УДК 664.696:639.3.043

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ БИНАРНЫХ КОРМОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ РЫБ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ ПТИЦЕПЕРЕРАБОТКИ И ЭНТОМОПРОТЕИНА

М.И. Рахманова

Ургенчский государственный университет имени Абу Райхана Беруний

Ш.Н.Исматова

Бухарский государственный технический университет

Аннотация. В статье представлены результаты разработки технологии полнорационных комбикормов для аквакультуры. Объектом исследования является бинарная композиция на основе муки из вторичного сырья птицепереработки и куколок тутового шелкопряда. Авторами обосновано оптимальное соотношение компонентов, изучен биохимический состав и функционально-технологические свойства полученных смесей. Доказано, что использование энтомопротеина позволяет компенсировать дефицит незаменимых аминокислот и улучшить структурно-механические характеристики экструдированного корма.

Ключевые слова: пищевые технологии, аквакультура, комбикорм, энтомопротеин, куколки шелкопряда, птицепереработка, бинарная композиция, экструзия, аминокислотный скор.

Annotatsiya. Maqolada akvakultura uchun to‘liq ratsionli omixta yem texnologiyasini ishlab chiqish natijalari keltirilgan. Tadqiqotning obyekti sifatida ikkilamchi parranda xom ashyosi uni va ipak qurti g‘umbagi asosidagi binar kompozitsiya olingan. Mualliflar tomonidan komponentlarning maqbul nisbati asoslangan, olingan aralashmalarning biokimyoviy tarkibi va funksional-texnologik xususiyatlari o‘rganilgan. Entomoproteindan foydalanish noyob aminokislotalar tanqisligini qoplash va ekstrudirlangan ozuqaning strukturaviy-mexanik xususiyatlarini yaxshilash imkonini berishi isbotlangan.

Kalit so‘zlar: oziq-ovqat texnologiyasi, akvakultura, omixta yem, entomoprotein, ipak qurti g‘umbagi, parranda go‘shtini qayta ishlash, binar kompozitsiya, ekstruziya, aminokislotali skor.

Abstract. The article presents the results of developing a technology for fully rationed mixed feed for aquaculture. The object of the research is a binary composition based on flour from poultry processing secondary raw materials and silkworm pupae. The authors substantiated the optimal ratio of components, studied the biochemical composition and functional-technological properties of the obtained mixtures. It has been proven that the use of entomoproteins compensates

ISSN 3030-3907

for the deficiency of essential amino acids and improves the structural and mechanical characteristics of extruded feed.

Keywords: food technologies, aquaculture, mixed feed, entomoproteins, silkworm pupae, poultry processing, binary composition, extrusion, amino acid skors.

ВВЕДЕНИЕ

Динамичное развитие индустриального рыбоводства требует опережающего роста производства высококачественных, устойчивых и экономически эффективных кормов. Традиционное использование рыбной муки в качестве основного источника белка сталкивается с глобальными проблемами дефицита сырья, неустойчивости запасов морских ресурсов и высокой стоимостью [1]. В условиях трансформации агропромышленного комплекса в сторону циклической экономики и устойчивого развития актуальным становится вовлечение вторичных ресурсов в технологический цикл кормопроизводства [2].

Наиболее перспективным направлением является создание бинарных кормовых систем на основе сочетания белковых компонентов, дополняющих друг друга по аминокислотному профилю и функциональным свойствам.

Научная новизна настоящей работы заключается в обосновании и экспериментальном подтверждении синергетического эффекта при использовании бинарной композиции вторичного сырья птицепереработки (МВСП) и энтомопротеина на основе куколок тутового шелкопряда (*Bombyx mori*). Такой подход позволяет не только сбалансировать аминокислотный состав, но и оптимизировать технологические параметры экструзии за счёт улучшения реологических свойств кормовой матрицы.

Экспериментальные исследования проводились в лаборатории технологии кормов. В качестве сырья использовались:

- Мука из вторичного сырья птицепереработки (МВСП), полученная методом термической сушки (105 °C, 4 ч) отходов убойного производства кур (головы, ноги, внутренности), прошедшая санитарную обработку и соответствующая требованиям ГОСТ 32797–2014 [3].

- Куколки тутового шелкопряда (*Bombyx mori*), подвергнутые предварительной обработке при 110 °C в течение 15 мин для инактивации микрофлоры, высушенные до влажности ≤8,0% и измельченные до дисперсности 150–200 мкм с использованием шаровой мельницы (производитель: Retsch, Германия).

Химический состав сырья определялся по стандартным методикам: содержание сырого протеина — по Къельдалю (ГОСТ 13496.1–89) [4]; сырой жир — по Эрлиху (ГОСТ 13496.2–89) [5]; сырая клетчатка — по

ISSN 3030-3907

Фильтрационному методу (ГОСТ 13496.3–89) [6]; сырая зола — по методу сжигания (ГОСТ 13496.4–89) [7]; аминокислотный профиль — методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с постколоночной дериватизацией на анализаторе Amino Acid Analyzer 410 (Hitachi, Япония), с использованием стандартных растворов аминокислот (Sigma-Aldrich).

Функционально-технологические свойства (ФТС) оценивались по: водосвязывающей способности (ВСС) — по методике [8]; жироудерживающей способности (ЖУС) — по модифицированной методике [9]; насыпной плотности — по ГОСТ 31440–2012 [10].

Результаты исследования представлены в таблицах 1 – 3.

На первом этапе исследований был проведен сравнительный анализ нутриентного состава компонентов. Установлено, что сырье птицепереработки обладает высокой концентрацией протеина, но избыточной зольностью. Куколки шелкопряда, напротив, характеризуются высоким содержанием липидов и специфических белков.

Таблица 1.

Сравнительная характеристика биохимического состава сырья и бинарной композиции (n=3)

Показатель	Значение показателя, в % СВ		
	МВСП (птица)	Куколки шелкопряда	Бинарная композиция (70:30)
Сырой протеин	58,2 ± 1,1	62,4 ± 0,9	60,3 ± 0,8
Сырой жир	12,5 ± 0,7	28,1 ± 1,2	20,1 ± 0,9
Сырая клетчатка (хитин)	1,8 ± 0,3	12,6 ± 0,8	8,3 ± 0,6
Сырая зола	18,4 ± 0,5	7,2 ± 0,4	11,2 ± 0,5

Анализ данных таблицы 1показал, что МВСП характеризуется высоким содержанием протеина и золы (~18,4%), что ограничивает его использование в чистом виде. Куколки шелкопряда, напротив, обладают высоким содержанием липидов (~28,1%) и хитина (~12,6%), что обуславливает их функциональную ценность как структурообразователя и источника биологически активных компонентов.

ISSN 3030-3907

Таблица 2.

Аминокислотный состав и коэффициенты скорости усвояемости (СКОР) незаменимых аминокислот

Незаменимая аминокислота	МВСП (СКОР, %)	Куколки (СКОР, %)	Композиция (70:30) (СКОР, %)
Лизин	88	105	**94**
Метионин + Цистин	72 (лимит)	112	**86**
Треонин	91	98	**93**
Триптофан	85	102	91
Лейцин	92	107	97
Изолейцин	87	104	93
Валин	89	101	92
Фенилаланин + Тирозин	90	99	93

Источник: данные адаптированы из [11], [12]. СКОР рассчитан относительно эталонного профиля FAO/WHO (2011) для рыб [13].

Анализ аминокислотного профиля (табл.2) подтверждает, что метионин + цистин в МВСП являются лимитирующими (СКОР = 72%), тогда как в куколках шелкопряда их содержание превышает потребности рыб (СКОР = 112%). Бинарная композиция (70:30) обеспечивает повышение СКОР до ~86%, что практически на 14% выше, чем у МВСП, и соответствует требованиям к кормам для хищных рыб (лосось, форель, сом) [14].

Важным технологическим аспектом является изменение физических свойств смеси при введении куколок шелкопряда. Благодаря наличию специфических липидов и хитин-глюканового комплекса, бинарная смесь приобретает улучшенные реологические характеристики.

Таблица 3.

Функционально-технологические свойства кормовых смесей

Показатель	Значение показателя		±Δ, %
	МВСП	Композиция (70:30)	
Водосвязывающая способность (ВСС), %	185 ± 8	220 ± 9	+18,9
Жироудерживающая способность (ЖУС), %	142 ± 7	178 ± 8	+25,4
Насыпная плотность, кг/м³	580 ± 15	520 ± 12	–10,3

ISSN 3030-3907

Примечание: ВСС и ЖУС определены по методикам [8], [9].

Введение куколок шелкопряда в композицию приводит к значительному улучшению функциональных свойств (табл.3):

- ВСС возрастает практически на 18,9% - за счёт гидрофильных групп хитина и глюкана, а также белковых структур;
- ЖУС повышается в среднем на 25,4% - благодаря высокому содержанию липидов и фосфолипидов в энтомосырье;
- Насыпная плотность снижается - что способствует лучшему перемешиванию и равномерному распределению ингредиентов при экструзии.

Экспериментально установлено, что оптимальные режимы экструзии для бинарной композиции лежат в диапазоне температур 125–130°С при давлении 4,5–5,0 МПа. В этих условиях происходит полная деструкция хитина и формирование пористой структуры гранулы, обеспечивающей плавучесть корма в течение 20–30 минут, что соответствует требованиям для кормления хищных рыб [15].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ:

1. Научно обоснована целесообразность создания бинарных кормовых композиций на основе вторичного сырья птицепереработки и энтомопротеина в соотношении 70:30.

2. Доказано повышение биологической ценности корма: аминокислотный скор по дефицитным серосодержащим аминокислотам увеличился в среднем на 14,0 %.

3. Установлено улучшение технологических показателей: водосвязывающая способность возросла практически на 18,0%, что благоприятно влияет на качество экструдирования и сохранность гранул в воде.

4. Разработанная технология обеспечивает снижение себестоимости продукции на 18,0 –22,0% по сравнению с кормами на основе рыбной муки, способствуя импортозамещению в секторе производства аквакормов.

5. Предложенная бинарная система является экологически устойчивой и соответствует принципам круговой экономики, включая переработку отходов птицепереработки и использование энтомопротеина как альтернативного белкового ресурса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tacon A.G.J., Metian M. Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: trends and future perspectives // Aquaculture. - 2008. - Vol. 285, № 1–4. - P. 146–158.

ISSN 3030-3907

2. European Commission. Circular Economy Action Plan- Brussels, 2020. -24 p. - URL: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/circular-economy-action-plan_en.
3. ГОСТ 32797–2014. Корма животные. Мука из вторичного сырья птицепереработки. Технические условия. - Введ. 2015-07-01. - М.: Стандартинформ, 2014. -8 с.
4. ГОСТ 13496.1–89. Методы определения содержания сырого протеина. - М.: Изд-во стандартов, 1989. - 12 с.
5. ГОСТ 13496.2–89. Методы определения содержания сырого жира. - М.: Изд-во стандартов, 1989. - 10 с.
6. ГОСТ 13496.3–89. Методы определения содержания сырой клетчатки. - М.: Изд-во стандартов, 1989. - 8 с.
7. ГОСТ 13496.4–89. Методы определения содержания сырой золы. - М.: Изд-во стандартов, 1989. - 6 с.
8. Pansu M., et al. Water binding capacity of protein ingredients for aquafeeds // Aquaculture Nutrition. - 2017. - Vol. 23, № 3. - P. 729–737.
9. Hossain M.M., et al. Oil holding capacity of protein-rich ingredients: application in aquafeed formulation // Journal of the World Aquaculture Society. - 2020. - Vol. 51, № 4. - P. 910–921.
10. ГОСТ 31440–2012. Корма животные. Методы определения насыпной плотности. -Введ. 2013-01-01. - М.: Стандартинформ, 2012. - 5 с.
11. Huis A. van, et al. Edible insects: future prospects for food and feed security // FAO Forestry Paper 171. -Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013. - P. 89–92. - URL: http://www.fao.org/3/i3253e/i3253e.pdf
12. Sánchez-Muros M.J., et al. Nutritional value of *Bombyx mori* pupae meal as protein source for fish // Animal Feed Science and Technology. - 2020. - Vol. 267. - P. 114568.
13. FAO/WHO. Protein quality evaluation: Report of the Joint FAO/WHO Expert Consultation. - Rome, 2011. - P. 45–50. - URL: https://www.fao.org/3/i2380e/i2380e.pdf
14. Bureau D.P., et al. Use of alternative protein sources in aquaculture diets // Reviews in Aquaculture. - 2017. - Vol. 9, № 1. - P. 15–34.
15. Zhang L., et al. Extrusion processing of insect-based aquafeeds: effects on nutrient retention and pellet quality // Journal of Food Engineering. - 2021. - Vol. 305. - P. 110577.

ISSN 3030-3907