

Зоотехния и ветеринария

УДК: 573.6:[636.5.033+577.121/.128]

DOI: 10.31857/S2500262722060096, EDN: МКНАНУ

ОЦЕНКА ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА СЫВОРОТКИ КРОВИ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ НА ФОНЕ РАЗЛИЧНОЙ НУТРИЕНТНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ РАЦИОНА

С.В. Лебедев, доктор биологических наук, Т.В. Казакова, О.В. Маршинская

Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий РАН,
460000, Оренбург, ул. 9 Января, 29
E-mail: vaisvais13@mail.ru

Исследования проводили с целью оценки элементного состава сыворотки крови цыплят-бройлеров на фоне различной нутриентной обеспеченности рациона. Семидневных цыплят-бройлеров (n=120) разделяли на четыре группы. Птица в контрольной получала основной рацион, I, II, III опытных групп – рацион с высоким содержанием белка, углеводов и жиров, соответственно. Динамику ростовых показателей оценивали еженедельно. По окончании эксперимента проводили забор крови для биохимического и элементного анализа. Биохимический анализ осуществляли на автоматическом биохимическом анализаторе, уровни химических элементов в сыворотке птиц оценивали методом спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Высокобелковая диета сопровождалась снижением массы тела птиц, холестерина, фиксировали повышение уровня Ca, Co и Si на фоне снижения P, Cr, Cu, Zn и B. Высокоуглеводная диета не оказывала значительного эффекта на физиологические параметры птиц, однако отмечали достоверное повышение уровня глюкозы на фоне тенденции к снижению содержания альбумина и триглицеридов; наблюдали изменения в кальций-фосфорном обмене, а также снижение содержания ряда микроэлементов – Cr, Mn, Se, I и Cu. Высокожировая диета приводила к увеличению массы, повышению уровня глюкозы, холестерина и триглицеридов, отмечали снижение содержания Mg, Cr и Fe на фоне достоверного увеличения Cu, Zn и Si. В целом, на фоне используемых диет у бройлеров произошли изменения в биохимическом и минеральном обмене. Это может запустить каскад нарушений, приводящих к снижению скорости роста и минерализации костной ткани птиц.

EVALUATION OF THE ELEMENTAL COMPOSITION OF THE BLOOD SERUM OF BROILER CHICKENS AGAINST THE BACKGROUND OF DIFFERENT NUTRIENT SUPPLY OF THE DIET

Lebedev S.V., Marshinskaia O.V., Kazakova T.V.

Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the RAS,
460000, Orenburg, ul. 9 Yanvarya, 29
E-mail: vaisvais13@mail.ru

The aim of the study was to evaluate the elemental composition of the blood serum of broiler chickens against the background of different nutritional security of the diet. Seven-day-old broiler chickens (n=120) were divided into several groups: the control group received the main diet, the birds of the I, II, III experimental groups received a diet high in protein, carbohydrates and fats, respectively. The dynamics of growth indicators were evaluated weekly. At the end of the experiment, blood sampling was carried out for biochemical and elemental analysis. Biochemical analysis was carried out on an automatic biochemical analyzer, the levels of chemical elements in the serum of birds were evaluated using inductively coupled plasma spectrometry. The high-protein diet was accompanied by a decrease in body weight of birds, cholesterol, an increase in Ca, Co and Si levels was recorded against the background of a decrease in P, Cr, Cu, Zn and B. The high-carbohydrate diet did not have a significant effect on the physiological parameters of birds, however, there was a significant increase in glucose levels against the background of a tendency to decrease the level of albumin and triglycerides; changes in calcium-phosphorus metabolism were detected, a decrease in the content of a number of trace elements – Cr, Mn, Se, I and Cu was recorded. A high-fat diet led to an increase in weight, an increase in glucose, cholesterol and triglycerides, a decrease in Mg, Cr and Fe levels was noted against the background of a significant increase in Cu, Zn and Si. Thus, against the background of the consumption of the diets used in broilers, changes in biochemical and mineral metabolism were revealed. Such violations can trigger a cascade of violations, leading to a decrease in the growth rate and mineralization of the bone tissue of birds.

Ключевые слова: цыплята-бройлеры, кормление, сыворотка крови, микроэлементы, минеральный обмен.

Key words: broiler chickens, feeding, blood serum, trace elements, mineral metabolism.

Птицеводство – один из наиболее значимых сегментов сельскохозяйственного сектора во всем мире. По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединённых Наций, производство мяса птицы, в первую очередь бройлеров, к 2050 г. может достичь 181 млн т (для сравнения, в 2007 г. объем производства составлял около 82 т) [1]. Такое увеличение производства объясняется, главным образом, ростом населения, особенно в развивающихся странах [2].

Следует отметить, что за последние 60 лет птицеводство значительно продвинулось вперед – стандарты разведения бройлеров постоянно улучшались в течение

всего этого периода, и сейчас живая масса бройлеров в возрасте 33...35 дней может достигать 2,6 кг [3]. Ввиду устойчивого роста производства разрабатываются новые подходы к сохранению его темпов с удешевлением кормов для достижения более высоких пороговых значений продуктивности, увеличения количества и качества производимой продукции, снижения негативного воздействия на окружающую среду, а также более экономичного производства мяса [4]. Постоянный рост цен на компоненты питания птицы и, как следствие, снижение прибыли сельхозтоваропроизводителей указывает на необходимость разработки сбалансированного, эф-

*работа выполнена при поддержке Российского научного фонда в рамках научного проекта No.21-16-00009.

фективного и одновременно экономически выгодного корма. В связи с этим сейчас разрабатывают всё новые и новые рационы, появляются альтернативные источники корма для птиц [5]. В разряд эффективных компонентов рациона в качестве главного структурного материал организма входит протеин [6]. Углеводы и жиры, ввиду их способности усиливать метаболизм, важны для быстрорастущих животных и изменение их содержания в рационе может повлиять на ряд метаболических процессов и привести к нарушению баланса микрофлоры кишечника [7]. При этом результаты исследований по изучению пользы или вреда диет с высоким и низким содержанием сырого протеина и аминокислот в корме до сих пор противоречивы [8].

В этой связи особую актуальность имеет определение элементного статуса, как показателя, характеризующего эффективность кормления бройлеров. Подобные сведения важны для разработки новых методов диагностики состояния здоровья птиц, которые могут в дальнейшем применяться в производстве. Так, элементный состав крови способен изменяться под влиянием кратковременных воздействий, связанных с текущим поступлением микроэлементов с пищей или, например, с приемом препаратов [9]. В свою очередь, микроэлементы играют центральную роль во многих метаболических процессах и отражают состояние организма.

В связи с изложенным, цель исследования – оценить элементный состав сыворотки крови цыплят-бройлеров на фоне различной нутриентной обеспеченности рациона.

Методика. Экспериментальные исследования проводили в соответствии с инструкциями и рекомендациями российских нормативных актов (Приказ Минздрава СССР № 755 от 12.08.1977 «О мерах по дальнейшему совершенствованию организационных форм работы с использованием экспериментальных животных»), протоколами Женевской конвенции и принципами надлежащей лабораторной практики (Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 53434-2009). Все процедуры над животными выполняли в соответствии с правилами Комитета по этике животных ФНЦ БСТ РАН.

Объект исследования цыплята-бройлеры кросса Арбор Айкросс (ЗАО «Птицефабрика Оренбургская»). Работу проводили в лаборатории биологических испытаний и экспертиз ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (аттестат аккредитации Госстандарта России – РА.RU21ПФ59 от 02.12.2015 г.). После подготовительного периода с 7-суточного возраста цыплят-бройлеров разделили на четыре группы по 30 голов в каждой. Контрольная группа получала рацион, сбалансированный по рекомендациям ВНИТИП (2014). В рационе I опытной группы было увеличено содержание белка путем включения 10 % казеина от сухого вещества (СВ) рациона, во II опытной – углеводов (10 % декстрозы от СВ рациона), III – жира (10 % подсолнечного масла от СВ рациона). Цыплята имели свободный доступ к корму и воде.

Согласно рекомендациям по питанию, цыплят-бройлеров в период эксперимента выращивали на трехфазной диете. Стартовый рацион давали с 0 по 10 день, ростовой – с 11 по 20 день и финишный – с 21 по 35 день. В состав корма входили следующие ингредиенты: пшеница, ячмень, кукуруза, соя, соевый шрот, подсолнечный шрот, подсолнечное масло, известняковая мука, поваренная соль, мясная мука, аминокислоты, витаминно-минеральный премикс.

Длительность эксперимента составила 28 дней. Птицу содержали в клетках КБ-20-2я. Температурный режим и относительная влажность соответствовала нормам, рекомендуемым для выращивания бройлеров, программа фотопериода – Европейскому регламенту социального обеспечения 43/2007 (Директива Совета 2007/43/ЕС, устанавливающая минимальные правила защиты цыплят, содержащихся для производства мяса).

Динамику ростовых показателей оценивали путём индивидуального взвешивания птиц на 7, 14, 21, 28 и 35 сутки эксперимента до кормления. На основании результатов взвешиваний рассчитывали среднесуточный прирост. Коэффициент конверсии корма вычислял на 35-й день эксперимента. Смертность регистрировали при ее возникновении, общее состояние здоровья контролировали в течение всего экспериментального периода.

Отбор проб крови у птиц проводили в утренние часы до кормления из подкрыльцовой вены. Для забора крови использовали вакуумные пробирки с активатором свертывания крови и гелем для отделения эритроцитарной массы (Greiner Bio-One International AG, Австрия). Пробирки Эппендорфа с сывороткой подвергали низкотемпературному замораживанию (-70 °С) и хранили в низкотемпературном холодильнике 803CV (Thermo Fisher Scientific, Германия) до проведения анализа. Для анализа использовали образцы сыворотки крови без признаков гемолиза.

Биохимический анализ сыворотки крови проводили на автоматическом биохимическом анализаторе CS-T240 («Dirui Industrial Co., Ltd», Китай) с использованием коммерческих биохимических наборов Randox (США). Он включал определение глюкозы, общего белка, альбумина, общего холестерина и триглицеридов. Исследования выполняли в ЦКП БСТ РАН.

Для проведения элементного анализа сыворотки крови полученные образцы сыворотки разбавляли (1:15; в/в) подкисленным (pH = 2,0) разбавителем, состоящим (в/в) из 1 % 1-бутанола (Merck KGaA, Дармштадт, Германия), 0,1 % Triton X-100 (Sigma-Aldrich, Co., Сент-Луис, США) и 0,07 % HNO₃ (Sigma-Aldrich, Co., Сент-Луис, США) в дистиллированной деионизированной воде (18 МОМ см⁻¹) (Merck Millipore, Биллерика, Массачусетс, США). Последующее определение макроэлементов (Ca, K, Mg, Na, P); жизненно необходимых микроэлементов (Co, Cr, Cu, Fe, I, Li, Mn, Se, Si, V, Zn) и токсичных микроэлементов (As, B, Cd, Hg, Ni, Pb, Sn, Sr) в образцах проводили с использованием спектрометра NexION 300D (Perkin Elmer, США). Эти аналитические процедуры выполняли в лаборатории Центра биотической медицины (Москва, Россия).

Статистическую обработку полученных данных проводили методами вариационной статистики с использованием статистического пакета «STATISTICA 10» (StatSoft Inc., США). Хранение результатов исследования и первичную обработку материала осуществляли в оригинальной базе данных «Excel 2010» (Microsoft, США). По результатам проверки с использованием критерия согласия Шапиро-Уилка гипотеза о принадлежности данных нормальному распределению была отклонена во всех случаях с вероятностью 95 %, что обосновало применение непараметрических процедур обработки статистических совокупностей (U-критерий Манна-Уитни). Полученные данные представлены в виде медианы (Me) и 25...75-ого перцентилей (Q₂₅-Q₇₅). Во всех процедурах статистического анализа рассчитывали достигнутый уровень значимости (p), при этом критический уровень значимости принимался меньшим или равным 0,05. Взаимосвязи между параметрами оценивали методом ранговых корреляций Спирмена. Для

Табл. 1. Физиологические показатели цыплят-бройлеров при различной нутриентной обеспеченности рациона, г*

День	Контрольная группа	I опытная группа	II опытная группа	III опытная группа
Масса тела, г				
7	186,1 (180,2...188,5)	186,0 (176,7...189,6)	180,0 (175,0...182,6)	183,0 (181,8...186,5)
14	451,3 (448,5...456,5)	445,3 (421,5...458,5)	452,0 (451,2...458,0)	485,7 (479,0...489,5) ^c
21	862,3 (855,0...866,5)	815,1 (801,7...835,5) ^a	863,1 (858,0...864,4)	895,2 (893,7...895,9) ^{cc}
28	1447,7 (1429,1...1487,0)	1161,0 (1057,1...1265,7)	1415,0 (1413,0...1417,0)	1509,5 (1500,0...1516,6)
35	2202,0 (2109,5...2210,5)	1922,2 (1860,5...2174,1) ^a	2107,5 (2104,0...2109,5)	2467 (2292...2522) ^c
Среднесуточный прирост, г/сут				
7...35	72,0 (68,8...72,2)	62,1 (58,4...70,04) ^{aa}	68,9 (68,7...69,0)	81,2 (75,2...83,5) ^c
Потребление корма, г/гол				
7...35	4441,0 (4105,5...4907,6)	4115,2 (4001,0...4457,5)	4224,7 (4988,0...4333,6)	4003,5 (4789,2...4149,5) ^c
Коэффициент конверсии корма				
35	2,2 (1,9...2,3)	2,27 (2,0...2,3)	2,2 (2,0...2,3)	1,75 (1,6...2,0) ^c

*примечание (здесь и далее): а – (p≤0,05); aa – (p≤0,01); aaa – (p≤0,001) – p-уровень при сравнении I опытной группы с контрольной; b – (p≤0,05); bb – (p≤0,01); bbb – (p≤0,001) – p-уровень при сравнении II опытной группы с контрольной; c – (p≤0,05); cc – (p≤0,01); ccc – (p≤0,001) – p-уровень при сравнении III опытной группы с группой.

определения тесноты связи между изучаемыми признаками вычисляли коэффициента корреляции (r), которые оценивали следующим образом: менее 0,3 – слабая связь, от 0,3 до 0,5 – умеренная, от 0,5 до 0,7 – значительная, от 0,7 до 0,9 – сильная и более 0,9 – очень сильная [10].

Результаты и обсуждение. В I опытной группе фиксировали меньшую живую массу бройлеров на протяжении всего эксперимента, по сравнению с контрольной. Однако статистически достоверные отличия наблюдали только на 21 и 35 день эксперимента – ниже более чем на 5 % (p≤0,05) и 13 % (p≤0,05). Следует отметить, что среднесуточный прирост птиц первой опытной группы также был достоверно ниже на 14 % (p≤0,01) (табл. 1).

У цыплят-бройлеров II опытной группы живая масса в первые недели эксперимента практически не отличалась от контрольных значений, однако к концу исследования наблюдалась тенденция к снижению, как массы тела, так и среднесуточного прироста.

У птиц III опытной группы отмечали наиболее значительные изменения массы – на 14-ый день эксперимента она была выше, чем в контроле, на 8 % (p≤0,03), на 21 день – на 4 % (p≤0,002), на 35 день – на 12 % (p≤0,05). Среднесуточный прирост также статистически значимо превышал величину этого показателя в контроле на 13 % (p≤0,05).

В I и II опытных группах наблюдали тенденцию к уменьшению количества потребляемого корма, относительно контроля, у птиц III опытной группы уровень его потребления достоверно снижался на 10 % (p≤0,04). Следует отметить, коэффициент конверсии корма статистически достоверно снижался только в III опытной группе на 0,45 единиц.

Включение в рацион птиц дополнительного казеина способствовало снижению холестерина (на 14 %, p=0,05) в сыворотке крови птиц опытной группы, также отмечали тенденцию к уменьшению содержания триглицеридов (табл. 2). При введении в рацион бройлеров сахарозы наблюдали статистически достоверное повышение уровня глюкозы крови на 7 % (p=0,02) на фоне тенденции к снижению содержания альбумина и триглицеридов. Потребление рациона с повышенной концентрацией жира приводило к увеличению уровня глюкозы на 4 % (p=0,05), холестерина – на 3 % (p=0,01), триглицеридов – на 60 % (p=0,03).

По результатам элементного анализа сыворотки крови птиц на 35 день эксперимента у бройлеров I опытной группы отмечали изменения в минеральном обмене, которые характеризовались достоверным повышением уровня Ca, относительно контроля, на 22 % (p=0,01), Co – на 217 % (p=0,003), Si – на 60 % (p=0,05). На этом фоне содержание ряда макро- и микроэлементов снижалось: P – на 44 % (p=0,01), Cr – на 18 % (p=0,02), Zn – на 5 % (p=0,02), Cu – на 14 % (p=0,05) и B – на 17 % (p=0,02) (табл. 3).

Во II опытной группе также наблюдали изменения в кальций-фосфорном обмене, которые сопровождались статистически достоверным повышением уровня Ca, по сравнению с величиной этого показателя в контроле, на 14 % (p=0,003) на фоне снижения P на 26 % (p=0,02). Отмечали достоверное уменьшение содержания ряда эссенциальных микроэлементов: Cr – на 21 % (p=0,05), Cu – на 18 % (p=0,002), I – на 34 % (p=0,01), Mn – на 84 % (p=0,02) и Se – на 21 % (p=0,03).

У птиц III опытной группы наблюдали уменьшение уровня Mg на 36 % (p=0,003), Cr – на 33 % (p=0,05),

Табл. 2. Биохимические показатели крови цыплят-бройлеров при различной нутриентной обеспеченности рациона

Показатель	Контрольная группа	I опытная группа	II опытная группа	III опытная группа
Глюкоза, ммоль/л	11,57 (10,03...11,87)	11,96 (11,02...12,2)	12,36 (11,98...14,04) ^b	12,09 (11,89...13,5) ^c
Общий белок, г/л	30,4 (28,3...32,8)	29,89 (26,01...33,3)	29,08 (27,02...31,2)	27,6 (26,0...29,4)
Альбумин, г/л	16,0 (14,6...17,5)	16,04 (13,9...17,9)	14,33 (12,2...15,8)	13,34 (12,8...15,1)
Холестерин, моль/л	3,36 (3,1...3,89)	2,89 (2,7...3,1) ^a	3,3 (2,9...3,7)	3,46 (3,23...3,9) ^{cc}
Триглицериды, ммоль/л	0,35 (0,27...0,54)	0,25 (0,21...0,33)	0,31 (0,25...0,44)	0,56 (0,48...0,66) ^c

Табл. 3. Элементный состав сыворотки крови цыплят-бройлеров при различной нутриентной обеспеченности рациона

Элемент	Контрольная группа	I опытная группа	II опытная группа	III опытная группа
Ca	0,117 (0,11...0,124)	0,143 (0,138...0,144) ^{aa}	0,133 (0,129...0,138) ^{bb}	0,12 (0,118...0,122)
K	0,257 (0,242...0,265)	0,22 (0,205...0,221)	0,215 (0,212...0,218)	0,233 (0,228...0,236)
Mg	0,0294 (0,0292...0,0297)	0,0285 (0,0276...0,029)	0,0287 (0,0284...0,0292)	0,0187 (0,0185...0,0189) ^{cc}
Na	3,01 (2,63...3,08)	2,9 (2,79...3,06)	3,04 (3,0...3,08)	3,03 (2,78...3,06)
P	0,249 (0,24...0,249)	0,139 (0,135...0,147) ^{aa}	0,183 (0,18...0,191) ^b	0,2 (0,185...0,209)
Co	0,0017 (0,0014...0,0018)	0,0054 (0,005...0,0056) ^{aa}	0,0027 (0,0025...0,0029)	0,0035 (0,0033...0,0037)
Cr	0,0086 (0,0083...0,0091)	0,0069 (0,0063...0,0074) ^a	0,0068 (0,0064...0,008) ^b	0,0058 (0,0045...0,0061) ^c
Cu	0,143 (0,139...0,146)	0,124 (0,105...0,128) ^a	0,117 (0,113...0,118) ^{bb}	0,161 (0,154...0,162) ^{cc}
Fe	1,531 (1,495...1,558)	1,67 (1,634...1,7)	1,655 (1,621...1,675)	1,36 (1,259...1,4) ^{cc}
I	0,05 (0,046...0,053)	0,062 (0,0603...0,064)	0,033 (0,03...0,035) ^{bb}	0,018 (0,016...0,018)
Mn	0,0092 (0,0088...0,0092)	0,0088 (0,0077...0,0089)	0,0014 (0,0012...0,0015) ^{bb}	0,008 (0,007...0,0086)
Se	0,188 (0,178...0,189)	0,174 (0,162...0,178)	0,148 (0,133...0,154) ^b	0,176 (0,169...0,178)
Zn	2,19 (2,13...2,22)	2,07 (1,98...2,11) ^a	2,49 (2,4...2,55)	2,59 (2,34...2,66) ^c
B	0,46 (0,43...0,47)	0,38 (0,37...0,39) ^a	0,44 (0,4...0,46)	0,36 (0,33...0,38)
Ni	0,0071 (0,0069...0,0074)	0,006 (0,0054...0,007)	0,005 (0,0043...0,0054)	0,0078 (0,0071...0,0092)
V	0,0041 (0,0039...0,0043)	0,0044 (0,0035...0,0049)	0,0052 (0,0047...0,0054)	0,0051 (0,0049...0,0055)
Li	0,0182 (0,0169...0,0187)	0,0065 (0,0057...0,008)	0,0082 (0,0074...0,0083)	0,0184 (0,0178...0,0188)
Si	51,12 (50,44...52,62)	81,64 (78,81...85,35) ^a	78,36 (77,82...78,53)	93,57 (91,95...94,08) ^c
As	0,0033 (0,0031...0,0037)	0,0037 (0,0034...0,0039)	0,0034 (0,0031...0,0037)	0,0034 (0,0027...0,0036)
Sr	0,13 (0,128...0,132)	0,119 (0,117...0,121)	0,119 (0,109...0,122)	0,081 (0,076...0,083)

Fe – на 11 % (p=0,01), в то время как содержание Cu в крови достоверно возрастало на 13 % (p=0,003), Si – на 83 % (p=0,003) и Zn – на 18 % (p=0,05).

Корреляционный анализ позволил выявить «элементы-катализаторы» белкового, жирового и углеводного обмена. Для I опытной группы, получавшей высокобелковый рацион, это были P, K, Co, B и Li; II опытной группы, получавшей высокоуглеводный рацион – P, Cr, Mn и Li; III опытной группы, получавшей высокожировой рацион – Fe, Cu.

Биохимические показатели крови достоверно коррелировали с содержанием ряда макро- и микроэлементов. В частности, уровень общего белка в сыворотке крови бройлеров первой опытной группы достоверно ассоциировался с P (r=0,8; p=0,003), K (r=0,78; p=0,05), Co (r=0,87; p=0,05), B (r=0,7; p=0,01) и Li (r=0,86; p=0,02). Содержание глюкозы в сыворотке крови птиц второй опытной группы статистически значимо коррелировали с концентрацией P (r=0,7; p=0,02), Cr (r=0,8; p=0,01), Mn (r=0,77; p=0,003) и Li (r=0,73; p=0,003). Уровень общего холестерина у бройлеров третьей опытной группы коррелировал с Fe (r=0,88; p=0,01) и Cu (r=0,86; p=0,01).

Результаты нашего исследования демонстрируют, что увеличение в рационе бройлеров белка оказывало неблагоприятный эффект на массу тела птиц и ее среднесуточный прирост, при этом снижалось количество потребляемого корма. Полученные данные согласуются с данными ряда исследователей, которые фиксировали снижение массы тела экспериментальных животных при потреблении высокобелковой диеты [11]. Возможно, уменьшение количества потребляемого корма связано с повышением сытности бройлеров. При оценке биохимических показателей крови у птиц I опытной

группы отмечали снижение содержания холестерина и триглицеридов, что, возможно, связано с дополнительной нагрузкой на пищеварительную систему и функциональную активность печени [12]. Происходили изменения и в минеральном обмене птиц, которые сопровождались достоверным повышением уровня Ca, Co и Si на фоне снижения P, Cr, Cu, Zn и B в сыворотке крови. Выявлялись статистически значимые корреляционные связи между содержанием общего белка и P, K, Co, B и Li крови. Таким образом, результаты исследований демонстрируют изменения в первую очередь в фосфорно-кальциевом обмене. По мнению ряда авторов, высокобелковая диета вызывает увеличение всасывания кальция в кишечнике. Как следствие, происходит повышение его концентрации в крови. Кальций, в свою очередь, может действовать как антагонист, затрудняя усвоение таких макро- и микроэлементов, как фосфор, магний, натрий, калий, медь и цинк, что и прослеживалось в нашем исследовании – достоверное снижение Cu и Zn [13]. Как известно, поддержание баланса уровня кальция и фосфора необходимо всем позвоночным для обеспечения различных биологических процессов, включая формирование костей, свертывание крови, пролиферацию клеток и поддержание энергетического метаболизма [14]. Однако исследователи не рекомендуют использовать сывороточные показатели Ca и P в качестве параметров оценки элементного статуса бройлеров [15]. Это связано с тем, что их концентрация в крови бройлеров находится в достаточно узком физиологическом диапазоне независимо от уровня Ca в рационе [16]. Напротив, наибольшие изменения в содержании затрагивали кобальт, отмечена достоверная сильная корреляционная взаимосвязь между уровнем

этого элемента и общего белка. Как известно, кобальт – важный микроэлемент, участвующий в синтезе витамина B_{12} , будучи его кофактором, он также необходим для образования аминокислот и некоторых белков. Кроме того, у птиц этой группы отмечали снижение содержания хрома. Известно, что Cr оказывает воздействие на абсорбцию и метаболизм белка [17]. Известно, что дефицит хрома у животных приводит к нарушению включения аминокислот (глицин, серин, метионин) в сердечную мышцу. В противоположность, в одном из исследований отмечено повышенное поглощение аминокислот и глюкозы скелетными мышцами животных, которым в рацион дополнительно добавляли пиколинат хрома. Потенциальное улучшение включения аминокислот благотворно сказывалось на общем отложении белка [18]. Таким образом, на фоне высокобелковой диеты у бройлеров выявлялись изменения в минеральном обмене. Нарушение элементного гомеостаза может запустить каскад изменений, приводящий к снижению скорости роста и минерализации костной ткани птиц [16].

Дополнительное добавление в корм углеводов не оказывало значительного влияния на физиологические параметры птиц II опытной группы (масса тела, среднесуточный прирост, потребление корма). Однако была отмечена тенденция к снижению величин этих показателей, по сравнению с контролем. При этом биохимический состав крови характеризовался достоверным повышением уровня глюкозы на фоне тенденции к снижению уровня альбумина и триглицеридов. Это согласуется результатами исследований, проведенных на различных экспериментальных моделях животных. Оценка элементного статуса птиц показала изменения в кальций-фосфорном обмене, снижение содержания таких микроэлементов, как Cr, Mn, Se, I и Cu. При этом сильные ассоциации наблюдались между глюкозой и P, Cr, Mn и Li. Так, хром необходим для поддержания нормального углеводного обмена, будучи активатором фактора толерантности к глюкозе, отвечающего за повышение эффективности метаболической активности инсулина [19]. Увеличение потребления простых сахаров приводит к росту потери этого минерального элемента [20]. Марганец не менее важен для регуляции углеводного обмена. Снижение его уровня способствует структурным и физиологическим нарушениям, включая уменьшение эффективности системы антиоксидантной защиты, формирование пороков развития скелета и хряща, нарушение репродуктивной функции. Полученные данные согласуются с результатами других исследований, в которых также наблюдали снижение уровня эссенциальных элементов на фоне нарушения углеводного обмена [21].

Потребление рациона с высоким содержанием жира приводило к увеличению массы птиц и их среднесуточного привеса при одновременном снижении потребления корма и коэффициента его конверсии. Несмотря на выявленный потенциал использования этого рациона, детальное рассмотрение результатов биохимического и элементного анализа крови выявило у бройлеров ряд отклонений в метаболических процессах. Потребление рациона с повышенным содержанием жира способствовало увеличению уровня глюкозы, холестерина и триглицеридов. Похожие результаты отмечали в исследованиях с использованием лабораторных животных. Так, в одной из работ сообщалось о достоверном повышении уровня глюкозы и триглицеридов у крыс, потреблявших рацион 45 % жирности [22]. Полученные в нашем исследовании данные наглядно демонстрируют изменения в содержании макро- и микроэлементов в

сыворотке крови бройлеров на высокожировой диете. Проведенный анализ выявил снижение уровня Mg, Cr и Fe на фоне достоверного увеличения Cu, Zn и Si. Кроме того, обнаруживались сильные корреляционные связи между общим холестерином и Cu, Fe. По результатам анализа литературы, при нарушении липидного обмена часто наблюдается дефицит Mg. Сообщается, что его уровни в сыворотке тесно связаны с метаболическими факторами риска при ожирении [23]. На фоне нарушения липидного обмена в ряде исследований отмечалось снижение концентрации железа в сыворотке крови, что возможно было связано с хронической воспалительной реакцией и последующей гиперпродукцией гепсидина [24]. Дальнейший анализ показал повышение уровня меди в сыворотке птиц, что согласуется с результатами многих исследований, демонстрирующих положительную связь между повышенным содержанием меди в сыворотке и ожирением [25]. В этих исследованиях отмечено, что повышенные уровни Cu в сыворотке связаны с содержанием лептина и инсулина.

Таким образом, результаты эксперимента свидетельствуют, что на фоне высокобелковой, высокоуглеводной и высокожировой диет возникают нарушения в минеральном обмене бройлеров, которые могут привести в свою очередь к неблагоприятным последствиям, а именно к снижению продуктивности и производительности птиц.

Дополнительное включение питательных компонентов в рацион цыплят-бройлеров оказывает воздействие на течение обменных процессов в организме. Стабильность, как биохимического, так и минерального статуса – неотъемлемое условие нормального функционирования организма. Результаты исследования свидетельствуют, что существует определенный порог, превышение которого уже не является нормой, а, следовательно, нельзя ожидать положительного результата с точки зрения роста и других показателей производительности, а самое главное состояния здоровья птиц. На основе полученных данных можно предположить, что определение уровня Co, Cr, Mn, Fe и Cu в сыворотке крови птиц имеет потенциал в качестве показателей состояния белкового, углеводного и липидного обменов сельскохозяйственной птицы.

Литература

1. Kidd M.T., Maynard C.W., Mullenix G.J. *Progress of amino acid nutrition for diet protein reduction in poultry // Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2021. No. 12(1). P. 45. URL: <https://jasbsci.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40104-021-00568-0> (дата обращения: 21.07.2022). doi: 10.1186 / s40104-021-00568-0
2. Neves D.P., Banhazi T.M., Nääs I.A. *Feeding Behaviour of Broiler Chickens: a Review on the Biomechanical Characteristics // Brazilian Journal of Poultry Science*. 2014. No. 16(2). P. 1-16. URL: <https://www.redalyc.org/pdf/1797/179731466001.pdf> (дата обращения: 20.07.2022). doi: 10.1590/1516-635x16021-16
3. Ravindran V., Abdollahi M.R. *Nutrition and Digestive Physiology of the Broiler Chick: State of the Art and Outlook // Animals (Basel)*. 2021. No. 11(10). P. 2795. URL: <https://www.mdpi.com/2076-2615/11/10/2795> (дата обращения: 18.07.2022). doi: 10.3390/ani11102795
4. *An overview of health challenges in alternative poultry production systems / R.E. Jeni, D.K. Dittoe, E.G. Olson, et al. // Poultry Science*. 2021. No. 100(7). P. 101173. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/>

- PMC8170424/ дата обращения: 18.07.2022). doi: 10.1016/j.psj.2021.101173
5. Digestibility of fractionated green biomass as protein source for monogastric animals / L. Stødtkilde, V.K. Damborg, H. Jørgensen, et al. // *Animal*. 2019. No. 13(9). P. 1817-1825. doi: 10.1017/S1751731119000156
 6. Babatunde O.O., Park C.S., Adeola O. Nutritional Potentials of Atypical Feed Ingredients for Broiler Chickens and Pigs // *Animals (Basel)*. 2021. No. 11(5). P. 1196. URL: <https://www.mdpi.com/2076-2615/11/5/1196> (дата обращения: 16.07.2022). doi: 10.3390/ani11051196
 7. Balanced nutrient density for broiler chickens using a range of digestible lysine-to-metabolizable energy ratios and nutrient density: Growth performance, nutrient utilisation and apparent metabolizable energy / R. Berekatain, L.F. Romero, J.O. Sorbara, et al. // *Animal Nutrition*. 2021. No. 7. P. 430-439. doi: 10.1016/j.aninu.2020.12.003
 8. Physiological growth trend of current meat broilers and dietary protein and energy management approaches for sustainable broiler production / P. Maharjan, D.A. Martinez, J.T. Weil, et al. // *Animal: an international journal of animal bioscience*. 2021. P. 100284. URL: [https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1751-7311\(21\)00127-0](https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1751-7311(21)00127-0) (дата обращения: 16.07.2022). doi: 10.1016/j.animal.2021.100284
 9. Информативность биосубстратов при оценке элементного статуса сельскохозяйственных животных (обзор) / А.В. Харламов, А.Н. Фролов, О.А. Завьялов и др. // *Животноводство и кормопроизводство*. 2014. Т. 4. № 87. С. 53-58. doi:10.33284/2658-3135-102-4-43
 10. Зайцев В.М. Прикладная медицинская статистика. Учебно-практическое пособие. М.: Фолиант, 2006. 432 с.
 11. A High-Protein Diet Reduces Weight Gain, Decreases Food Intake, Decreases Liver Fat Deposition, and Improves Markers of Muscle Metabolism in Obese Zucker Rats / W.W. French, S. Dridi, S.A. Shouse, et al. // *Nutrients*. 2017. No. 9(6). P. 587. URL: <https://www.mdpi.com/2072-6643/9/6/587> (дата обращения: 16.07.2022). doi:10.3390/nu9060587
 12. High and low dietary energy and protein levels for broiler chickens / F.A. Dairo, A.O. Adesehinwa, T.A. Oluwasola, et al. // *African Journal of Agricultural Research*. 2010. No. 5. P. 2030-2038.
 13. Organic trace minerals and calcium levels in broilers' diets to 21 days old / B.D. Faria, L.M. Silva, V. Ribeiro Junior, et al. // *Scientia Agricola*. 2020. No. 77. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/b346/28a04bebbf94ff58890adc15ab796dc217fc.pdf> (дата обращения: 16.07.2022). doi: 10.1590/1678-992X-2018-0071
 14. Transcriptional responses in jejunum of two layer chicken strains following variations in dietary calcium and phosphorus levels / H. Reyer, M. Oster, S. Ponsuksili, et al. // *BMC Genomics*. 2021. No. 22(1). P. 485. URL: <https://bmcgenomics.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12864-021-07814-9> (дата обращения: 16.07.2022). doi: 10.1186/s12864-021-07814-9
 15. Dietary calcium requirements of broilers fed a conventional corn-soybean meal diet from 1 to 21 d of age / S.J. Bai, Y. Yang, X. Ma, et al. // *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2021. No. 13(11). P. 33-39. doi: 10.21203/rs.3.rs-917394/v1
 16. Calcium and phosphorus metabolism in broilers: Effect of homeostatic mechanism on calcium and phosphorus digestibility / M. Proszkowiec-Weglarz, R. Angel // *The Journal of Applied Poultry Research*. 2013. No. 22. P. 609-627. doi: 10.3382/JAPR.2012-00743
 17. Low- and high-carbohydrate diets: body composition differences in rats / R.L. McNeel, H.J. Mersmann // *Obesity Research*. 2005. No. 13(10). P. 1651-1660. doi: 10.1038/oby.2005.203
 18. Pechová A., Pavlata L. Chromium as an essential nutrient: a review // *Veterinarni Medicina*. 2018. No. 52. P. 1-18. URL: <https://www.agriculturejournals.cz/web/vetmed.htm?volume=52&firstPage=1&type=publishedArticle> (дата обращения: 16.07.2022). doi: 10.17221/2010-VETMED
 19. Effect of Varying Levels of Chromium Propionate on Growth Performance and Blood Biochemistry of Broilers / M. Arif, I. Hussain, M.A. Mahmood, et al. // *Animals (Basel)*. 2019. No. 9(11). P. 935. URL: <https://www.mdpi.com/2076-2615/9/11/935> (дата обращения: 16.07.2022). doi: 10.3390/ani9110935
 20. Chromium yeast supplementation improves fasting plasma glucose and LDL-cholesterol in streptozotocin-induced diabetic rats / M.H. Lai, Y.Y. Chen, H.H. Cheng // *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*. 2006. No. 76(6). P. 391-377. doi: 10.1024/0300-9831.76.6.391
 21. Dubey P., Thakur V., Chattopadhyay M. Role of Minerals and Trace Elements in Diabetes and Insulin Resistance // *Nutrients*. 2020. No. 12(6). P. 1864. URL: <https://www.mdpi.com/2072-6643/12/6/1864> (дата обращения: 16.07.2022). doi: 10.3390/nu12061864
 22. High Fat Diet and High Cholesterol Diet Reduce Hepatic Vitamin D-25-Hydroxylase Expression and Serum 25-Hydroxyvitamin D3 Level through Elevating Circulating Cholesterol, Glucose, and Insulin Levels / T. Zhu, J. Zhao, S. Zhuo, et al. // *Mol Nutr Food Res*. 2021. No. 65(21). P. e2100220. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34448353/> (дата обращения: 16.07.2022). doi: 10.1002/mnfr.202100220
 23. Trace Element and Mineral Levels in Serum, Hair, and Urine of Obese Women in Relation to Body Composition, Blood Pressure, Lipid Profile, and Insulin Resistance / A.A. Tinkov, P. Bogdański, D. Skrypnik, et al. // *Biomolecules*. 2021. No. 11(5). P. 689. URL: <https://www.mdpi.com/2218-273X/11/5/689> (дата обращения: 16.07.2022). doi: 10.3390/biom11050689
 24. Diet-induced obese rats have higher iron requirements and are more vulnerable to iron deficiency / J. Bertinato, C. Aroche, L.J. Plouffe, et al. // *European Journal of Clinical Nutrition*. 2014. No. 53(3). P. 885-895. doi:10.1007/s00394-013-0592-9
 25. Obesity is associated with copper elevation in serum and tissues / H. Yang, C.N. Liu, R.M. Wolf, et al. // *Metallomics*. 2019. No. 11(8). P. 1363-1371. doi:10.1039/c9mt00148d

Поступила в редакцию 10.08.2022

После доработки 15.09.2022

Принята к публикации 25.10.2022