около 90% её осмоляльности [22]. Внеклеточная жидкость, составляющая около 1/3 от общего объёма жидкостей организма, содержит примерно 144 мОсм/л натрия. Остальная ее часть локализована во внутриклеточной жидкости, где концентрация натрия существенно ниже — около 10 мОсм/л [23]. Поддержание баланса воды и натрия необходимо для работы клеток, поскольку их мембраны плохо пропускают растворённые вещества. Вода перетекает осмосом из области меньшей концентрации солей (где её больше) в область большей концентрации, чтобы выровнять осмоляльность между внеклеточной и внутриклеточной жидкостями [24]. Таким образом, натрий необходим для поддержания электролитного и водного баланса (водно-минеральная регуляция).

Калий является доминирующим внутриклеточным катионом, обеспечивающим поддержание мембранного потенциала, биоэлектрическую возбудимость нервных и мышечных клеток, а также кислотно-щелочной гомеостаз. Его распределение регулируется энергозависимым клеточным поглощением калия с параллельным вытеснением натрия за счёт  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -АТФазы. Концентрация калия во внеклеточной жидкости строго поддерживается на уровне 3,5–5,5 ммоль/л (137–215 мг/л), а общий запас элемента коррелирует с мышечной массой организма [25].

Магний ( $\text{Mg}^{2+}$ ) занимает второе место по распространённости среди внутриклеточных катионов после калия и четвёртое среди всех элементов организма человека, а его общее содержание в организме составляет примерно 20–28 г. Более 99%  $\text{Mg}^{2+}$  локализовано во внутриклеточном компартменте, преимущественно (50–65%) в костной ткани, где совместно с  $\text{Ca}^{2+}$  и P он обеспечивает минерализацию скелета. 34–39% приходится на мышечную и мягкие ткани и лишь 1–2% — на внеклеточные жидкости и кровотоки [26]. Магний ( $\text{Mg}^{2+}$ ) выступает ключевым кофактором более 600 ферментативных реакций, регулируя клеточный цикл, дифференцировку и апоптоз. Он обеспечивает структурную стабильность нуклеиновых кислот, формируя комплексы с отрицательно заряженными фосфатными группами [27].

Кальций является наиболее распространённым минеральным элементом в организме человека, где более 99% его запасов (1,2–1,4 кг) локализовано в костях и зубах. Менее 1% представлено внеклеточным сывороточным кальцием, присутствующим также в минимальных количествах во всех тканях. Установлено участие кальция в вазоконстрикции/дилатации, мышечной сократимости, нервной проводимости, внутриклеточной сигнализации и гормональной секреции, причём любое нарушение сывороточного уровня влияет на указанные функции, включая повышенный судорожный риск при гипокальциемии за счёт изменений нервной возбудимости и сигнальных каскадов [28].

Фосфор поступает в организм с пищей преимущественно в форме неорганических фосфатов ( $\text{P}_i$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  или  $\text{HPO}_4^{2-}$ ) либо в составе органических соединений. Он эссенциален для млекопитающих в минерализации костей, клеточном метаболизме (через фосфорилирование и энергетические носители), формировании фосфолипидных мембран и скелетных структур, синтезе белков и нуклеиновых кислот (ДНК, РНК), а также оксигенотранспорте посредством 2,3-дифосфоглицерата. Постоянные реакции

фосфорилирования/дефосфорилирования обеспечивают динамический контроль внутри- и внеклеточного фосфорного гомеостаза [29].

**Микроэлементы.** Хром (Cr) представляет собой эссенциальный микроэлемент, модулирующий активность инсулина. Многолетние исследования подтверждают его роль в снижении инсулинорезистентности и профилактике сахарного диабета 2 типа, а также связанных сердечно-сосудистых заболеваний [30]. Хром ( $\text{Cr}^{3+}$ ), выступая кофактором инсулина, преобразует его активность, усиливая транспорт глюкозы в клетки для энергетического метаболизма. Он также участвует в регуляции углеводного и липидного обмена, кроме того, проявляет антиоксидантные свойства, нейтрализуя реактивные формы кислорода и предотвращая окислительный стресс [31].

Марганец интегрирован в структуру металлоферментов, функционирующих как лигазы, изомеразы, оксидоредуктазы, трансферазы, гидролазы и лиазы [32]. Он также является компонентом ключевых ферментов – пируваткарбоксилазы, фосфоенолпируваткарбоксилазы, глутаминсинтетазы, аргиназы и супероксиддисмутазы (MnSOD) [33]. Дефицит марганца, необходимого для множества ферментативных реакций, ассоциирован с нарушением репродуктивной функции, дефектами остеогенеза, врожденными аномалиями, ретардацией роста, а также дисфункцией липидного, белкового и углеводного метаболизма [34]. Низкие концентрации марганца в крови ассоциированы с рядом патологий, включая эпилепсию, синдром Дауна, остеопороз и болезнь Пертеса, хотя причинно-следственная роль дефицита марганца в их патогенезе остаётся неустановленной [35].

Железо (Fe) также выступает эссенциальным кофактором множества биохимических реакций. Помимо ключевой роли в гематопозе через синтез гемоглобина и оксигенотранспорт, оно необходимо для митохондриального энергетического метаболизма, репликации ДНК, иммунокомпетентности и модуляции окислительного стресса. Организм строго регулирует железо для обеспечения физиологических нужд при минимизации токсичности, однако дисбаланс гомеостаза (дефицит/избыток) провоцирует серьёзные патологии; дефицит железа остаётся глобально преобладающим нутриентным нарушением, затрагивающим примерно 1,62 млрд. человек [36].

Медь (Cu) в организме человека содержится в количестве 100–200 мг преимущественно в составе металлопротеинов (церулоплазмин, супероксиддисмутаза). Основная её аккумуляция локализована в костях, мышцах, мозге, сердце, печени и почках. Изменяя валентность, Cu обеспечивает электронный транспорт, поддерживая клеточный редокс-гомеостаз, митохондриальное дыхание и биосинтез меланина, коллагена, нейротрансмиттеров. Дефицит меди провоцирует кардиомиопатию с митохондриальной гипертрофией/фрагментацией, нарушая метаболизм железа из-за снижения активности церулоплазмينا — Cu-зависимого фермента, окисляющего  $\text{Fe}^{2+}$  до  $\text{Fe}^{3+}$  для трансферриновой транспортировки, что приводит к тканевому железодефициту при системной анемии [37].

Цинк ( $\text{Zn}^{2+}$ ) классифицируется как микроэлемент, второй по распространённости в организме человека после железа. Он реализует регуляторные, структурные и каталитические функции, входя в состав свыше 2500 белков, включая ферменты и факторы транскрипции [38]. Около 10% человеческого протеома ассоциировано с ионами  $\text{Zn}^{2+}$ , которые обеспечивают регуляцию генной экспрессии, метаболизм ДНК, стабильность хроматина, клеточную пролиферацию и апоптоз, иммунокомпетентность, когнитивные функции и антиоксидантную защиту [39]. Цинк дополнительно регулирует внутриклеточную сигнализацию и критически важен для синаптической передачи в ЦНС. Основная его функция — поддержка иммунитета, поэтому дефицит Zn повышает восприимчивость к инфекциям [40].

Селен играет ключевую роль в функционировании глутатионпероксидазы, йодтирониндейодиназ и тиоредоксинредуктазы. При дефиците селена наблюдается снижение активности глутатионпероксидазы-1 и уменьшение её уровня в сыворотке крови, служащее биомаркером селенового статуса организма. Недостаточность данного фермента ослабляет антиоксидантную защиту от окислительного стресса, а активность глутатионпероксидазы и тиоредоксинредуктазы влияет на биосинтез других эндогенных антиоксидантных ферментов, включая супероксиддисмутазу, дефицит селена которого приводит к системному снижению антиоксидантного потенциала [41,42].

**Содержание микроэлементов в мясе бройлеров.** Микроэлементный состав мяса цыплят-бройлеров представлен в исследовании, проведённом на птицефабрике КФХ «Красное подворье» (Белгородская область) с использованием кросса «Росс 308». Птицу выращивали до 38-суточного возраста в клеточных батареях (по 25 голов в ячейке). Контрольная группа получала стандартный рацион: стартовый комбикорм ПК-5-0, ростовой ПК-2-0 и финишный ПК-3. Пробы мышечной ткани отбирали на 14, 21 и 38 сутки. Анализ содержания железа, меди, цинка и марганца осуществляли атомно-абсорбционной спектрометрией на спектрофотометре SHIMADZU AA-6300 после минерализации методом мокрого озоления в микроволновой системе MARS-5 при повышенном давлении. Результаты представлены в таблице 1 [43].

Таблица 1. Микроэлементный состав мышечной ткани бройлеров «Росс 308» [43]

Показатель мг/кг	Мышечная ткань	Возраст		
		14 сут.	21 сут.	38 сут.
Железо, мг/кг	Грудка	38,5±2,98	36,2±2,87	35,2±2,60
Медь, мг/кг		1,0±0,11	1,5±0,11	1,5±0,12
Цинк, мг/кг		6,2±0,49	4,5±0,43	5,8±0,12
Марганец, мг/кг		0,3±0,03	0,3±0,01	0,3±0,04
Железо, мг/кг	Бедро	34,3±2,71	36,2±3,20	36,5±2,41
Медь, мг/кг		1,2±0,16	1,3±0,09	1,4±0,10
Цинк, мг/кг		7,9±0,59	6,9±0,67	6,8±0,74
Марганец, мг/кг		0,2±0,02	0,3±0,01	0,3±0,02
Железо, мг/кг	Голень	38,6±2,68	38,7±2,98	44,2±4,29
Медь, мг/кг		1,1±0,08	1,3±0,18	1,3±0,12
Цинк, мг/кг		7,6±0,59	8,2±0,78	8,5±0,58
Марганец, мг/кг		0,2±0,02	0,3±0,02	0,3±0,03

Анализ данных свидетельствует о стабильности содержания микроэлементов в мышечных тканях на протяжении всего периода выращивания. Содержание железа находилось в пределах 34,3–44,2 мг/кг, демонстрируя тенденцию к росту в голених (до 44,2±4,29 мг/кг к 38 суткам). Медь оставалась относительно постоянной (1,0–1,5 мг/кг) во всех анатомических зонах с максимальными значениями в бедрах к убойному возрасту (1,4±0,10 мг/кг). Цинк характеризовался более выраженной вариабельностью: минимальные концентрации наблюдались в грудной мускулатуре на 21 сутки (4,5±0,43 мг/кг), максимальные – в голених к 38 суткам (8,5±0,58 мг/кг). Марганец поддерживал низкий, но стабильный уровень (0,2–0,3 мг/кг) независимо от возраста и локализации, что типично для мышечной ткани птицы. Таким образом, микроэлементный профиль мышечной ткани бройлеров кросса «Росс 308» характеризуется стабильным содержанием железа (34–44 мг/кг), меди (1,0–1,5 мг/кг) и марганца (0,2–0,3 мг/кг) с выраженной динамикой цинка (4,5–8,5 мг/кг).

В рамках другого эксперимента исследователи Северо-Восточного сельскохозяйственного университета (г. Ачэн, координаты: 126°38' в.д., 45°45' с.ш.)

изучалось влияние систем содержания на микроэлементный профиль мяса 500 цыплят-бройлеров кросса Sanhuang (Китай). Птицу равномерно распределили на две системы выращивания – клеточную и пастбищную с 10 повторностями по 25 голов. На 63 сутки был произведён промышленный убой, где из каждой группы случайным образом выбрали по 20 бройлеров. После забоя и 24-часового охлаждения при температуре от 0 до 4°C мышечную ткань грудки и бедра (20 г) подвергли анализу. Измерение количества микроэлементов осуществляли методом ICP-MS на приборе Agilent 7500a с предварительной минерализацией проб (0,5 г) в 65% HNO<sub>3</sub> (5 мл) в закрытой микроволновой системе MARSX (SEM, США) при термоконтролируемом режиме. Результаты представлены в таблице 2 [44].

Таблица 2. Количество микроэлементов в мясе бройлеров Sanhuang при клеточном и пастбищном содержании [44]

Показатель	Мышечная ткань	Клеточное содержание		Пастбищное содержание	
		Значение	SD	Значение	SD
Цинк, мг/кг	Грудка	6,1964	0,7372	6,0765	0,1482
Медь, мг/кг		0,6461	0,2108	0,4456	0,0350
Селен, мг/кг		0,0864	0,0013	0,0894	0,0026
Марганец, мг/кг		0,1389	0,0037	0,1439	0,0139
Железо, мг/кг		7,185	7,1845	6,2020	0,3214
Хром, мг/кг		0,1796	0,0172	0,1866	0,0069
Цинк, мг/кг	Бедро	19,030	0,2920	20,2700	1,3575
Медь, мг/кг		0,7405	0,0966	0,8377	0,0680
Селен, мг/кг		0,1061	0,0032	0,1105	0,0042
Марганец, мг/кг		0,1899	0,0039	0,2326	0,0054
Железо, мг/кг		10,5550	0,3430	14,8600	1,6278
Хром, мг/кг		0,1905	0,0043	0,2205	0,0166

Данные свидетельствуют о различиях микроэлементного профиля в зависимости от технологии выращивания. В мышечной ткани грудки при клеточном содержании преобладают железо (7,18 мг/кг) и цинк (6,20 мг/кг), медь составляет 0,65 мг/кг. При пастбищном содержании были определены аналогичные показатели: железо 6,20 мг/кг, цинк 6,08 мг/кг, медь снижена до 0,45 мг/кг. Бедренная мускулатура характеризуется значительно более высокими концентрациями всех микроэлементов. При клеточном содержании: цинк 19,03 мг/кг, железо 10,56 мг/кг, медь 0,74 мг/кг. Пастбищное содержание повышает уровни микроэлементов: цинк до 20,27 мг/кг, железо до 14,86 мг/кг, медь до 0,84 мг/кг, марганец – 0,233 мг/кг. Пастбищное содержание бройлеров обеспечивает более высокое накопление микроэлементов в бедренной мускулатуре, тогда как в грудке различия минимальны. Это указывает на преимущество пастбищного содержания для повышения минеральной ценности мяса.

В ещё одном эксперименте участвовали 50 однодневных цыплят-бройлеров кросса Росс 308 (Aviagen, Краков, Малопольское воеводство, Польша). Птицу кормили трёхфазным рационом: стартовым (0–21 сут), ростовым (22–35 сут) и откормочным (36–42 сут). В этом исследовании анализировали макро- и микроэлементный состав грудных и ножных мышц. Образцы большой и малой грудных мышц замораживали при -18 °C с последующим хранением до химического анализа. Содержание Ca, Mg, Fe, Zn, Cu измеряли пламенной атомно-абсорбционной спектрометрией (FAAS, Unicam 939/959AA-6300, Shimadzu Corp., Япония) по польскому стандарту PN-EN ISO 6869 (n=3). Пробоподготовка включала сушку при 65°C (24 ч) и 105°C (24 ч), минерализацию в муфельной печи (450°C, 12 ч, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> как окислитель), растворение золы в 1 M HNO<sub>3</sub>. Общий фосфор определяли колориметрически

на спектрофотометре Helios Alpha UV-vis (Unicam, Великобритания). Результаты анализа представлены в таблице 3 [45].

Таблица 3. Микро- / макроэлементный состав мышечной ткани цыплят-бройлеров кросса Росс 308 в возрасте 42 дня [45]

Показатель	Мышечная ткань	Значение
Кальций, мг/кг	Грудка	280,2
Фосфор, мг/кг		2400,01
Магний, мг/кг		164,3
Железо, мг/кг		4,73
Цинк, мг/кг		4,96
Медь, мг/кг		0,45
Кальций, мг/кг		Бедро
Фосфор, мг/кг	1941,2	
Магний, мг/кг	211,1	
Железо, мг/кг	6,47	
Цинк, мг/кг	15,2	
Медь, мг/кг	0,78	

Из данной таблицы мы видим, что грудная мышечная ткань характеризуется высоким содержанием фосфора (2400,01 мг/кг) и кальция (280,2 мг/кг), магний составил 164,3 мг/кг. Среди микроэлементов преобладает железо (4,73 мг/кг) и цинк (4,96 мг/кг), медь — 0,45 мг/кг. Мышечная ткань бедра отличается повышенным уровнем фосфора (1941,2 мг/кг) и магния (211,1 мг/кг), кальций снижен до 80,7 мг/кг. Железо достигло 6,47 мг/кг, цинк существенно выше — 15,2 мг/кг, медь — 0,78 мг/кг. Минеральный профиль мышечной ткани бройлеров кросса Росс 308 демонстрирует анатомическую специфику: грудное мясо аккумулирует в большем количестве таких элементов, как кальций и фосфор, а бедренное — цинк и железо.

Следующий эксперимент проведён на 28 цыплятах-бройлерах кросса Росс-308 (инкубатор Złotoryja, Польша). Птице вволю скармливали стандартные изоэнергетические и изопротеиновые рационы: стартовый (1–10 сут.), ростовой (11–25 сут.) и финишный (26–43 сут.) на основе пшеницы, кукурузы и соевых жмыхов. Убой осуществили на 43 сутки. Фарш замораживали (-18 °С, 12 ч) с последующей лиофилизацией (Edwards Modulyo, -55 °С, 48-72 ч) до постоянной массы и измельчением (WŻ-1, Польша). Для пробоподготовки навески сублимированного мяса (0,3 г для Ca, Mg, K, Na; 1,0 г для Cu, Mn, Zn, Fe) минерализовали смесью  $\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{O}_2$  (2:3) в микроволновой системе MarsXpress (190-195 °С), доводили до 50 мл водой. При анализе макро- (K, Na, Ca, Mg) и микроэлементы (Zn, Fe, Mn, Cu) определяли пламенной атомно-абсорбционной спектрометрией (AA 240FS, Varian) по методикам AOAC (Association of Official Analytical Chemists); фосфор — спектрофотометрией с ванадомолибдатом аммония (Specol 11, 470 нм) после минерализации  $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$  (MarsX9). Результаты выражены в мг/кг сухой массы и представлены в таблице 4 [46].

Таблица 4. Содержание макро- и микроэлементов в грудке и бедре 43-дневного бройлера кросса Росс-308 [46]

Показатель	Мышечная ткань	Значение
Фосфор, мг/кг	Грудка	8273,0
Натрий, мг/кг		2927,0
Кальций, мг/кг		198,0
Калий, мг/кг		8482,0
Магний, мг/кг		958,0
Железо, мг/кг		85,1
Цинк, мг/кг		28,1
Медь, мг/кг		11,1
Марганец, мг/кг		1,9
Фосфор, мг/кг		Бедро
Натрий, мг/кг	3356,0	
Кальций, мг/кг	320,0	
Калий, мг/кг	6004,0	
Магний, мг/кг	844,0	
Железо, мг/кг	73,6	
Цинк, мг/кг	50,9	
Медь, мг/кг	8,0	
Марганец, мг/кг	1,5	

Мясо грудки характеризуется высоким уровнем фосфора (8273,0 мг/кг) и калия (8482,0 мг/кг). Натрий составил 2927,0 мг/кг, магний — 958,0 мг/кг, кальций — 198,0 мг/кг. Среди микроэлементов лидирует железо (85,1 мг/кг), затем цинк (28,1 мг/кг), медь (11,1 мг/кг) и марганец (1,9 мг/кг). Бедренное мясо содержит меньше фосфора (6823,0 мг/кг) и калия (6004,0 мг/кг), но больше кальция (320,0 мг/кг) и натрия (3356,0 мг/кг). Магний снижен до 844,0 мг/кг. Железо — 73,6 мг/кг, цинк значительно повышен (50,9 мг/кг), медь — 8,0 мг/кг, марганец — 1,5 мг/кг. Калий и фосфор стабильно выше в грудке, цинк, железо и медь выше в мышечной ткани бедра. Подобная тенденция прослеживается в эксперименте Al-Yasiry A.R. M., et.al. (2017), представленном выше.

**Сравнение минеральной ценности бройлерного мяса со средней суточной потребностью взрослого человека в макро- и микронутриентах.** Макро- и микроэлементы представляют собой эссенциальные питательные вещества, дефицит которых нарушает метаболизм, гомеостаз и функциональную активность систем организма. Они обеспечивают поддержание осмотического давления и кислотно-щелочного равновесия, нервно-мышечную проводимость, активацию ферментов, биосинтез гемоглобина, гормонов и костной ткани. Недостаток приводит к анемии, остеопорозу, иммуносупрессии и нарушениям в сердечно-сосудистой системе, что определяет их ключевую роль в профилактике патологий [47]. Таким образом, рассмотрим минеральную

питательность мяса бройлеров в соответствии с нормами потребления их человеком (табл. 5).

Таблица 5. Нормы потребления макро- и микронутриентов человеком в сутки и содержание их в мясе бройлеров [48]

Показатель	Среднее содержание в грудке, мг/ 300 г	Среднее содержание в бедре, мг/ 300 г	Показатель	Нормы потребления на голову в сутки		
				Мужчин	Женщин	Детей (до 18 лет)
Кальций	71,7300	60,1050	Кальций, мг	1000	1000	400-1200
Фосфор	1600,9515	1314,63	Фосфор, мг	800	800	300-1200
Магний	168,3450	158,265	Магний, мг	400	400	55 – 400
Калий	2544,6000	1801,2000	Калий, мг	2500	2500	400 – 2500
Натрий	878,1000	1006,8000	Натрий, мг	1300	1300	200 – 1300
Железо	8,3050	8,5191	Железо, мг	10	18	4,0 – 18
Цинк	3,068	6,7320	Цинк, мг	12	12	3,0 – 12
Медь	0,8485	0,7055	Медь, мг	1,0	1,0	0,5 – 1,0
Марганец	0,1862	0,1666	Марганец, мг	2,0	2,0	-
Селен	0,0263	0,0324	Селен, мг	0,07	0,055	0,01 – 0,05
Хром	0,0549	0,0616	Хром, мг	0,05	0,05	0,01- 0,04

Данные таблицы демонстрируют высокую минеральную насыщенность мяса бройлеров при расчете на порцию потребления в 300 г на человека в сутки. Грудка и бедро показывают близкие значения с отличным покрытием суточных норм: фосфор 1315–1601 мг/300 г (165–200% от 800 мг), калий 1801–2545 мг/300 г (72–102% от 2500 мг), железо 8,3–8,5 мг/300 г (46–85% от 10–18 мг), цинк 3,1–6,7 мг/300 г (26–56% от 12 мг), медь 0,71–0,85 мг/300 г (71–85% от 1,0 мг). Селен (0,026–0,032 мг/300 г, 37–58% от 0,055–0,07 мг) и хром (0,055–0,062 мг/300 г, 110–123% от 0,05 мг) также идеально соответствуют норме. Несмотря на анатомические различия мышечной ткани грудки и бедра, возраста птицы, а также кросса, мясо бройлеров стабильно покрывает 50–200% суточной нормы потребления человеком для всех ключевых макро- (P, K, Mg) и микроэлементов (Fe, Zn, Cu, Se, Cr), подтверждая высокую пищевую ценность продукта для профилактики дефицитов у всех возрастных групп.

**Заключение.** Несмотря на наблюдаемую неоднородность микроэлементного состава в мясе бройлеров, обусловленную анатомическими особенностями мышечных тканей, кроссом птицы, возрастом убоя и технологией содержания, продукция птицеводства сохраняет высокую минеральную полноценность.

Стоит отметить, что мясо бройлеров наиболее полно отвечает суточным потребностям человека при потреблении 300 г на голову в сутки в фосфоре (165–200%), калии (72–102%), железе (46–85% РСН), цинке (26–56%), меди (71–85%), селене (37–58%) и хrome (110–123%), что делает его отличным источником для профилактики дефицитов этих элементов у взрослых и детей. Частичное покрытие обеспечивает в магнии (40–42% 400 мг) и натрии (67–77%) и наименее полноценно покрывает в кальции – всего 6–7% (60–72 мг/300 г при норме 1000 мг), что требует дополнения другими продуктами питания.

В итоге мясо птицы позиционируется, как стратегический источник минерального гомеостаза, эффективно предотвращающий дефициты, связанные с анемией,

иммуносупрессией и метаболическими нарушениями, особенно в условиях глобального демографического роста и усиления продовольственного спроса.

Таким образом, данный обзор подчеркивает стратегическую роль птицеводства как адаптивного сектора АПК, способного обеспечить минеральный гомеостаз растущего населения при сохранении экономической эффективности.

Исследование выполнено в рамках гранта РНФ 22-16-00024-П.

## Литература

1. Bist R.B. et al. Sustainable poultry farming practices: a critical review of current strategies and future prospects // *Poultry Science*. 2024. Vol. 103. № 12. P. 104295.
2. Tona G.O. Current and Future Improvements in Livestock // *Animal husbandry and nutrition*. 2018. Vol. 147.
3. Обзор ВЭД: Мясо птицы: [Электронный ресурс]. М., 2025. URL: [https://aemcx.ru/wp-content/uploads/2025/05/obzor-ved\\_myaso-pticy.pdf](https://aemcx.ru/wp-content/uploads/2025/05/obzor-ved_myaso-pticy.pdf) (дата обращения 14.02.26).
4. Marangoni F. et al. Role of poultry meat in a balanced diet aimed at maintaining health and wellbeing: an Italian consensus document // *Food & nutrition research*. 2015. Vol. 59. № 1. P. 27606.
5. Ребезов Я.М., Окушанова Э.К., Топурия Г.М. Производство деликатесных продуктов из мяса птицы (патентный поиск) // *Техника. Технологии. Инженерия*. 2016. № 1. С. 77 – 81.
6. Korish M.A., Attia Y.A. Evaluation of heavy metal content in feed, litter, meat, meat products, liver, and table eggs of chickens // *Animals*. 2020. Vol. 10. № 4 P. 727.
7. Kralik G. et al. Quality of chicken meat // *Animal husbandry and nutrition*. 2018. Vol. 63. P. 63 – 94.
8. Lorincz C., Manske S. L., Zernicke R. Bone health: part 1, nutrition // *Sports Health*. 2009. Vol. 1. № 3. P. 253 – 260.
9. Ciosek Ž. et al. The effects of calcium, magnesium, phosphorus, fluoride, and lead on bone tissue // *Biomolecules*. 2021. Vol. 11. № 4. P. 506.
10. Pierson H., Yang H., Lutsenko S. Copper transport and disease: what can we learn from organoids? // *Annual review of nutrition*. 2019. Vol. 39. № 1. P. 75 – 94.
11. Valceschini E. Poultry meat trends and consumer attitudes. 2006.
12. Газетдинов Р.Р., Абдулгафарова Г.Х. Биогенность металлов // *Международ. студенческий науч. вестник*. 2022. № 4. С. 4.
13. Кострова М.Г., Мурашев С.В. Влияние солей сильных электролитов на гидратацию и изоэлектрическую точку белков // *Науч. журн. НИУ ИТМО. Сер. «Процессы и аппараты пищевых производств»*. 2014. № 2. С. 17.
14. Liguori S. et al. Role of magnesium in skeletal muscle health and neuromuscular diseases: a scoping review // *International journal of molecular sciences*. 2024. Vol. 25. № 20. P. 11220.
15. Hinkley J.M., Coen P.M. Muscle phosphorus metabolites in sarcopenia // *Aging (Albany NY)*. 2020. Vol. 12. № 16. P. 15880.
16. Соколова О.Я., Гальцева Е.Ю. Изучение состава мышечной ткани. 2018.
17. Карнаухова И.В., Ширяева О.Ю. Исследование содержания меди и активности медь-зависимой супероксиддисмутазы в организме человека // *Науч. обозрение. Биологические науки*. 2018. № 2. С. 10 – 14.
18. Беслекоева Э.Д., Неелова О.В. Биологическая роль соединений марганца // *Успехи соврем. естествознания*. 2011. № 8. С. 222 – 222.
19. Гиясов К., Аманов Р.У., Мамедова М.Н. Применение соединения хрома в обмене белков, жиров и углеводов // *Вестн. науки и образования*. 2023. № 11 (142)-1. С. 62 – 64.
20. Лебедева С.А. и др. Молекулярные аспекты ранозаживляющего действия цинка как эссенциального микроэлемента // *Микроэлементы в медицине*. 2022. Т. 23. № 1. С. 14.
21. Бубнова Н.В. и др. Биологическая роль селена (обзор литературы) // *Acta Medica Eurasica*. 2023. № 2. С. 114 – 123.
22. Bie P. Mechanisms of sodium balance: total body sodium, surrogate variables, and renal sodium excretion // *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*. 2018. Vol. 315. № 5. P. R945 – R962.
23. Verbalis J.G., Stricker E.M. Neuroendocrine regulation of fluid intake and homeostasis // *Neuroendocrinology in Physiology and Medicine*. Totowa, NJ: Humana Press, 2000. P. 317 – 334.
24. Noda M., Matsuda T. Central regulation of body fluid homeostasis // *Proceedings of the Japan Academy, Series B*. 2022. Vol. 98. № 7. P. 283 – 324.
25. Frassetto L.A. et al. Potassium // *Advances in Nutrition*. 2023. Vol. 14. № 5. P. 1237 – 1240.

26. Ahmed F., Mohammed A. Magnesium: the forgotten electrolyte—a review on hypomagnesemia // *Medical Sciences*. 2019. Vol. 7. № 4. P. 56.
27. Caspi R. et al. The MetaCyc database of metabolic pathways and enzymes and the BioCyc collection of pathway/genome databases // *Nucleic acids research*. 2016. Vol. 44. № D1. P. D471 – D480.
28. Beto J.A. The role of calcium in human aging // *Clinical nutrition research*. 2015. Vol. 4. № 1. P. 1.
29. Bird R.P., Eskin N.A.M. The emerging role of phosphorus in human health // *Advances in food and nutrition research: Academic Press*, 2021. Vol. 96. P. 27 – 88.
30. Haider A.M. et al. The role of chromium supplementation in cardiovascular risk factors: A comprehensive reviews of putative molecular mechanisms // *Heliyon*. 2023. Vol. 9. № 9.
31. Iskra R., Antonyak H. Chromium in health and longevity // *Trace Elements and Minerals in Health and Longevity*. Cham: Springer International Publishing, 2018. P. 133 – 162.
32. Zhang Y., Zheng J. Bioinformatics of metalloproteins and metalloproteomes // *Molecules*. 2020. Vol. 25. № 15. P. 3366
33. Balachandran R.C. et al. Brain manganese and the balance between essential roles and neurotoxicity // *J. of Biological Chemistry*. 2020. Vol. 295. № 19. P. 6312 – 6329.
34. Baj J. et al. Consequences of disturbing manganese homeostasis // *International journal of molecular sciences*. 2023. Vol. 24. № 19. P. 14959.
35. Hailer Y.D., Hailer N.P. Is Legg-Calvé-Perthes disease a local manifestation of a systemic condition? // *Clinical Orthopaedics and Related Research®*. 2018. Vol. 476. № 5. P. 1055 – 1064.
36. Obeagu E.I. Iron homeostasis and health: understanding its role beyond blood health—a narrative review // *Annals of Medicine and Surgery*. 2025. Vol. 87. № 6. P. 3362 – 3371.
37. Fu Y. et al. The physiological role of copper: Dietary sources, metabolic regulation, and safety concerns // *Clinical Nutrition*. 2025. Vol. 48. P. 161 – 179.
38. Kambe T. et al. The physiological, biochemical, and molecular roles of zinc transporters in zinc homeostasis and metabolism // *Physiological reviews*. 2015.
39. Gelbard A. Zinc in cancer therapy revisited // *Isr. Med. Assoc. J.* 2022. Vol. 24. № 4. P. 258 – 262.
40. Chasapis C.T. et al. Recent aspects of the effects of zinc on human health // *Archives of toxicology*. 2020. Vol. 94. № 5. P. 1443 – 1460.
41. Barchielli G., Capperucci A., Tanini D. The role of selenium in pathologies: an updated review // *Antioxidants*. 2022. Vol. 11. № 2. P. 251.
42. Das K.C., Lewis-Molock Y., White C.W. Elevation of manganese superoxide dismutase gene expression by thioredoxin // *American journal of respiratory cell and molecular biology*. 1997. Vol. 17. № 6. P. 713 – 726.
43. Иванова Н.Н., Шпилов В.В. Микроэлементный состав мышечной ткани цыплят-бройлеров на фоне применения комплексной кормовой добавки // *Вестн. Ульяновской ГСХА*. 2021. № 4 (56). С. 162 – 166.
44. Wei C.B. et al. Trace mineral content of conventional and free-range broiler chickens analyzed by inductively coupled plasma mass spectrometry // *Chemical Engineering Transactions*. 2016. Vol. 51. – С. 805 – 810.
45. Al-Yasiry A.R.M., Kiczorowska B., Samolińska W. Effect of *Boswellia serrata* resin supplementation on basic chemical and mineral element composition in the muscles and liver of broiler chickens // *Biological trace element research*. 2017. Vol. 179. № 2. P. 294 – 303.
46. Goluch Z. et al. The energy and nutritional value of meat of broiler chickens fed with various addition of wheat germ expeller // *Animals*. 2023. Vol. 13. № 3. P. 499.
47. Mehri A. Trace elements in human nutrition (II)—an update // *International journal of preventive medicine*. 2020. Vol. 11. № 1. P. 2.
48. Тутельян В.А. и др. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации: метод. Рекомендации. М.: Гос. сан.-эпидемиолог. нормирование РФ, 2021.