

БИОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФЕРМЕНТИРОВАННЫХ КОРМОВЫХ ДОБАВОК ИЗ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ ПТИЦЕПЕРЕРАБОТКИ И ПРОДУКТИВНОСТЬ БРОЙЛЕРОВ

*В.Г. Волик¹, Д.Ю. Исмаилова¹, В.С. Лукашенко², И.П. Салеева²,
Т.В. Федорова³, Е.А. Овсейчик², Е.В. Журавчук², С.В. Зиновьев¹*

¹*Всероссийский научно-исследовательский институт птицеперерабатывающей промышленности – филиал ФНЦ «ВНИТИП» РАН, Московская область, пос. Ржавки, 141552, Россия*

²*Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства» РАН, г. Сергиев Посад, 141311, Россия*

³*Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН, г. Москва, 119071, Россия*

Аннотация

В статье приведены результаты биохимических исследований новых кормовых добавок, полученных двухстадийным способом (кратковременная высокотемпературная обработка с последующей ферментацией) из кератин- (пера) и коллагенсодержащих (мясокостного остатка) вторичного сырья («отходов») птицеперерабатывающей промышленности. Определены физико-химические показатели ферментированных кормовых белковых добавок. В результате проведенных исследований установлено, что ферментированные кормовые белковые добавки имеют высокую перевариваемость белка – 85–92%, содержат преимущественно низко- (М.в. < 5 кДа) и средномолекулярные (М.в. 10–25 кДа) компоненты. При этом антиоксидантная емкость данных кормовых добавок по отношению к пероксильному радикалу варьирует в пределах 250–300 мкмоль ТЭ/г, более 99.9% приходится на долю гидрофильных антиоксидантов. Анализ профиля летучих компонентов ферментированных кормовых белковых добавок показал, что добавка из кератинсодержащего сырья содержит 37 основных компонентов, включая алифатические кислоты и амиды алифатических кислот, индол и его производные, спирты, амиды и производные амидов ароматических кислот, серосодержащие соединения. Наличие последних в составе добавки, по видимому, обуславливает специфический аромат, свойственный данному продукту. В то же время в составе летучей фракции добавки из коллагенсодержащего сырья идентифицированы соединения, относящиеся к классам жирных кислот (C₁₄–C₁₈) и алифатических спиртов (C₆–C₁₈), насыщенных и ненасыщенных алифатических альдегидов (C₆–C₁₈) и кетонов (C₇–C₁₉), производных фурана. Идентифицированные летучие компоненты включают вторичные карбонильные продукты окисления ненасыщенных жирных кислот.

В опытах по замене рыбной муки на ферментированные добавки из вторичного сырья в рационах цыплят-бройлеров показана возможность замены рыбной муки без снижения зоотехнических показателей.

Ключевые слова: кормовые добавки, кератинсодержащее сырье, коллагенсодержащее сырьё, ферментативный гидролиз, перевариваемость, антиоксидантная емкость, молекулярно-массовое распределение, ароматические летучие соединения

Введение

Одним из основных условий повышения продуктивности птицы является белок корма, рациональное использование которого в организме зависит от многих факторов. Так, снижение содержания в корме белка и аминокислот ухудшает его перевариваемость и, как следствие, повышает у птицы интенсивность потребления корма и энергии. Эффективность использования кормов снижается, а отложение жира увеличивается [1–3].

Одним из основных источников белка животного происхождения в рационах сельскохозяйственной птицы является рыбная мука. Однако это дорогостоящий и дефицитный импортируемый компонент корма, кроме того, в последние годы резко увеличились его фальсификация на рынке [4].

В то же время при убое и переработке птицы на птицеперерабатывающих предприятиях остается значительный объем так называемых малоценных (вторичных) продуктов, таких как перо, мясокостный остаток, кишечник и др. Общее количество вторичного сырья составляет до 25–30% от живой массы птицы. В нашей стране в результате убоя и переработки птицы образуется около 650 тыс. т вторичных продуктов. Среди вторичного сырья птицеперерабатывающей промышленности наибольший интерес представляют кератинсодержащее (перопуховое) и коллагенсодержащее (мясокостный остаток) сырье, которое богато белком. При механической обвалке тушек или частей тушек птицы получают 27–40% костного остатка, содержание кости в котором колеблется в пределах 15–20%. Содержание полноценных белков в костном остатке находится на уровне 25–30%, а куриное перо содержит 85–90% белка кератина. Это сырье может стать достойной альтернативой рыбной муке в рационах кормления птицы [5].

Однако проблема заключается в том, что белки в кератин- и коллагенсодержащем сырье находятся в трудноусвояемой форме для живого организма. Основой пера являются белки – кератины. Кератины устойчивы к химическим воздействиям, нерастворимы в воде, в разведенных кислотах и щелочах, устойчивы к действию протеолитических ферментов. Белок в мясокостных отходах также находится в труднодоступной форме.

Переработка вторичного сырья в кормовые компоненты для животных и птицы имеет не только экономический, а также экологический аспект, поскольку снижается антропогенная нагрузка на окружающую среду благодаря уменьшению массы отходов. Для любого государства эффективное использование вторичных ресурсов является одним из условий экологически безопасного развития экономики [6].

Традиционные технологии как отечественные, так и зарубежные, позволяют получать из вторичных продуктов птицепереработки кормовую муку с низким содержанием усвояемого белка (переваримость белка 25–30%), при этом 50–75% доступного белка теряется из-за жесткого температурного многочасового процесса обработки. Поэтому усилия исследователей направлены на поиск технологических приемов, позволяющих максимально сохранить нативные свойства и биологическую ценность вторичных продуктов убоя, а также улучшить их свойства при получении конечных кормовых продуктов [7].

В настоящее время для извлечения белка из отходов птицепереработки используют гидротермический, кислотный, щелочной и ферментативный гидролиз. Первые три способа имеют ряд недостатков: достаточно высокую продолжительность; разрушение целого ряда важнейших аминокислот, в том числе незаменимых; образование труднопереваримых соединений.

Перспективным технологическим подходом, позволяющим производить высокоусвояемые белковые кормовые компоненты для птицы из отходов птицепереработки, является двухстадийный гидролиз вторичного сырья, сочетающий кратковременную высокотемпературную обработку [7–9] с последующим ферментативным гидролизом. Ферментирование белковых побочных продуктов птицепереработки с использованием протеолитических ферментов позволяет расщепить крупные белковые молекулы на полипептиды, пептиды и аминокислоты, доступные для усвоения организмом.

Современные технологии выращивания бройлеров предполагают ускоренный интенсивный откорм птицы, вследствие чего получаемое мясо бройлеров имеет ряд существенных недостатков – тушки с недостаточно сформированными мышечной и соединительной тканями, несформированной костной тканью, пониженной антиоксидантной ёмкостью, слабо выраженными запахом и вкусом. Одними из наиболее важных показателей качества мяса птицы являются вкус и его аромат, при этом основным фактором, влияющим на вкусовые и ароматические достоинства мяса, является состав и свойства компонентов кормового рациона птицы, в том числе источники кормового белка и жира.

Для решения вышеуказанных проблем необходим комплексный подход, сочетающий усовершенствование технологии выращивания бройлеров и создание новых функциональных кормовых ингредиентов, способствующих повышению качества мяса, которое сможет удовлетворить требования потребителей.

Для повышения привлекательности и «поедаемости» используют ароматические кормовые добавки [10]. Наиболее изучены профили летучих соединений в гидролизатах рыбы

Показано, что в желатиновых гидролизатах морского окуня наиболее представленными летучими соединениями являются альдегиды, при этом гексаналь был обнаружен в качестве основного альдегида [11]. В ферментативных гидролизатах рыбы *Collichthys niveatus* основными идентифицированными альдегидами являлись бензальдегид (2.27%), гептаналь (1.54%), фенилацетальдегид (0.89%), октаналь (0.85%) и гексаналь (0.68%) [12]. Так, альдегиды предложено использовать в качестве индекса окисления липидов в ряде пищевых продуктов, поскольку они обладают низкими пороговыми значениями и вносят основной вклад в развитие неприятного запаха и вкуса [13]. В то же время в работе [14] показано, что такие летучие соединения, как 4-гептеналь, октаналь, деканаль и 2,4-декадиеналь обуславливали рыбный запах тушек лососевых рыб. Ранее были проведены исследования по биокатализу мясокостных остатков переработки, охарактеризованы пептидные гидролизаты и показана возможность получения белкового продукта с ценным набором аминокислот с низкой степенью рацемизации и высокой антиоксидантной способностью [15].

Состав же ароматических соединений белковых добавок из вторичного сырья практически не изучен.

В связи с этим целью настоящей работы стало изучение биохимических свойств (таких, как антиоксидантная емкость, молекулярно-массовое распределение пептидов, профиль летучих компонентов) новых ферментированных белковых кормовых добавок, полученных с использованием высокотемпературной кратковременной обработки и ферментативного гидролиза из вторичного сырья птицепереработки содержащего кератин (перо) и коллаген (мясокостный остаток), для возможной замены ими кормовой добавки – рыбной муки.

Материалы и методы исследований

Для получения кормовых добавок из пера птицы (кератинсодержащее сырье) и мясокостных отходов (коллагенсодержащее сырье) была применена специально разработанная технология [10].

При производстве экспериментальных партий гидролизованной муки кератинсодержащее и коллагенсодержащее сырье обрабатывали в две стадии: кратковременная высокотемпературная обработка и последующая ферментация.

Высокотемпературная кратковременная обработка кератинсодержащего сырья проводилась на экспериментально-промышленном гидролизёре для пера (УГЭ), обеспечивающем температуру свыше 150 °С и время нахождения сырья в рабочей термической зоне в течение 60–90 с.

Коллагенсодержащее сырье обрабатывали при температуре свыше 130 °С в течение 120–180 с.

Ферментативный гидролиз сырья после высокотемпературной обработки осуществляли в ферментерах емкостью 5 л при оптимальной для действия ферментов температуре (55 ± 2 °С) и рН (7.0–7.2) при периодическом перемешивании. Для ферментативного гидролиза кератинсодержащего сырья использовали ферментные препараты Novo-Pro D (Novozymes, Дания), а для ферментативного гидролиза коллагенсодержащего сырья – мультиэнзимную композицию протеолитических ферментов (Alcalase, Neutrase, Protamex, Flavourzyme) этой же фирмы.

Содержание протеина в кормовых добавках определяли по ГОСТ 32044.1, ГОСТ 13496.4.

Массовую долю влаги, жира и золы определяли по ГОСТ 17681.

Переваримость кормовых добавок определяли по ГОСТ Р 55987.

Наряду с традиционными методами анализа гидролизатов разной глубины гидролиза исследованы молекулярные характеристики (молекулярно-массовое распределение пептидов, профиль летучих компонентов) и характеристика антиоксидантных свойств гидролизатов.

Молекулярно-массовое распределение пептидов ферментативных гидролизатов кормовых добавок из отходов птицепереработки и рыбной муки оценивали методом эксклюзионной хроматографии. Хроматографическая система включала хроматограф Varian ProStar HPLC (США), насос PS210 SDM, PS410 Autosampler и колонку BioSep-SEC-S 2000 (7.8 × 300 мм) фирмы Phenomenex (США). Данная разновидность колонки используется для аналитического разделения низкомолекулярных белков и пептидов методом гель-фильтрации.

Колонка была откалибрована по стандартным водорастворимым белкам и пептидам производства фирм GE Healthcare (США), Serva (ФРГ) и Sigma (США)

в интервале молекулярных масс от 451 до 440000 Да, перекрывающем ее рабочий диапазон. Оптическую плотность регистрировали, используя проточный детектор с фотодиодной матрицей (Varian 335 PDA) в диапазоне 190–330 нм при базовой длине волны 214 нм. В качестве элюента использовали 50 мМ На-фосфатный буфер, рН 6.8. Скорость элюирования составляла 1 мл/мин. Объем пробы, наносимой на колонку, составлял 20 мкл.

Пробоподготовка включала разбавление образцов кормовых добавок в указанном буфере до концентрации сухих веществ 1–5 мг/мл и двукратное центрифугирование при 60000 g в течение 40 мин. Типичный вид полученных профилей элюции представлен на рис. 1.

Полученные хроматограммы интегрировали с расчетом относительного содержания высокомолекулярной белковой фракции (М.в. > 10 кДа), среднемолекулярной олигопептидной фракции (М.в. 3–10 кДа) и низкомолекулярной фракции (М.в. < 3 кДа), содержащей пептиды и свободные аминокислоты. Кроме того, рассчитывали среднюю молекулярную массу гидролизата согласно уравнению

$$\langle M \rangle = \frac{\sum_{i=1}^i (M_i S_i)}{\sum_{i=1}^i S_i},$$

где M_i – молекулярная масса компонентов в i -м диапазоне, S_i – площадь i -го диапазона.

Для определения общего состава летучих компонентов нами был модифицирован метод термодесорбции с применением ступенчатого градиента температур. Сорбционную трубку термодесорбера Markes (International Ltd.) заполняли силанизированной кварцевой ватой и выдерживали 30 мин при 320 °С, затем на кварцевую вату наносили 10 мкл исследуемого жидкого образца и проводили первичную десорбцию в две стадии. Первая стадия проводилась при температуре 90 °С в течение 5 мин при выключенном делителе потока, что обеспечивало попадание всего «десорбируемого» материала на криоконденсатор, охлажденный до –10 °С. На второй стадии температуру на десорбере повышали до 300 °С при включенном делителе потока, соответственно снимая с десорбера тяжелые компоненты, большая часть которых не попадала на криоконденсатор.

Регистрацию проводили на хроматографе Shimadzu GS 2010 с масс-детектором GCMS-QP 2010 с использованием колонки MDN-1 (твердосвязанный метилсиликон) длиной 30 м и диаметром 0.25 мм.

Газо-жидкостную хроматографию проводили в режиме градиента температур при следующих параметрах: температура интерфейса 200 °С; детектора 200 °С, газ-носитель – гелий со скоростью потока через колонку 1 см³/мин и делением потока 1:3.

Начальная температура термостата составила 100 °С, выдерживание при данной температуре проводилось в течение 1 мин с последующим нагревом с градиентом 4 °С/мин до 120 °С, 10 °С/мин до 200 °С, 20 °С/мин до 260 °С. Выдерживание при 260 °С проводилось в течение 3 мин.

Масс-детекцию осуществляли в режиме регистрации со сканированием (TIC) в диапазоне отношений масс к заряду 40–200 m/z.

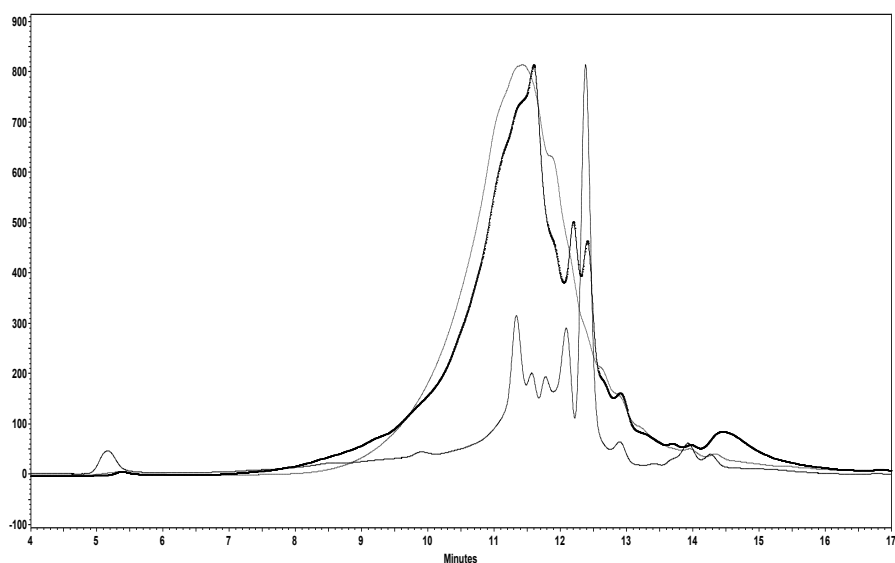


Рис. 1. Профили элюции образцов кормовых добавок. Непрерывная линия – кормовая добавка из коллагенсодержащих отходов птицепереработки. Точечная линия – кормовая добавка – мука рыбная. Пунктирная линия – кормовая добавка из кератинсодержащих отходов птицепереработки

Определение антиоксидантных свойств ферментированных кормовых добавок из отходов кератин- и коллагенсодержащего сырья птицепереработки по отношению к пероксильному радикалу (ORAC) включало получение гидрофильной и липофильных фракций с последующим анализом их антиоксидантной емкости (АОЕ). В качестве стандарта при оценке АОЕ обеих фракций белковых гидролизатов использовали Тролокс.

С целью **определения влияния легкоусвояемых кормовых компонентов на продуктивные показатели цыплят-бройлеров** был проведен опыт на трех группах цыплят-бройлеров кросса «Росс 308». Птицу выращивали с суточного до 38- и до 49-дневного возраста на подстилке из опилок с плотностью посадки 18 гол./м².

Контрольная группа цыплят (1(к)) получала полнорационный комбикорм, который в стартовый период содержал 4%, а в ростовой – 2% рыбной муки.

В опытных группах рыбную муку эквивалентно заменяли: в опытной группе 2 – ферментированным гидролизатом пера, в группе 3 – ферментированным гидролизатом коллагена.

Результаты и их обсуждение

Физико-химические показатели сухой ферментированной белковой добавки из кератинсодержащего сырья (пера) после высокотемпературной и ферментативной обработки составили: массовая доля влаги – 4.57%, протеина – 86.52%, жира – 2.25%, золы – 204%. Физико-химические показатели сухой кормовой белковой добавки из коллагенсодержащего сырья после высокотемпературной и ферментативной обработки были следующими: массовая доля влаги – 2.87%, протеина – 45.24%, жира – 23.29%, золы – 24.04%.

Табл. 1

Молекулярно-массовое распределение пептидов в рыбной муке и белковых кормовых добавках из кератин- и коллагенсодержащего сырья птицепереработки

Образец белковой кормовой добавки	Доля компонентов с соответствующим диапазоном М.в., %				
	> 50 кДа	25–50 кДа	10–25 кДа	5–10 кДа	< 5 кДа
Рыбная мука	4.57	3.29	5.74	3.86	82.53
Кормовая добавка из кератинсодержащего сырья	0.36	0.15	2.97	5.03	91.48
Кормовая добавка из коллагенсодержащего сырья	0.84	2.31	6.38	6.80	83.66

Перевариваемость сухих образцов кератина пера после двух стадий обработки составила 92.0%, а коллагенсодержащего сырья – 85.0%.

Полученные результаты анализа молекулярно-массового распределения белковых кормовых добавок из кератин- и коллагенсодержащего сырья птицепереработки представлены на рис. 1 и в табл. 1.

Как видно из табл. 1, белковая кормовая добавка из коллагенсодержащего сырья, как и рыбная мука, на 80% состоят из низкомолекулярных (М.в. < 5 кДа) компонентов. Относительная доля высокомолекулярных белковых компонентов (М.в. > 10 кДа) в рыбной муке составляет 13.6%, в то время как в добавке из коллагенсодержащего сырья не превышает 9.5%. В кормовой добавке из кератинсодержащего сырья пептиды с М.в. > 10 кДа составляют 3.48%, а основную массу (91.5%) составляют компоненты с молекулярной массой менее 5 кДа. Таким образом, ключевыми составляющими исследуемых белковых кормовых добавок являются свободные аминокислоты и различные по длине и составу пептиды.

Поскольку летучие компоненты белковых гидролизатов являются важной составляющей, в первую очередь определяющей их органолептические показатели, такие как запах и вкус, был проведен анализ профиля летучих компонентов белковых кормовых добавок. Перечень соединений, наличие которых установлено в исследованных образцах белковых кормовых добавок из кератин- и коллагенсодержащего сырья птицепереработки, приведен в табл. 2–3.

Основными летучими компонентами ферментированного кератинсодержащего сырья птицепереработки являются следующие группы соединений: жирные алифатические кислоты; альдегиды; кетоны; производные пиразина; а также серосодержащие соединения (тетратиан) (табл. 2). К основным альдегидам белковой кормовой добавки из ферментированного кератинсодержащего сырья птицепереработки относятся бензальдегид (2.76%), фенилацетальдегид (1.22%), диэтилацеталь (0.81%), изовалериановый альдегид (0.62%), гексаналь (0.40%), 2,4-нонадиеналь (0.28%), гексадеканаль (0,22%), нонаналь (0.18%) и гептаналь (0,13%). Среди идентифицированных альдегидов бензальдегид и фенилацетальдегид в основном связаны со сладкими, фруктовыми, ореховыми и карамелеподобными запахами; считается, что эти соединения улучшают вкусовые качества. Однако гексаналь, гептаналь и нонаналь образуются в результате окисления ненасыщенных жирных кислот, таких как линолевая кислота и арахидоновая кислоты,

Табл. 2

Профиль летучих компонентов в образцах белковых кормовых добавок из ферментированного кератинсодержащего сырья птицепереработки (данные отсортированы по уменьшению значения площади пика)

№	Относительная площадь пика, %	Наименование соединения
Жирные алифатические карбоновые кислоты		
1	31.11	Пальмитиновая (гексадекановая) кислота (Hexadecanoic acid)
2	8.17	Линолевая кислота (Linoleic acid)
3	8.12	Каприновая (декановая) кислота (Capric acid = Decanoic acid)
4	7.71	Изокапроновая кислота (Isocaproic acid)
5	6.53	Миристиновая (тетрадекановая) кислота (Tetradecanoic acid)
6	6.07	9-Гексадеценновая кислота (9-Hexadecenoic acid)
7	2.90	Лауриновая (додекановая) кислота (Dodecanoic acid)
8	2.55	2-Метилмасляная кислота (Butyric acid, 2-methyl-)
9	1.70	Пентадекановая кислота (Pentadecanoic acid)
10	1.44	Пеларгоновая (нонановая) кислота (Nonanoic acid)
11	1.17	Каприловая кислота (Caprylic acid)
12	0.78	3-Деценновая кислота (3-Decenoic acid)
13	0.75	Ундекановая кислота (Undecanoic acid)
14	0.71	Капроновая кислота (Caproic acid)
15	0.59	Изомаляная кислота (Isobutyric acid)
16	0.32	Тридекановая кислота (Tridecanoic acid)
17	0.27	Масляная кислота (Butyric acid)
18	0.14	Энантовая (гептановая) кислота (Heptanoic acid)
Альдегиды		
19	2.76	Бензальдегид (Benzaldehyde)
20	1.22	Фенилацетальдегид (Phenylacetaldehyde)
21	0.81	Диэтилацеталь (Diethyl acetal)
22	0.62	Изовалериановый альдегид (Isovaleric aldehyde)
23	0.40	Гексаналь (Hexanal)
24	0.28	2,4-Нонадиеналь (2,4-Nonadienal)
25	0.22	Гексадеканаль (Hexadecanal)
26	0.18	Нонаналь (Nonanal)
27	0.13	Гептаналь (Heptanal)
Кетоны		
28	0.22	Метил андецил кетон (Methyl undecyl ketone)
29	0.16	Метил октил кетон (Methyl octyl ketone)
30	0.09	Гептил метил кетон (Heptyl methyl ketone)
Другие		
31	0.63	Этилбутиловый эфир (Ethyl butyl ether)
32	0.37	N-ацетил-цистеамин, (Cysteamine, N-acetyl-)
33	3.93	2,6,10,14-Тетраметил пентадекан (Pentadecane, 2,6,10,14-tetramethyl)
34	0.29	2,5-Диметилпиразин (2,5-Dimethylpyrazine)
35	0.28	3-Этил-2,5-диметилпиразин (Pyrazine, 3-ethyl-2,5-dimethyl-)
36	0.23	[1,2,3,4]Тетратиан ([1,2,3,4]Tetrathiane)
37	1.75	Ментол, 1'-(бутен-3-он-1-ил) (Menthol, 1'-(butyn-3-one-1-yl))

Табл. 3

Профиль летучих органических соединений (ЛОС) в образцах белковых кормовых добавок из ферментированного коллагенсодержащего сырья птицепереработки (данные отсортированы по уменьшению значения площади пика)

№	Относительная площадь пика, %	Наименование соединения
Альдегиды		
1	26.71	2-Метилбутаналь (Butanal, 2-methyl-)
2	22.82	Фенилацетальдегид (фенилуксусный альдегид) Benzeneacetaldehyde
3	15.11	Изовалериановый альдегид (Isovaleraldehyde)
4	3.21	Метиональ (Methional)
5	1.27	Гексаналь (Hexanal)
6	1.14	Бензальдегид (Benzaldehyde)
7	1.13	Диэтилацеталь (Diethylacetal)
Спирты		
8	2.08	1-Пентанол, 5-циклопропилиден (1-Pentanol, 5-cyclopropylidene-)
Кетоны		
9	2.05	3-Нонен-2-он (3-Nonen-2-one)
Жирные алифатические карбоновые кислоты		
10	3.88	Каприновая (декановая) кислота (Capric = Decanoic acid)
11	1.78	Пальмитиновая (гексадекановая) кислота (Palmitic = Hexadecanoic acid)
Производные пиразина		
12	0.97	3-Этил-2,5-диметилпиразин (Pyrzazine, 3-ethyl-2,5-dimethyl-)
Другие		
13	6.81	Диметилсиландиол (Dimethylsilanediol)
15	4.44	Евгенилацетат (Eugenyl acetate)
16	0.54	Бензол, 1-ноненил- (Benzene, 1-nonenyl-)

и обуславливают запах прогоркшего (окисленного) масла. В кормовой муке данные альдегиды могут образовываться во время распылительной сушки. Пиразины обладают сенсорным эффектом в очень низких концентрациях и играют важную роль в создании аромата жареного. Наличие в составе кормовой добавки серосодержащих соединений, по-видимому, обуславливает специфический аромат, свойственный кератиновому гидролизату.

В составе летучей фракции ферментированного коллагенсодержащего сырья птицепереработки были идентифицированы различные соединения, включая насыщенные и ненасыщенные альдегиды (C_6-C_{18}) и кетоны (C_7-C_{19}), жирные кислоты ($C_{14}-C_{18}$), спирты (C_6-C_{18}), непредельные углеводороды ($C_{11}-C_{13}$) и производные фурана (табл. 3). Большинство летучих соединений с высоким относительным содержанием (долей площади пика от площади всей хроматограммы) является продуктами окисления ненасыщенных жирных кислот. Так, альдегиды: октаналь, нонаналь, 2-деценаль и 2-ундеценаль – продукты распада гидропероксидов олеиновой кислоты; 2-октеналь и 2,4-декадиеналь – линолевой

Табл. 4

Антиоксидантная активность кормовых добавок из кератин- и коллагенсодержащего сырья птицепереработки и рыбной муки по отношению к пероксильному радикалу.

Образец кормовой добавки	Антиоксидантная емкость, мкмоль ТЭ/г добавки	
	гидрофильная фракция	липофильная фракция
Кератинсодержащее сырье	256.5 ± 11.7	0.083 ± 0.012
Коллагенсодержащее сырье	297.1 ± 14.4	1.503 ± 0.127
Рыбная мука	268.2 ± 12.6	1.628 ± 0.131

и арахидоновой кислот. Спирты также являются вторичными продуктами, образующимися при разложении гидропероксидов жирных кислот [13]. 1-октен-3-ол обуславливает неприятный прогорклый запах и образуется в результате окисления арахидоновой кислоты [16]. 2-пентилфуран, идентифицированный в достаточно высоких количествах по сравнению с другими ЛОС также является циклическим продуктом окисления ненасыщенных жирных кислот.

В рыбной муке, исследованной в настоящей работе, также были идентифицированы альдегиды, однако среди данного класса ЛОС преобладающими были такие соединения, как 2-тридеценаль и гексадеканаль.

Проведен анализ антиоксидантной емкости АОЕ кормовых добавок из кератин- и коллагенсодержащего сырья птицепереработки, поскольку антиоксидантные и антирадикальные свойства являются одним из типов биологической активности, тестируемой как для индивидуальных соединений, так и для многокомпонентных смесей.

При жизни антиоксидантный статус влияет на здоровье животных и птицы, а антиоксидантный потенциал мышц после убоя в значительной степени определяет качество мяса. Перекисное окисление липидов свободными радикалами вызывает окислительный стресс и повышает содержание малонового диальдегида – конечного продукта перекиса липидов [17], что также снижает качество мяса и изменяет его цвет. Накопление антиоксидантов, наоборот, стабилизирует цвет мяса и увеличивает время его хранения [18]. Торможение перекисного окисления липидов способствует улучшению вкуса, текстуры и питательной ценности мясной продукции [19]. Для поддержания баланса в системе антиоксидантной защиты организма необходимо поступление антиоксидантов с пищей, следовательно, содержание антиоксидантов являются критерием функциональности продукта.

Антиоксидантная емкость кормовых добавок из кератин- и коллагенсодержащего сырья птицепереработки, а также рыбной муки представлена в табл. 4.

Антиоксидантная емкость гидрофильной фракции добавок по отношению к пероксильному радикалу варьирует в пределах 250–300 мкмоль ТЭ/г. Следует отметить, что подавляющий вклад в АОЕ вносят гидрофильные антиоксиданты. Вклад липофильной фракции составляет 0.03% в кератинсодержащей и 0.5% в коллагенсодержащей добавках от суммарной АОЕ обеих фракций добавок. По величине АОЕ исследуемые кормовые добавки соответствуют диапазону АОЕ, описанному в литературе для белковых добавок из различных источников животного сырья. Для сравнения АОЕ гидролизатов, полученных из продуктов переработки иглокожих, составляет 267–421 мкмоль ТЭ/г [20]; из продуктов

Табл. 5

Показатели продуктивности цыплят 38-суточного возраста

Показатель	1 (к)	2	3
Средняя живая масса 1 гол., г			
♂	2198 ± 49.8	2391 ± 38.5**	2218 ± 53.1
♀	1990 ± 48.1	2183 ± 31.7***	1992 ± 38.7
Среднее арифметическое	2094	2287	2105
в % к контролю	–	+9.2	+0.52
Среднесуточный прирост, г	53.9	59.0	54.2
Сохранность, %	98	100	98
Затраты корма на 1 кг прироста, кг	1.74	1.63	1.73

Примечание:

* $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$.

1(к) – контрольная группа цыплят (рацион с рыбной мукой)

2 – группа цыплят (рацион с ферментированным гидролизатом пера)

3 – группа цыплят (рацион с ферментированным гидролизатом коллагена)

Табл. 6

Показатели продуктивности цыплят 49-суточного возраста

Показатель	1 (к)	2	3
Средняя живая масса 1 гол., г			
♂	3154 ± 70.3	3449 ± 54.0***	3161 ± 82.4
♀	2773 ± 68.5	3075 ± 48.9***	2789 ± 55.8
Среднее арифметическое	2964	3262	2975
в % к контролю	–	+10.05	+0.37
Среднесуточный прирост, г	59.6	65.6	59.8
Сохранность, %	96	100	98
Затраты корма на 1 кг прироста, кг	2.06	1.91	2.02

Примечание:

* $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$.

1(к) – контрольная группа цыплят (рацион с рыбной мукой)

2 – группа цыплят (рацион с ферментированным гидролизатом пера)

3 – группа цыплят (рацион с ферментированным гидролизатом коллагена)

переработки морской рыбы – 340–530 мкмоль ТЭ/г [21], переработки молочной сыворотки – 400–630 мкмоль ТЭ/г [22]. Значения АОЕ для гидролизатов рыбных отходов варьируют в диапазоне от 260 до 710 мкмоль ТЭ/г образца [11, 23].

С целью определения продуктивных качеств цыплят-бройлеров при скормливании новых кормовых добавок был проведен эксперимент, результаты которого представлены в табл. 5 и 6.

Из табл. 5 следует, что в 38-суточном возрасте лучшей группой по продуктивности оказалась опытная группа 2, в которой цыплята получали ферментированный гидролизат пера вместо рыбной муки. Так, средняя живая масса цыплят в этой группе опережала данный показатель контрольной группы на 9.2%. Средний вес петушков и курочек составил 2391 и 2183 г соответственно, что на 87.8% и 9.70% выше по сравнению со сверстниками из контрольной группы при достоверной разнице (при $p \leq 0.01$ и $p \leq 0.001$) соответственно. При 100%-ной сохранности поголовья в лучшей опытной группе 2 затраты корма на 1 кг прироста

живой массы были ниже на 6.32%, а среднесуточный прирост выше на 9.46% по сравнению с контрольной группой.

Использование в рационе ферментированного гидролизата коллагена взамен рыбной муки существенно не отразилось на продуктивных показателях цыплят-бройлеров. Как петушки, так и курочки по средней живой массе и среднесуточному приросту, а также по сохранности поголовья были практически на одном уровне с контрольной группой, а по затратам корма – на 0.57% ниже.

В табл. 6 представлены результаты выращивания цыплят до 49-суточного возраста.

Лидирующую позицию по продуктивным показателям до 49-суточного возраста цыплят сохранила за собой опытная группа 2.

Использование комбикорма с включением в него ферментированного гидролизата пера взамен рыбной муки способствовало увеличению средней живой массы, среднесуточного прироста цыплят-бройлеров и сохранности поголовья на 10.05%, 10.07% и 4,0% соответственно. При этом затраты корма на 1 кг прироста живой массы были на 7.28% ниже по сравнению с контролем.

Так, средняя живая масса петушков и курочек была достоверно выше (при $p \leq 0.001$) на 9.35% и 10.89% соответственно.

Опытная группа 3 по продуктивным показателям, за исключением сохранности, не отличалась от контрольной. Сохранность в опытной группе 3 была на 2% выше по сравнению с данным показателем в контрольной группе.

Заключение

Охарактеризованы физико-химические и биохимические показатели (антиоксидантная емкость, молекулярно-массовое распределение, профиль летучих компонентов) кормовых добавок из кератин- и коллагенсодержащего сырья птицепереработки в сравнении с рыбной мукой. Показано, что летучая фракция кератинсодержащего сырья содержит 37 основных компонента, включая алифатические кислоты и амиды алифатических кислот, индол и его производные, спирты, амиды и производные амидов ароматических кислот, серосодержащие соединения, образующиеся в результате распада липидов и аминокислот. Наличие в составе белковых добавок кератинсодержащего сырья серосодержащих соединений, по видимому, обуславливает специфический аромат, свойственный данному продукту.

Показано, что ферментированные белковые добавки из кератин- и коллагенсодержащего сырья птицепереработки преимущественно содержат низко- ($M.в. < 5$ кДа) и среднемолекулярные ($M.в. 10-25$ кДа) компоненты. При этом антиоксидантная емкость исследуемых белковых кормовых добавок по отношению к пероксильному радикалу варьирует в пределах 250–300 мкмоль ТЭ/г, причем более 99.9% приходится на долю гидрофильных антиоксидантов. По величине АОЕ исследуемые гидролизаты соответствуют диапазону АОЕ, приведенному в литературе для белковых гидролизатов растительного и животного происхождения. Перевариваемость ферментированных белковых добавок из кератин- (перо) и коллагенсодержащего (мясокостный остаток) сырья составила 92.0% и 85.0% соответственно.

Использование комбикорма с включением в него ферментированных гидролизатов коллагена и пера взамен рыбной муки способствовало увеличению средней живой массы цыплят-бройлеров 38- и 49-суточного возраста на 0.37–10.05%, среднесуточного прироста на 0.3–10.07% и сохранности поголовья на 2–4%.

Все это свидетельствует о возможности использования новых кормовых добавок из вторичных продуктов птицепереработки для замены рыбной муки в рационах цыплят-бройлеров.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 17-16-01028)

Литература

1. *Кочиш И.И., Петраш М.Г., Смирнов С.Б.* Птицеводство. – М.: КолосС, 2004. – 407 с.
2. *Кун К.* Идеальное аминокислотное соотношение в рационах бройлеров // Комбикорма. – 2011. – № 4. – С. 65–70.
3. *Фисинин В.И., Имангулов Ш.А.* Нормирование кормления сельскохозяйственной птицы по доступным аминокислотам. – Сергиев Посад: ВНИТИП, 2000. – 47 с.
4. *Околелова Т.М., Просвирякова О.А., Григорьева Е.Н., Шевяков А.Н.* Качественный заменитель рыбной муки в комбикормах для бройлеров // Птица и птицепродукты. – 2008. – № 2. – С. 41–43.
5. *Гоноцкий В.А., Федина Л.П., Хвеля С.И., Краснояков С.Н., Абалдова В.А.* Мясо птицы механической обвалки. – М.: Альфа-Дизайн, 2004. – 200 с.
6. *Антипова Л.В., Сиволюцкая Е.В., Полянских С.В.* Биомодификация малоценного перо-пухового сырья в получении препаратов аминокислот различной степени чистоты // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2008. – № 1. – С. 59–61.
7. *Волик В.Г., Исмаилова Д.Ю., Ерохина О.Н., Зиновьев С.В., Козак С.С., Мухин Ю.Е., Королева О.В.* Эффективное использование вторичного сырья, получаемого при переработке птицы // Птица и птицепродукты. – 2011. – № 3. – С. 16–19.
8. Пат. № 2413422 РФ. Способ производства кормовой белковой добавки с высокой усваиваемостью из перо-пухового сырья для домашних животных и птицы на основе кратковременной высокотемпературной обработки / В.В. Бреннер, В.Г. Волик, Д.Ю. Исмаилова, В.А. Петровичев, В.О. Попов, В.И. Черноусов. – № 2018113149; заявл. 11.04.2018; опубл. 28.03.19, Бюл. № 10. – 13 с.
9. Пат. № 2601576 РФ. Способ производства мясокостной пасты из пищевых вторичных продуктов переработки птицы и сельскохозяйственных животных / В.Г. Волик, В.М. Мазур, Д.Ю. Исмаилова, С.В. Зиновьев, В.В. Гушин, О.Н. Ерохина. – № 2015124144/13; заявл. 23.06.2015; опубл. 10.11.16, Бюл. № 31. – 7 с.
10. *Максаков В.Я.* Использование вкусовых и ароматических веществ в кормлении животных. – М.: Колос, 1983. – 174 с.
11. *Sae-Leaw T., O'Callaghan Y.C., Benjakul S., O'Brien N.M.* Antioxidant activities and selected characteristics of gelatin hydrolysates from seabass (*Lates calcarifer*) skin as affected by production processes // J. Food Sci. Technol. – 2016. – V. 53, No 1. – P. 197–208. – doi: 10.1007/s13197-015-1989-7.
12. *Zhao Q., Shen Q., Guo R., Wu J., Dai Z.-Y.* Characterization of flavor properties from fish (*Collichthys niveatus*) through enzymatic hydrolysis and the Maillard reaction // J. Aquat. Food Prod. Technol. – 2016. – V. 25, No. 4. – P. 482–495. – doi: 10.1080/10498850.2013.873965.

13. Ross C.F., Smith D.M. Use of volatiles as indicators of lipid oxidation in muscle foods // *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* – 2006. – V. 5, No 1. – P. 18–25. – doi: 10.1111/j.1541-4337.2006.tb00077.x.
14. Varlet V., Knockaert C., Prost C., Serot T. Comparison of odor-active volatile compounds of fresh and smoked salmon // *J. Agric. Food Chem.* – 2006. – V. 54, No 9. – P. 3391–3401. – doi: 10.1021/jf053001p.
15. Nikolaev I.V., Sforza S., Lambertini F., Ismailova D.Yu., Khotchenkov V.P., Volik V.G., Dossena A., Popov V.O., Koroleva O.V. Biocatalytic conversion of poultry processing left-overs: Optimization of hydrolytic conditions and peptide hydrolysate characterization // *Food Chem.* – 2016. – V. 197, Pt. A. – P. 611–621. – doi: 10.1016/j.foodchem.2015.10.114.
16. Thiansilakul Y., Benjakul S., Richards M.P. Effect of myoglobin from Eastern little tuna muscle on lipid oxidation of washed Asian seabass mince at different pH conditions // *J. Food Sci.* – 2011. – V. 76, No 2. – P. 242–249 – doi: 10.1111/j.1750-3841.2010.01992.x.
17. Kim J.E., Clark R.M., Park Y., Lee J., Fernandez M.L. Lutein decreases oxidative stress and inflammation in liver and eyes of guinea pigs fed a hypercholesterolemic diet // *Nutr. Res. Pract.* – 2012. – V. 6, No 2. – P. 113–119. –doi: 10.4162/nrp.2012.6.2.113.
18. Faustman C., Cassens R. The biochemical basis for discoloration in fresh meat: A review // *J. Muscle Foods.* – 1990. – V 1, No 3. – P. 217–243 – doi: 10.1111/j.1745-4573.1990.tb00366.x.
19. Faustman C., Sun Q., Mancini R., Suman S.P. Myoglobin and lipid oxidation interactions: Mechanistic bases and control // *Meat Sci.* – 2010. – V. 86, No 1. – P. 86–94. – doi: 10.1016/j.meatsci.2010.04.025.
20. Mamelona J., Saint-Louis R., Pelletier E. Nutritional composition and antioxidant properties of protein hydrolysates prepared from echinoderm byproducts // *Int. J. Food Sci. Technol.* – 2010. – V. 45, No 1. – P. 147–154. – doi: 10.1111/j.1365-2621.2009.02114.x.
21. Altinelataman C., Koroleva O., Fedorova T., Torkova A., Lisitskaya K., Tsentelovich M., Kononikhin A., Popov I., Vasina D., Kovalyov L., Çelik U. An in vitro and in silico study on the antioxidant and cell culture-based study on the chemoprotective activities of fish muscle protein hydrolysates obtained from European seabass and gilthead seabream // *Food Chem.* – 2019. – V. 271. – P. 724–732. – doi: 10.1016/j.foodchem.2018.08.004.
22. Торкова А.А., Рязанцева К.А., Агаркова Е.Ю., Кручинин А.Г., Центалович М.Ю., Федорова Т.В. Рациональный дизайн ферментных композиций для получения функциональных гидролизатов сывороточных белков коровьего молока // *Прикл. биохимия и микробиол.* – 2017. – Т. 53, № 6. – С. 580–591. – doi: 10.7868/S0555109917060137.
23. Kittiphattanabawon P., Benjakul S., Visessanguan W., Shahidi F. Gelatin hydrolysate from blacktip shark skin prepared using papaya latex enzyme: Antioxidant activity and its potential in model systems // *Food Chem.* – 2012. – V. 135, No 3. – P. 1118–1126. – doi: 10.1016/j.foodchem.2012.05.080.

Поступила в редакцию
29.03.19

Волк Виктор Григорьевич, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией

Всероссийский научно-исследовательский институт птицеперерабатывающей промышленности» – филиал ФНЦ «ВНИТИП» РАН

стр. 1, пос. Ржавки, Моск. обл., Солнечногорский р-н, 141552, Россия

E-mail: volik@info.ru

Исмаилова Диларам Юлдашевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник
Всероссийский научно-исследовательский институт птицеперерабатывающей промышленности – филиал ФНЦ «ВНИТИП» РАН
стр. 1, пос. Ржавки, Московская обл., Солнечногорский р-н, 141552, Россия
E-mail: dilaramis08@mail.ru

Лукашенко Валерий Семенович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник
Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства» РАН
ул. Птицеградская, д. 10, г. Сергиев Посад, Московская обл., 141311, Россия
E-mail: lukashenko@vniitip.ru

Салеева Ирина Павловна, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник
Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства» РАН
ул. Птицеградская, д. 10, г. Сергиев Посад, Московская обл., 141311, Россия
E-mail: saleeva@vniitip.ru

Федорова Татьяна Васильевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией
Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН
Ленинский пр-т, д. 33, стр. 2, г. Москва, 119071, Россия
E-mail: fedorova_tv@mail.ru

Овсейчик Екатерина Александровна, научный сотрудник
Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства» РАН
ул. Птицеградская, д. 10, г. Сергиев Посад, Московская обл., 141311, Россия
E-mail: ovseychik@vniitip.ru

Журавчук Евгения Владимировна, младший научный сотрудник
Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства» РАН
ул. Птицеградская, д. 1., г. Сергиев Посад, Московская обл., 141311, Россия
E-mail: evgeniy_20.02@mail.ru

Зиновьев Сергей Владимирович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник
Всероссийский научно-исследовательский институт птицеперерабатывающей промышленности – филиал ФНЦ «ВНИТИП» РАН
стр. 1, пос. Ржавки, Московская обл., Солнечногорский р-н, 141552, Россия
E-mail: worklab19@mail.ru

**Biochemical Properties of Fodder Additives
Based on Fermented Poultry Wastes and Their Effects on Broiler Productivity**

V.G. Volik^{a*}, *D.Yu. Ismailova*^{a**}, *V.S. Lukashenko*^{b***}, *I.P. Saleeva*^{b****},
T.V. Fedorova^{c*****}, *E.A. Ovseychik*^{b*****}, *E.V. Zhuravchuk*^{b*****}, *S.V. Zinovyev*^{a*****}

^aAll-Russian Research Institute of Poultry Processing Industry, Branch of Federal Scientific Center "All-Russian Research and Technological Poultry Institute",
Russian Academy of Sciences, Rzhavki, 141552 Russia

^bFederal Scientific Center "All-Russian Research and Technological Poultry Institute",
Russian Academy of Sciences, Sergiev Posad, 141311 Russia

^cFederal Research Center "Fundamentals of Biotechnology",
Russian Academy of Sciences, Moscow, 119071 Russia

E-mail: **volik@dinfo.ru*, ***dilaramis08@mail.ru*, ****lukashenko@vnitip.ru*,
*****saleeva@vnitip.ru*, ******fedorova_tv@mail.ru*, ******ovseychik@vnitip.ru*,
******evgeniy_20.02@mail.ru*, ******worklab19@mail.ru*

Received March 29, 2019

Abstract

The wastes of broiler slaughter and carcass processing – poultry by-products (feathers, blood, bones, meat trimmings, etc.) – are the substantial part of the initial live bodyweight of slaughtered broilers (up to 30%); these by-products, with hydrolysates being especially promising, can serve as a source of animal protein in diets for poultry.

In this study, we determined the biochemical properties of the fermented protein additives produced by short-term thermal treatment and subsequent enzymatic hydrolysis of collagen- and keratin-containing poultry wastes.

The dry protein additive based on the keratin-containing wastes featured average moisture content 4.57%, crude protein content 86.52%, crude fat content 2.25%, ash content 2.04%; the respective parameters in the dry additive based on the collagen-containing wastes after high-temperature treatment and enzymatic hydrolysis were 2.57, 45.4, 23.29, and 24.04%.

The digestibility of the dry keratin- and collagen-based additives after the two-stage productive cycle was 92.0 and 85.0%, respectively.

Certain biochemical parameters of these two additives were determined (antioxidative capacity, molecular weight distribution of peptides, profile of volatiles). The analysis of volatiles profile in the keratin-based additive showed that it contained 37 main ingredients, including aliphatic acids and their amides, indole and its derivatives, alcohols, amides of aromatic acids and their derivatives, sulphur-containing substances. The latter are probably responsible for the characteristic odor of the keratin-based product.

It was found that the fermented keratin- and collagen-based additives contain primarily peptides with low (< 5 KDa) and medium (10–25 KDa) molecular weights. The antioxidative capacity of the additives in relation to peroxide radical varied in the range of 250–300 μmoles of trolox equivalent per 1 g; over 99.9% of this capacity was presented by hydrophilic antioxidants.

Trials on broilers with the substitution of the fermented additives for fish meal in the diets proved that the additives do not compromise the growth efficiency and productive performance.

Keywords: fodder additives, keratin-containing poultry wastes, collagen-containing poultry wastes, enzymatic hydrolysis, digestibility, antioxidative capacity, molecular weight distribution, volatile aromatic compounds

Acknowledgments. The study was supported by the Russian Science Foundation (project no. 17-16-01028).

Figure Captions

Fig. 1. Elution profiles of the fodder additives. Solid line – collagen-based additive based on poultry by-products. Dotted line – fish meal. Dashed line – keratin-based additives based on poultry by-products.

References

1. Kochish I.I., Petrash M.G., Smirnov S.B. *Ptitsevodstvo* [Poultry Farming]. Moscow, KolosS, 2004. 407 p. (In Russian)
2. Kun K. Ideal ratio of amino acids in the diet of broilers. *Kombikorma*, 2011, no. 4, pp. 65–70. (In Russian)
3. Fisinin V.I., Imangulov Sh.A. *Normirovanie kormleniya sel'skokhozyaistvennoi ptitsy po dostupnym aminokislotam* [Balancing Available Amino Acids in Diets for Poultry]. Sergiev Posad, VNIITP, 2000. 47 p. (In Russian)
4. Okolelova T.M., Prosviryakova O.A., Grigor'eva E.N., Shevyakov A.N. A qualitative substitute of fish meal in compound feeds for broilers. *Ptitsa Ptitseprod.*, 2008, no. 2, pp. 41–43. (In Russian)
5. Gonetskii V.A., Fedina L.P., Khvylya S.I., Krasnyukov S.N., Abaldova V.A. *Myaso ptitsy mekhanicheskoi obvalki* [Mechanical Deboning of Poultry Meat]. Moscow, Al'fa-Dizain, 2004. 200 p. (In Russian)
6. Antipova L.V., Sivolotskaya E.V., Polyanskikh S.V. Biotransformation of low-value fluff and feathers into the preparations of amino acids with different degree of purity. *Khranenie Pererab. Syr'ya*, 2008, no. 1, pp. 59–61. (In Russian)
7. Volik B.G., Ismailova D.Yu., Erokhina O.N., Zinov'ev S.V., Kozak S.S., Mukhin J.E., Koroleva O.V. Efficient use of secondary raw materials obtained in the processing of poultry. *Ptitsa Ptitseprod.*, 2011, no. 3, pp. 16–19. (In Russian)
8. Brenner V.V., Volik V.G., Ismailova D.Yu., Petrovichev V.A., Popov V.O., Chernousov V.I. Method for production of highly digestible protein feed additive for animals and poultry based on short-period thermal treatment of poultry fluff and feathers. Patent RF no. 2018113149, 2019. (In Russian)
9. Volik V.G., Mazur V.M., Ismailova D.Yu., Zinovyev S.V., Gushchin V.V., Erokhina O.N. Method of production of meat-and-bone paste from the wastes of animal and poultry slaughter and processing. Patent RF, no. 2015124144/13, 2016. (In Russian)
10. Maksakov V.Y. *Ispol'zovanie vkusovykh i aromatischeskikh veshchestv v kormlenii zhivotnykh* [Using Flavoring and Aromatic Substances in Animal Nutrition]. Moscow, Kolos, 1983. 174 p. (In Russian)
11. Sae-Leaw T., O'Callaghan Y.C., Benjakul S., O'Brien N.M. Antioxidant activities and selected characteristics of gelatin hydrolysates from seabass (*Lates calcarifer*) skin as affected by production processes. *J. Food Sci. Technol.*, 2016, vol. 53, no. 1, pp. 197–208. doi: 10.1007/s13197-015-1989-7.
12. Zhao Q., Shen Q., Guo R., Wu J., Dai Z.-Y. Characterization of flavor properties from fish (*Collichthys niveatus*) through enzymatic hydrolysis and the Maillard reaction. *J. Aquat. Food Prod. Technol.*, 2016, vol. 25, no. 4, pp. 482–495. doi: 10.1080/10498850.2013.873965.
13. Ross C.F., Smith D.M. Use of volatiles as indicators of lipid oxidation in muscle foods. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 2006, vol. 5, no. 1, pp.18–25. doi: 10.1111/j.1541-4337.2006.tb00077.x.
14. Varlet V., Knockaert C., Prost C., Serot T. Comparison of odor-active volatile compounds of fresh and smoked salmon. *J. Agric. Food Chem.*, 2006, vol. 54, no. 9, pp. 3391–3401. doi: 10.1021/jf053001p.
15. Nikolaev I.V., Sforza S., Lambertini F., Ismailova D.Yu., Khotchenkov V.P., Volik V.G., Dossena A., Popov V.O., Koroleva O.V. Biocatalytic conversion of poultry processing leftovers: Optimization of hydrolytic conditions and peptide hydrolysate characterization. *Food Chem.*, 2016, vol. 197, pt. A, pp. 611–621. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.10.114.
16. Thiansilakul Y., Benjakul S., Richards M.P. Effect of myoglobin from Eastern little tuna muscle on lipid oxidation of washed Asian seabass mince at different pH conditions. *J. Food Sci.*, 2011, vol. 76, no. 2, pp. 242–249. doi: 10.1111/j.1750-3841.2010.01992.x.

17. Kim J.E., Clark R.M., Park Y., Lee J., Fernandez M.L. Lutein decreases oxidative stress and inflammation in liver and eyes of guinea pigs fed a hypercholesterolemic diet. *Nutr. Res. Pract.*, 2012, vol. 6, no. 2, pp. 113–119. doi: 10.4162/nrp.2012.6.2.113.
18. Faustman C., Cassens R. The biochemical basis for discoloration in fresh meat: A review. *J. Muscle Foods*, 1990, vol. 1, no. 3, pp. 217–243. doi: 10.1111/j.1745-4573.1990.tb00366.x.
19. Faustman C., Sun Q., Mancini R., Suman S.P. Myoglobin and lipid oxidation interactions: Mechanistic bases and control. *Meat Sci.*, 2010, vol. 86, no. 1, pp. 86–94. doi: 10.1016/j.meatsci.2010.04.025.
20. Mamelona J., Saint-Louis R., Pelletier E. Nutritional composition and antioxidant properties of protein hydrolysates prepared from echinoderm by-products. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 2010, vol. 45, no. 1, pp. 147–154. doi: 10.1111/j.1365-2621.2009.02114.x.
21. Altinelataman C., Koroleva O., Fedorova T., Torkova A., Lisitskaya K., Tsentalovich M., Kononikhin A., Popov I., Vasina D., Kovalyov L., Çelik U. An in vitro and in silico study on the antioxidant and cell culture-based study on the chemoprotective activities of fish muscle protein hydrolysates obtained from European seabass and gilthead seabream. *Food Chem.*, 2019, vol. 271, pp. 724–732. doi: 10.1016/j.foodchem.2018.08.004.
22. Torkova A.A., Ryazantseva K.A., Agarkova E.Yu., Kruchinin A.G., Tsentalovich M.Yu., Fedorova T.V. Rational design of enzyme compositions for the production of functional hydrolysates of cow milk whey proteins. *Appl. Biochem. Microbiol.*, 2017, vol. 53, no. 6, pp. 669–679. doi: 10.1134/S0003683817060138.
23. Kittiphattanabawon P., Benjakul S., Visessanguan W., Shahidi F. Gelatin hydrolysate from blacktip shark skin prepared using papaya latex enzyme: Antioxidant activity and its potential in model systems. *Food Chem.*, 2012, vol. 135, no. 3, pp. 1118–1126. doi: 10.1016/j.foodchem.2012.05.080.

Для цитирования: Волик В.Г., Исмаилова Д.Ю., Лукашенко В.С., Салеева И.П., Федорова Т.В., Овсейчик Е.А., Журавчук Е.В., Зиновьев С.В. Биохимические свойства ферментированных кормовых добавок из вторичного сырья птицепереработки и продуктивность бройлеров // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2019. – Т. 161, кн. 3. – С. 422–439. – doi: 10.26907/2542-064X.2019.3.422-439.

For citation: Volik V.G., Ismailova D.Yu., Lukashenko V.S., Saleeva I.P., Fedorova T.V., Ovseychik E.A., Zhuravchuk E.V., Zinovyev S.V. Biochemical properties of fodder additives based on fermented poultry wastes and their effects on broiler productivity. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennyye Nauki*, 2019, vol. 161, no. 3, pp. 422–439. doi: 10.26907/2542-064X.2019.3.422-439. (In Russian)