ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-3-390-396
УДК 602.4

Оригинальная статья
http://fptt.ru/

Анализ эффективности и подбор параметров распылительной сушки гидролизатов перопуховых отходов

А. И. Пискаева[1,*], О. О. Бабич[2], Йонг Янг[3]

[1] *ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6*

[2] *ФГАОУ ВО Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, 236016, Россия, г. Калининград, ул. Александра Невского, 14*

[3] *Цицикарский университет, 161006, Китай, Цицикар, ул. Венхуа, 42*

Дата поступления в редакцию: 18.06.2019
Дата принятия в печать: 30.08.2019

**e-mail: a_piskaeva@mail.ru*

© А. И. Пискаева, О. О. Бабич, Йонг Янг, 2019

Аннотация. Перопуховые отходы являются наиболее перспективным источником кормового белка. Являясь компонентом кормовых добавок, перопуховое сырье представляет собой ценный источник питательных веществ из-за своего химического состава (содержанию аминокислот, сбалансированности микро- и макроэлементов). Цель работы заключалась в анализе эффективности и подборе параметров распылительной сушки гидролизатов перопуховых отходов. К числу преимуществ сухой кормовой добавки, полученной с использованием распылительной сушки, относятся: точность дозирования, компактность, удобство упаковки и транспортировки, длительность хранения и возможность целевого применения в растворенном виде. К наиболее важным показателям качества кормовой добавки относится массовая доля влаги и выход конечного продукта. Установлено, что основными параметрами распылительной сушки, влияющими на показатель массовой доли влаги и выход конечного продукта, являются температура сушки, аспирация (скорость потока воздуха) и скорость подачи раствора в установку. Авторами установлено, что температура распылительной сушки 70,0 ± 5,0 °C не приводит к потере части незаменимых аминокислот и образованию нежелательных веществ, что отмечено для других технологий, в которых применяется высокотемпературная обработка (90–120 ± 5,0 °C) и гидролиз, что снижает биологическую ценность кормового продукта. Данная температура признана оптимальной для сушки кератиновых гидролизатов. Определено оптимальное значение параметра скорости подачи раствора. Оно составило 6,5 ± 0,5 мл/мин. Установлено, что оптимальным диапазоном значений скорости потока воздуха при распылительной сушке гидролизатов перопухового сырья, обеспечивающим максимальный выход готового продукта и минимальный показатель массовой доли влаги в нем, является 20,0 ± 5,0 м^3/ч.

Ключевые слова. Кератиназа, биотехнология, утилизация пера, перопуховые отходы, распылительная сушка, кормовая добавка

Для цитирования: Пискаева, А. И. Анализ эффективности и подбор параметров распылительной сушки гидролизатов перопуховых отходов / А. И. Пискаева, О. О. Бабич, Йонг Янг // Техника и технология пищевых производств. – 2019. – Т. 49, № 3. – С. 390–396. DOI: https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-3-390-396.

Original article

Available online at http://fptt.ru/eng

Impact Analysis and Selection of Spray Drying Parameters for Dawn and Feather Protein Hydrolysates

A.I. Piskaeva[1,*], O.O. Babich[2], Yong Yang[3]

[1] *Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia*

[2] *Immanuel Kant Baltic Federal University, 14, A. Nevskogo Str., Kaliningrad, 236016, Russia*

[3] *Qiqihar University, 42, Wenhua Str., Qiqihar, 161006, China*

Received: June 18, 2019
Accepted: August 30, 2019

**e-mail: a_piskaeva@mail.ru*

© A.I. Piskaeva, O.O. Babich, Yong Yang, 2019

Abstract. Down and feather waste represents a promising source of feed protein. The main component of feather is protein, predominantly β-keratine. Keratin is a mechanically durable and chemically unreactive protein with cistein, glutamine, and protein as dominating amino acids in its structure. According to the chemical composition (amino acid content, balance of micro-and macronutrients), the feather raw material is a valuable source of nutrients as a component of feed additives. The aim of this work was to analyze the efficiency and selection of parameters of spray drying of hydrolysate of feather and down waste products. Dry feed additives obtained by spray drying have a lot of advantages, such as dosing accuracy, compactness, storage time, and a possibility of targeted use in dissolved form. In addition, they are easy to package and transport. The most important quality indicators of feed additives include the mass fraction of moisture and the yield of the finished product. The main parameters of spray drying that affect the mass fraction of moisture and the yield of the final product are the drying temperature, aspiration (air flow rate), and the rate of solution feeding to the installation. According to the experiment conducted, the spray drying temperature of 70.0 ± 5.0°C caused no loss of essential amino acids. In addition, no undesirable substances were formed, unlike in other technologies that use high-temperature treatment (90–120 ± 5.0°C) and hydrolysis, which reduces the biological value of the feed product. This temperature was found optimal for keratin hydrolysates during drying. The optimal value of the parameter of the solution flow rate was 6.5 ± 0.5 ml/min. The optimal range of air flow rates during spray drying of hydrolysates of feather raw materials was 20.0 ± 5.0 m^3/h. This temperature provides the maximum yield of the finished product and the minimum mass fraction of moisture.

Keywords. Keratinase, biotechnology, pen recycling, feather waste, spray drying, feed additive

For citation: Piskaeva AI, Babich OO, Yang Yong. Impact Analysis and Selection of Spray Drying Parameters for Dawn and Feather Protein Hydrolysates. Food Processing: Techniques and Technology. 2019;49(3):390–396. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-3-390-396.

Введение

Использование вторичных перопуховых ресурсов в не переработанном виде приводит к потере до 40 % ценных питательных веществ. Более 70 % ресурсов скармливается животным в первоначальном виде. Только 15–20 % подвергаются промышленной переработке, что приводит к выработке около 1,0 млн. т продукции в год [1]. Из-за нерационального и недостаточного использования вторичных сырьевых ресурсов теряется большое количество содержащихся в них ценных веществ [2].

Перспективным является биотехнологический способ переработки, основанный на способности микроорганизмов использовать перо и пух в качестве основного субстрата [3]. Способ представляет собой инновационную альтернативу классическим способам утилизации кератинсодержащих отходов.

Известно, что кератинолитические актиномицеты выделялись из нативных субстратов, таких как почва, водоемы, а также из тел животных: *Streptomycesrimosus*, *S. griseus*, *S. roseochromogenes*, *S. praecox*, *S. parvus*, *S. scabies*, *S. griseoluteus*, *Nocardiarubra*, *S. microvlavus*, *S. globisporusvulgaris* [4–6]. Кератинолитическая активность установлена для почвенных грибов: *Penicilliumrubrum*, *Penicilliumlilacium*, *Fusariumnivale*. Это кератинофильные грибы, использующие кератин в качестве источника питательных веществ и энергии [4, 7]. Известны культуры *Candidaalbicans*, *Trichophytonmentagrophytes*, *Fusiformisnodosus*, *Trichophytonschoenleini*, *Trichophytonrubrum*, которые выделяют ферменты, расцепляющие кератин [8]. Выявлено активное использование кератинсодержащего материала фенотипами *Trichophytonterrestre*. Ряд исследований по выделению кератиназы проведен с *Trichophyton mentagrophytes* [9, 10]. Кератинолитическая активность наблюдается у ряда других стрептомицетов *(Streptomyces Sp.A11*, *Streptomyces pactum DSM 40530*, *Streptomyces fradiae*, *Streptomyces sp. S. K1-02*, *Streptomyces chromogenes s. graecus* ЛИА *0832*, *Streptomyces lavendulae* ВКПМ *s-910*) [11]. Бактерии рода *Bacillus* способны продуцировать кератинолитические ферменты в постэкспоненциальном и стационарном периодах роста. Секреция кератинолитических ферментов сильно зависит от наличия в питательной среде необходимых компонентов и от соотношения источников азота и углерода, а также присутствия легко метаболизируемых сахаров (глюкозы, лактозы или мальтозы) [5, 12, 13].

Однако лишь незначительную часть микроорганизмов, использующих кератин в качестве единственного источника углерода, азота, серы и энергии, можно использовать для обеспечения безопасного процесса биоконверсии кератинсодержащих отходов в полезные конечные продукты.

Авторами собран консорциум кератинолитических микроорганизмов, состоящий из штаммов: *Bacillus licheniformis* B-740, *Bacillus pumilus* B-508, *Bacillus subtilis* ATCC 6051, *Streptomyces albidoflavus* ATCC 25422. Исследование кератинолитических микроорганизмов и их ферментов представляет собой актуальное направление научных изысканий, подразумевающих как фундаментальный аспект, так и значительный биотехнологический потенциал. Кормовые добавки, полученные биотехнологическими способами, в прикладном значении – это наиболее перспективные источники аминокислот. Это делает их привлекательным объектом для будущих исследований.

Одним из основных этапов при производстве кормов и кормовых добавок для сельскохозяйственных животных и птиц является их обезвоживание (сушка).

Среди применяемых сегодня инженерных решений и процессов для получения сухих кормов распылительная сушка обладает явными преимуществами:

– непродолжительным временем воздействия греющего агента на продукт (не более 20 мс) и контролем температуры на выходе, что позволяет избежать процесса термического горения с образованием токсичных веществ;

– наличием фильтра, улавливающего мельчайшие частицы высушенного продукта. Это позволяет избежать наличия кормовой взвеси в воздухе помещения;

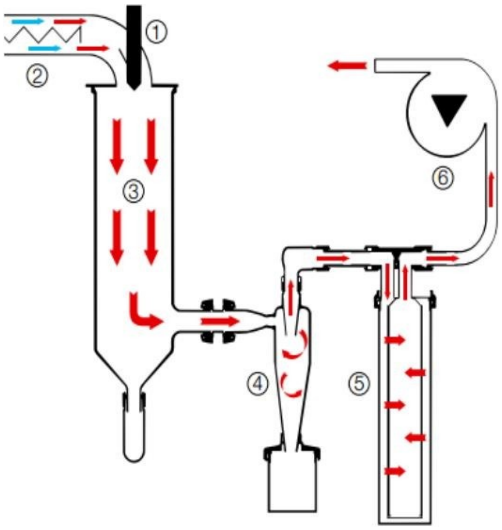

Рисунок 1. Схема установки распылительной сушки: 1 – распыляющая форсунка; 2 – нагреватель Fuzzy-logic; 3 – сушильная камера; 4 – циклон; 5 – выходной фильтр; 6 – потоковый аспиратор

Figure 1. Scheme of the spray drying unit: 1 – spray nozzle; 2 – Fuzzy-logic heater; 3 – drying chamber; 4 – cyclone; 5 – output filter; 6 – stream aspirator

– отсутствием катализаторов и стабилизаторов процесса сушки. Это непосредственно влияет на качественный состав кормовой добавки;

– возможностью инактивации протеолитических ферментов в мягких условиях без добавления химических агентов.

К числу преимуществ сухой кормовой добавки, полученной с использованием распылительной сушки, относятся: точность дозирования, компактность, удобство упаковки и транспортировки, длительность хранения и возможность целевого применения в растворенном виде.

Таким образом, распылительную сушку целесообразно использовать для обеспечения процесса переработки перопуховых отходов в кормовые добавки.

Цель работы заключалась в анализе эффективности и подборе параметров распылительной сушки гидролизатов перопуховых отходов.

Объекты и методы исследования

Сушку растворов вели на установке распылительной сушки, модель Mini Spray Dryer B-290 (Buchi, Швейцария), с возможностью регулировки скорости рабочего раствора и распыляющего потока газа. Установка позволяет получать готовый продукт с размером частиц 1–25 мкм. Материалы, вступающие в контакт с продуктом: кислотоустойчивая нержавеющая сталь, боросиликатное стекло, силикон. Схема установки приведена на рисунке 1.

Нагрев газа, который подается в корпус сушилки и двухпоточной форсунки (1), производит микропроцессорная автоматика Fuzzy-logic (2), оснащенная цифровым дисплеем и температурным датчиком PT 100, обеспечивающим надежность и точность при изменении температурного параметра. Исходный раствор пропускается через форсунку, которая распыляет его на мельчайшие капли. Затем капли попадают в сушильную камеру (3), где непосредственно протекает процесс распылительной сушки.

Частицы сухого продукта, подхваченные потоком газа, переносятся в циклон (4) для осуществления их разделения под действием собственной силы тяжести. Распылительная сушилка оснащена текстильным выходным фильтром (5), который удерживает мелкие частицы, а также оборудована аспиратором (6) для создания потока воздуха во всей установке.

Основными параметрами, влияющими на показатель массовой доли влаги, размер частиц и выход конечного продукта, согласно технической документации к установке распылительной сушки Mini Spray Dryer B-290 (BUCHI Labortechnick AG, Швейцария), являются температура сушки, аспирация (скорость потока воздуха) и скорость подачи раствора в установку. В соответствии с этим варьировали данные параметры при сушке гидролизатов кератина.

Размер частиц определяли микроскопированием образцов высушенных гидролизатов с применением микроскопа AxioVert.A1 (Carl Zeiss AG, Германия).

Массовую долю влаги определяли по ГОСТ 13496.3-92 «Комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения влаги».

При изучении состава и свойств кормовой добавки определяли органолептические, физико-химические и микробиологические показатели, токсичные элементы, а также аминокислотный состав.

Определение внешнего вида, цвета и запаха проводили органолептически: образец кормовой добавки массой 100 г помещали на лист белой бумаги, имеющий гладкую и чистую поверхность, тщательно перемешивали, после чего разравнивали тонким слоем на поверхности бумаги. Определяли запах, внешний вид и цвет, рассматривая при естественном освещении.

Определение крупности кормовой добавки производили следующим образом: отбирали образец массой 100 г и помещали его на лабораторное сито для рассева, плотно закрыв крышкой и установив на рассевочной платформе. Просеивание вели в течение 10 мин, скорость 200–210 колебаний/мин. После просеивания остаток взвешивали. Погрешность не более 0,1 г.

Массовую долю остатка на сите в процентах вычисляли по формуле:

$$X = \frac{m_1}{m} \times 100$$

где m – масса навески анализируемого продукта, г; m_1 – масса остатка на сите, г.

Микробиологические показатели определяли по ГОСТ 25311-82 «Мука кормовая животного происхождения. Методы бактериологического анализа» и «Правилам бактериологического исследования кормов» (утв. ГУВ МСХ СССР 10.06.1975г.)

Содержание токсичных элементов определяли по ГОСТ 30692-2000 «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Атомно-абсорбционный метод определения содержания меди, свинца, цинка и кадмия».

Математическую обработку результатов проведенных исследований проводили с использованием метода регрессионного анализа и применением полнофакторного планирования, градиентного метода, метода наименьших квадратов и линейного программирования. Графические зависимости, представленные на рисунках экспериментальной части работы, приведены после обработки результатов исследований по методу наименьших квадратов и реализованы в Microsoft Excel и MatLAB 6.5.

Результаты и их обсуждение

К наиболее важным показателям качества кормовой добавки относится массовая доля влаги. Количество влаги определяет такой показатель, как энергетическая ценность продукта. Чем больше значение массовой доли влаги, тем ниже содержание полезных сухих веществ, таких как белки, жиры, углеводы и др. в единице массы продукта. В тесной связи с показателем массовой доли влаги находится устойчивость продукта в процессе хранения и транспортировки, а также его пригодность для дальнейшей переработки. Это связано с тем, что избыточная влага является катализатором различных ферментативных и химических реакций, протекающих в продукте, а также приводит к активизации деятельности микроорганизмов, вызывающих порчу продуктов, в частности плесневение. Вышесказанное определяет важность контроля данного показателя в процессе сушки гидролизатов. Помимо массовой доли влаги исследовали зависимость выхода конечного продукта от параметров распылительной сушки. Под выходом продукта понимают количество готового продукта в процентах от массовой доли сухих веществ в исходном растворе.

Основными параметрами, влияющими на показатель массовой доли влаги и выход конечного продукта, являются температура сушки, аспирация (скорость потока воздуха) и скорость подачи раствора в установку. На рисунке 2 представлены эмпирические зависимости выхода конечного продукта и массовой доли влаги от температуры сушки.

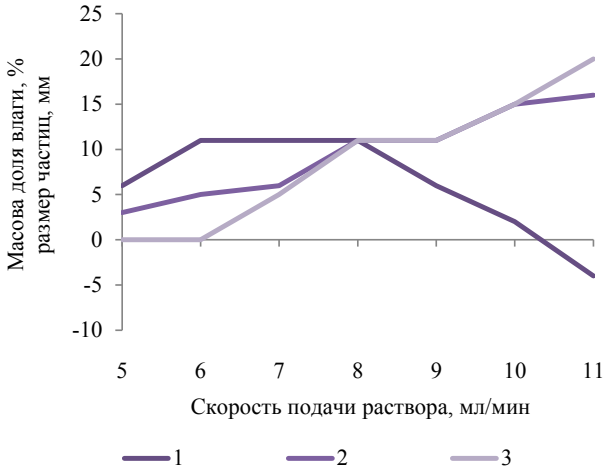

Рисунок 3. Зависимости массовой доли влаги, выхода продукта и размера частиц гидролизата от скорости подачи раствора в установку: 1 – выход продукта; 2 – массовая доля влаги; 3 – размер частиц, $P < 0{,}05$

Figure 3. Effect of the solution feeding on the mass fraction of moisture, product yield, and size of hydrolysate particles: 1 – product yield; 2 – mass fraction of moisture; 3 – particle size, $P < 0.05$

В комбикормах содержание влаги не должно превышать 14,5–15,0 %, в белково-витаминно-минеральных кормовых добавках – 14,0 % [14].

Из рисунка 2 видно, что выход готового продукта максимален в интервале температур 70–80 °С, а массовая доля влаги соответствует требованиям нормативной документации в интервале 33–60 °С.

Следовательно, оптимальным значением температуры для сушки гидролизатов перопуховых отходов является интервал 60–90 °С. Однако в промежутке 80–90 °С отмечено уменьшение выхода готового

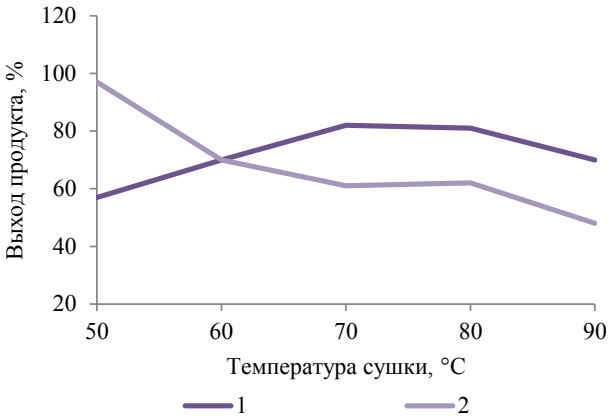

Рисунок 2. Зависимости массовой доли влаги и выхода продукта от температуры сушки гидролизатов: 1 – выход продукта; 2 – массовая доля влаги, $P < 0{,}05$

Figure 2. Effect of the drying temperature of hydrolysates on the mass fraction of moisture and product yield: 1 – product yield; 2 – mass fraction of moisture, $P < 0.05$

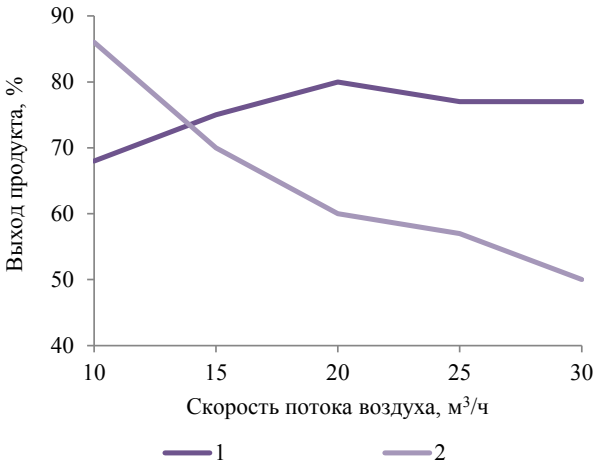

Рисунок 4. Зависимости массовой доли влаги и выхода продукта от скорости потока воздуха: 1 – выход продукта; 2 – массовая доля влаги, $P < 0{,}05$

Figure 4. Effect of the air flow rate on the mass fraction of moisture and product yield: 1 – product yield; 2 – mass fraction of moisture, $P < 0.05$

Таблица 1. Параметры распылительной сушки гидролизатов*

Table 1. Parameters of spray drying hydrolysates

Наименование параметра	Оптимальное значение	Нормируемый показатель		
		Массовая доля влаги, %	Размер частиц, мкм	Выход продукта, %
Температура сушки, °С	70,0 ± 5,0	10,0 ± 0,5	–	81,0 ± 0,5
Скорость подачи раствора в установку, мл/мин	6,5 ± 0,5	10,0 ± 0,5	5–10 ± 2,5	81,0 ± 0,5
Скорость потока воздуха, м^3/ч	20,0 ± 5,0	6,5 ± 3,5	–	77,0 ± 5,0

* среднее значение для трех наблюдений, $P < 0,05$;

* average value after three tests, $P < 0.05$.

продута из-за налипания частиц на стенки сушильной башни. Исходя из вышесказанного, рациональным считали использовать t = 70,0 ± 5,0 °С. Температура 70,0 ± 5,0 °С не приводит к потере части незаменимых аминокислот и образованию нежелательных веществ, что отмечено для других технологий, в которых применяется высокотемпературная обработка (90–120 ± 5,0 °С) и гидролиз, что снижает биологическую ценность кормового продукта [19].

Еще одним показателем, определяющим качество кормов и кормовых добавок, является размер частиц. При распылительной сушке на размер частиц существенное влияние оказывает скорость подачи раствора в установку. На рисунке 3 представлены эмпирические зависимости выхода конечного продукта, массовой доли влаги и размера частиц от скорости подачи раствора.

В соответствии с данными, представленными на рисунке 3, выход готового продукта максимален при значениях скорости подачи раствора в установку 6–8 мл/мин. Массовая доля влаги находится в пределах нормы (14,5–15,0 %) при значениях скорости подачи раствора в установку 5–8 мл/мин.

В соответствии с требованиями нормативной документации размер частиц в кормах и кормовых добавках для цыплят-бройлеров – 3 мм (не более 15 %, выше не допускается). Следовательно, при значениях скорости подачи раствора в установку 5–11 мл/мин размер частиц соответствует требованиям нормативной документации. Таким образом, оптимальным значением параметра скорости подачи раствора является 6,5 ± 0,5 мл/мин.

На рисунке 4 представлены эмпирические зависимости массовой доли влаги и выхода продукта от скорости потока воздуха.

В соответствии с рисунком 4 установлено, что оптимальным диапазоном значений скорости потока воздуха при распылительной сушке гидролизатов перопухового сырья, обеспечивающим максимальный выход готового продукта и минимальный показатель массовой доли влаги в нем, является 20,0 ± 5,0 м^3/ч.

В таблице 1 сведены подобранные параметры распылительной сушки перопуховых гидролизатов, полученных с применением разработанного на предыдущих этапах консорциума микроорганизмов.

Выводы

Подобраны параметры распылительной сушки гидролизатов: температура 70,0 ± 0,5 °С; скорость подачи раствора в установку 6,5 ± 0,5 мл/мин; скорость потока воздуха 20,0 ± 5,0 м3/ч.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование

Исследования поддержаны Стипендией Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам (Конкурс СП-2018) по теме «Разработка энергоэффективной экологически чистой технологии переработки вторичного сырья птицефабрик с получение безопасных кормовых продуктов».

Список литературы

1. Биохимические характеристики ферментативного гидролиза кератинсодержащего сырья птицеперерабатывающей промышленности / Л. В. Антипова, Ч. Ю. Шамханов, О. С. Осминин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2003. – Т. 276–277, № 5–6. – С. 59–64.

2. Горбачева, М. В. Исследование некоторых товарных свойств пера страуса / М. В. Горбачева, А. И. Сапожникова // Птица и птицепродукты. – 2010.– № 2. – С. 45–47.

3. Costa, J. C. Effects of pre-treatment and bioaugmentation strategies on the anaerobic digestion of chicken feathers / J. C. Costa, S. G. Barbosa, D. Z. Sousa // Bioresource technology. – 2012. – Vol. 120. – P. 114–119. DOI: https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.06.047.

4. Influence of cultivating conditions on the alpha- galactosidase biosynthesis from a novel strain of *Penicillium* sp. in solid-state fermentation / C. L. Wang, D. F. Li, W. Q. Lu [et al.] // Letters in Applied Microbiology. – 2004. – Vol. 39, № 4. – P. 369–375. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2004.01594.x.

5. Wawrzkiewicz, K. Intracellular keratinase of *Trichophyton gallinae* / K. Wawrzkiewicz, J. Lobarzewski, T. Wolski // Medical Mycology. – 1987. – Vol. 25, № 4. – P. 261–268. DOI: https://doi.org/10.1080/02681218780000601.

6. Evaluation of a Bacterial Feather Fermentation Product, Feather-Lysate, as a Feed Protein / C. M. Williams, C. G. Lee, J. D. Garlich [et al.] // Poultry Science. – 1991. – Vol. 70, № 1. – P. 85–94. DOI: https://doi.org/10.3382/ps.0700085.

7. Isolation, identification, and characterization of a feather-degrading bacterium / C. M. Williams, C. S. Richter, J. M. Mackenzie [et al.] // Applied and Environmental Microbiology. – 1990. – Vol. 56, № 6. – P. 1509–1515.

8. Yang, Y. Utilizing discarded plastic bags as matrix material for composites reinforced with chicken feathers / Y. Yang, N. Reddy // Journal of Applied Polymer Science. – 2013. – Vol. 130, № 1. – P. 307–312. DOI: https://doi.org/10.1002/app.39173.

9. Sustainable and practical utilization of feather keratin by an innovative physicochemical pretreatment: high density steam flash-explosion / W. Zhao, R. Yang, Y. Zhang [et al.] / Green chemistry. – 2012. – Vol. 14, № 12. – P. 3352–3360. DOI: https://doi.org/10.1039/c2gc36243k.

10. Identification and characterization of a novel antioxidant peptide from feather keratin hydrolysates / M.-Y. Wan, G. Dong, B.-Q. Yang [et al.] // Biotechnology Letters. – 2016. – Vol. 38, № 4. – P. 643–649. DOI: https://doi.org/10.1007/s10529-015-2016-9.

11. Diversity of Bacterial Isolates from Commercial and Homemade Composts / I. Vaz-Moreira, M. E. Silva, C. M. Manaia [et al.] // Microbial Ecology. – 2008. – Vol. 55, № 4. – P. 714–722. DOI: https://doi.org/10.1007/s00248-007-9314-2.

12. Park, G.-T. Keratinolytic activity of *Bacillus megaterium* F7-1, a feather-degrading mesophilic bacterium / G.-T. Park, H.-J. Son // Microbiological Research. – 2009. – Vol. 164, № 4. – P. 478–485. DOI: https://doi.org/10.1016/j.micres.2007.02.004.

13. Identification and characterisation of a *Bacillus licheniformis* strain with profound keratinase activity for degradation of melanised feather / E. A. Okoroma, H. Garelick, O. O. Abiola [et al.] // International Biodeterioration and Biodegradation. – 2012. – Vol. 74. – P. 54–60. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.07.013.

14. ГОСТ Р ИСО 16634-1-2011. Продукты пищевые. Определение общего содержания азота путем сжигания по методу Дюма и расчет содержания сырого протеина. Часть 1. Масличные культуры и корма для животных. – М. : Стандартинформ, 2013. – 24 с.

15. Blake, J. P. Dry extrusion of poultry processing plant wastes and poultry farm mortatalities / J. P. Blake, M. E. Cook, C. C. Miller // Sixth International Symposium on Agricultural and Food Processing Wastes. – St. Joseph, 1990. – P. 123–125.

16. Block, R. J. The correlation of the amino acid composition of proteins with their nutritive value / R. J. Block, H. H. Mitchell // Nutrition Abstracts and Reviews. – 1946. – Vol. 16. – P. 249–278.

17. Хорошевская, Л. В. Инновационные подходы к использованию биологически активных препаратов в бройлерном птицеводстве / Л. В. Хорошевская, А. П. Хорошевский, О. В. Ларичев [и др.] // Материалы VI международного ветеринарного конгресса. – М., 2010. – С. 142–145.

18. Эрнст, Л. К. Переработка отходов животноводства и птицеводства / Л. К. Эрнст, Ф. К. Злочевский, Г. С. Ерастов // Животноводство России. – 2004. – № 5. – С. 23–24.

References

1. Antipova LV, Shamkhanov ChYu, Osminin OS, Pozhalova IA. Biokhimicheskie kharakteristiki fermentativnogo gidroliza keratinsoderzhashchego syr′ya ptitsepererabatyvayushchey promyshlennosti [Biochemical characteristics of enzymatic hydrolysis of keratin-containing raw materials in the poultry industry]. News institutes of higher Education. Food technology. 2003;276–277(5–6):59–64. (In Russ.).

2. Gorbacheva MV, Sapozhnikova AI. Research of Some Commodity Characteristics of Ostrich Feathers. Poultry and Poultry Processing. 2010;(2):45–47. (In Russ.).

3. Costa JC, Barbosa SG, Sousa DZ. Effects of pre-treatment and bioaugmentation strategies on the anaerobic digestion of chicken feathers. Bioresource technology. 2012;120:114–119. DOI: https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.06.047.

4. Wang CL, Li DF, Lu WQ, Wang YH, Lai CH. Influence of cultivating conditions on the alpha- galactosidase biosynthesis from a novel strain of *Penicillium* sp. in solid-state fermentation. Letters in Applied Microbiology. 2004;39(4):369–375. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2004.01594.x.

5. Wawrzkiewicz K, Lobarzewski J, Wolski T. Intracellular keratinase of Trichophyton gallinae. Medical Mycology. 1987;25(4):261–268. DOI: https://doi.org/10.1080/02681218780000601.

6. Williams CM, Lee CG, Garlich JD, Shih JCH. Evaluation of a Bacterial Feather Fermentation Product, Feather-Lysate, as a Feed Protein. Poultry Science. 1991;70(1):85–94. DOI: https://doi.org/10.3382/ps.0700085.

7. Williams CM, Richter CS, Mackenzie JM, Shih JCH. Isolation, identification, and characterization of a feather-degrading bacterium. Applied and Environmental Microbiology. 1990;56(6):1509–1515.

8. Yang Y, Reddy N. Utilizing discarded plastic bags as matrix material for composites reinforced with chicken feathers. Journal of Applied Polymer Science. 2013;130(1):307–312. DOI: https://doi.org/10.1002/app.39173.

9. Zhao W, Yang R, Zhang Y. Wu L. Sustainable and practical utilization of feather keratin by an innovative physicochemical pretreatment: high density steam flash-explosion. Green chemistry. 2012;14(12):3352–3360. DOI: https://doi.org/10.1039/c2gc36243k.

10. Wan M-Y, Dong G, Yang B-Q, Feng H. Identification and characterization of a novel antioxidant peptide from feather keratin hydrolysates. Biotechnology Letters. 2016;38(4):643–649. DOI: https://doi.org/10.1007/s10529-015-2016-9.

11. Vaz-Moreira I, Silva ME, Manaia CM, Nunes OC. Diversity of Bacterial Isolates from Commercial and Homemade Composts. Microbial Ecology. 2008;55(4):714–722. DOI: https://doi.org/10.1007/s00248-007-9314-2.

12. Park G-T, Son H-J. Keratinolytic activity of *Bacillus megaterium* F7-1, a feather-degrading mesophilic bacterium. Microbiological Research. 2009;164(4):478–485. DOI: https://doi.org/10.1016/j.micres.2007.02.004.

13. Okoroma EA, Garelick H, Abiola OO, Purchase D. Identification and characterisation of a Bacillus licheniformis strain with profound keratinase activity for degradation of melanised feather. International Biodeterioration and Biodegradation. 2012;74:54–60. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.07.013.

14. State Standard R ISO 16634-1-2011. Food products. Determination of the total nitrogen content by combustion according to the Dumas principle and calculation of the crude protein content. Part 1. Oilseeds and animal feeding stuffs. Moscow: Standartinform; 2013. 24 p.

15. Blake JP, Cook ME, Miller CC. Dry extrusion of poultry processing plant wastes and poultry farm mortatalities. Sixth International Symposium on Agricultural and Food Processing Wastes; 1990; Chicago. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers; 1990. pp. 123–125.

16. Block RJ, Mitchell HH. The correlation of the amino acid composition of proteins with their nutritive value. Nutrition Abstracts and Reviews. 1946;16:249–278.

17. Khoroshevskaya LV, Khoroshevskiy AP, Larichev OV, Maslovskiy KS, Kozlova MN. Innovatsionnye podkhody k ispol′zovaniyu biologicheski aktivnykh preparatov v broylernom ptitsevodstve [Innovative approaches to the use of biologically active drugs in broiler poultry farming]. Materialy VI mezhdunarodnogo veterinarnogo kongressa [Proceedings of the VI International Veterinary Congress]; 2010; Moscow. Moscow: Russian Poultry Union; 2010. pp. 142–145. (In Russ.).

18. Ehrnst LK, Zlochevskiy FK, Erastov GS. Pererabotka otkhodov zhivotnovodstva i ptitsevodstva [Processing of animal and poultry waste]. Zhivotnovodstvo Rossii [Animal Husbandry of Russia]. 2004;(5):23–24. (In Russ.).

Сведения об авторах

Пискаева Анастасия Игоревна
научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (923) 606-33-73, e-mail: a_piskaeva@mail.ru

Бабич Ольга Олеговна
д-р техн. наук, профессор, директор Института живых систем, ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», 236016, Россия, г. Калининград, ул. Александра Невского, 14, тел.: +7 (4012) 59-55-95, e-mail: olich.43@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-4921-8997

Янг Йонг
профессор колледжа пищевой промышленности и биоинженерии, Цицикарский университет, 161006, Китай, Цицикар, ул. Венхуа, 42, тел.: +7 (613) 020-002-853, e-mail: yangyong7904@163.com

Information about the authors

Anastasia I. Piskaeva
Researcher, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (923) 606-33-73, e-mail: a_piskaeva@mail.ru

Olga O. Babich
Dr.Sci.(Eng.), Professor, Director of the Institute of living systems, Immanuel Kant Baltic Federal University, 14, A. Nevskogo Str., Kaliningrad, 236016, Russia, phone: +7 (4012) 59-55-95, e-mail: olich.43@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-4921-8997

Yong Yang
Professor of the College of Food and Bioengineering, Qiqihar University, 42, Wenhua Str., Qiqihar, 161006, China, phone: +7 (613) 020-002-853, e-mail: yangyong7904@163.com