

УДК 638.4

Д. А. Яковлев [D. A. Yakovlev]
 Т. И. Тупольских [T. I. Tupolskikh]
 Д. В. Рудой [D. V. Rudoy]
 В. А. Сердюк [V. A. Serdyuk]

БИОТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ БЕЛКОВЫХ ПРОДУКТОВ

BIOTECHNOLOGY OF ORGANIC WASTES RECYCLING WITH PROTEIN PRODUCTION

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия,
 e-mail: tupolskix@mail.ru

Аннотация. Гидробионты – перспективное пищевое сырьё для получения рыбной муки, рыбьего жира, протейна.

Материалы и методы. Личинки чёрной львинки (*Hermetia illucens* L.) члвляются перспективным сырьем, сегодня существует ряд проектов, направленных на выращивание черной львинки. Нами предлагается технологическая схема выращивания личинок чёрной львинки (*Hermetia illucens* L.) на новом субстрате – отходах рыбоводных установок замкнутого водоснабжения.

Результаты. Разработаны основы методики теоретического расчёта материального баланса системы. Проведена теоретическая оценка эффективности предложенной технологии. Рассчитано остаточное содержание белка в экскрементах различных видов рыб. Определены основы расчёта материального баланса выращивания личинки чёрной львинки на субстрате из отходов рыбоводных хозяйств. Методика заключается в определении удельного количества белка на 1 кг выращиваемой личинки.

Заключение. Результаты позволили получить эмпирическую зависимость производительности хозяйства по выращиванию личинки чёрной львинки от производительности рыбоводного завода – источника субстрата.

Для рыбоводного осетрового хозяйства, производительностью 100 т/г, производительность по личинке чёрной львинки может составлять порядка 2700 т/г или 7,4 т/сут.

Ключевые слова: рыбная мука, альтернативные источники, белок, кормопроизводство, переработка отходов.

Abstract. *Hydrobionts – a promising food raw material for fish meal, fish oil, protein.*

Materials and methods Larvae of the black lion (*Hermetia illucens* L.) are a promising raw material, today there are a number of projects aimed at growing the black lion. We offer a technological scheme of growing black lion larvae (*Hermetia illucens* L.) on a new substrate – waste of fish-breeding installations of closed water supply.

Results. *The fundamentals of the method of theoretical calculation of the material balance of the system. The theoretical evaluation of the proposed technology efficiency is carried out. The residual protein content in the excrement of different fish species was calculated. The bases of calculation of material balance of cultivation of a larva of a black lion on a substrate from waste of fish farms are defined. The technique is to determine the specific amount of protein per 1 kg of larva grown.*

Conclusion. *The results allowed us to obtain an empirical dependence of the productivity of the economy for growing black lion larvae on the productivity of the hatchery – the source of the substrate. Fish for sturgeon farms, with a capacity of 100 t/h, the performance of the larvae of the black livingi may be of the order of 2700 t/d, or 7.4 tons/day..*

Key words: fish flour, alternative source, protein, feed production, waste treatment.

Введение. Интенсивное развитие мировой аквакультуры требует прочной кормовой базы. Ограниченность ресурсов сырья для рыбной муки и рыбьего жира [1] развивает новые направления в области альтернативных источников белка для кормопроизводства. Одним из таких направлений – наиболее популярным, является производство протеиновой муки из личинки чёрной львинки (*Hermetia illucens* L.) [8]. На сегодняшний день существует ряд коммерческих проектов, направленных на промышленное выращивание чёрной львинки: AgriProtein Technologies (ЮАР), EnviroFlight (США), Hermetia (Германия), Ynsect (Франция), Enterra (Канада), Protix (Нидерланды) совместно с Bühler (Швейцария) и др. В качестве субстрата для выращивания львинки, большинство этих компаний использует органические отходы растительного происхождения. Известно также

направление, в котором личинка чёрной львинки используется для переработки навоза. В работе [8] рассматривается технология комплексной переработки чёрной львинки, выращенной на свином навозе или курином помете (рис. 1).

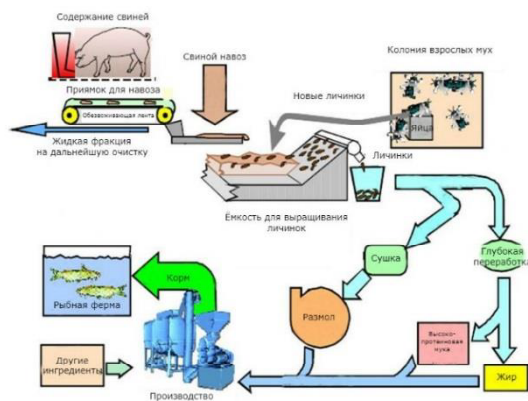


Рис. 1. Технология комплексной переработки чёрной львинки, выращенной на свином навозе

Материалы и методы. Одним из перспективных направлений является интеграция ферм по выращиванию чёрной львинки с рыбоводными хозяйствами на основе установок замкнутого водоснабжения. Последние производят большое количество органических отходов в виде рыбных фекалий и остатков несъеденного корма, содержащих непереваренный белок и требующих утилизации.

Установки замкнутого водоснабжения – это технические системы, создающие эффективные искусственные условия для интенсивного выращивания объектов аквакультуры. Базовая технология представлена на рис. 2.

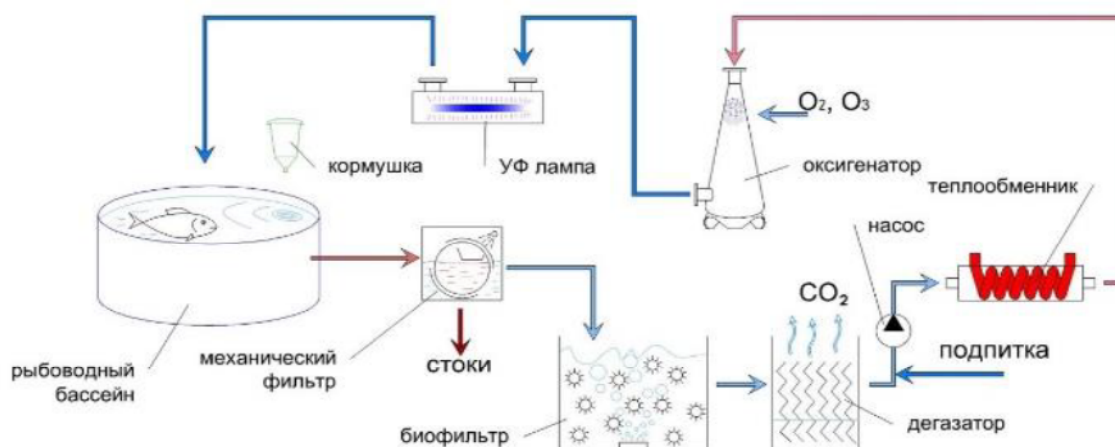


Рис. 2. Технологическая схема работы УЗВ (ООО «СИМЕОН АкваБиоТехнологии»)

Интенсивное выращивание достигается путём интенсивного кормления объектов аквакультуры. Механическая фильтрация в непрерывном режиме удаляет остатки корма и нерастворённые продукты жизнедеятельности из оборотной воды, которые и будут являться субстратом для выращивания чёрной львинки.

Анализ состояния хозяйств по выращиванию и переработки насекомых в России показал, что большая часть небольших подсобных ферм по выращиванию насекомых (Домашней мухи, чёрной львинки) в большей степени направлено для получения наживок для рыбалки, и в меньшей степени используется как корм для домашней птицы. Существуют также некоторые пилотные фермы: Агробиотехнологии, Зоопротейн, Биогенезис. Однако единой системы промышленной переработки насекомых в муку на сегодняшний день в России нет. Производство промежуточного продукта или использование стороннего сырья (например, личинки) в насто-

момент невозможно, так как отсутствуют потребители/поставщики. В связи с этим, модель предприятия по производству муки из чёрной львинки, должна в себя включать полную технологическую цепочку от подготовки субстрата до получения готовой муки

В развёрнутом виде, технологическая схема переработки личинки чёрной львинки имеет следующий вид:



Рис. 3. Блок схема переработки насекомых в протеино-вую муку

На основе работ [7, 8, 9, 11] составлен материальный баланс производства протеинового концентрата (рис. 4).

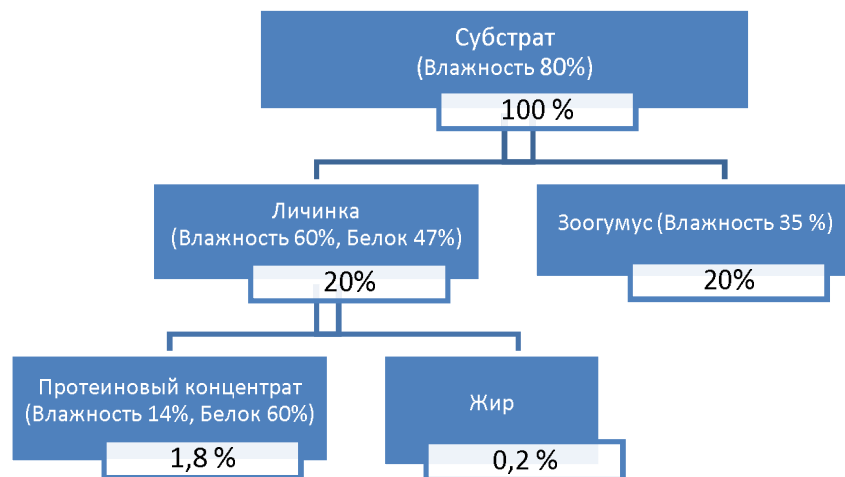


Рис. 4. Материальный баланс технологии переработки личинок Черной львинки в муку.

В качестве субстрата применимы отходы продовольственных магазинов, общепита, пищевых перерабатывающих предприятий. Также используется продукты жизнедеятельности животноводческих, птицеводческих, рыбодоводных предприятий. Рост личинки чёрной львинки до товарной массы занимает 23 суток [11]. Плотность посадки в одном контейнере может достигать 15 кг/м². Выход личинок (по СВ) составляет 25 % от СВ субстрата. Остатки субстрата после выращивания – это ценное удобрение почвы, зоогумус, который так же подлежит реализации. При переработке личинок, производится их отделение от кутикулы и сушка внутренностей. В процентном соотношении, получается около 10 % высушенной массы от начальной массы личинки. Из высушенной массы удаляется около 20 % жира.

Материальный баланс замкнутой системы выращивания и переработки чёрной львинки в интеграции с УЗВ был рассчитан следующим образом.

На основе данных [4, 6, 10], рассчитано остаточное содержание белка в экскрементах различных видов рыб, выращиваемых в УЗВ (таблица 1).

Содержание белка в процентах было рассчитано на основе количества общего азота N, исходя из соотношения:

$$\text{Белок (\%)} = N \left(\frac{\text{г}}{\text{кг}} \right) * 6,25 \quad (1)$$

Перевариваемость рассчитывалась:

$$\text{Перевариваемость (\%)} = \frac{N(\%) \text{ в стоках}}{N(\%) \text{ в корме}} \quad (2)$$

Таблица 1

Оценка конверсии белка в УЗВ

Вид рыбы	Содержание белка в корме, % в СВ*	Содержание белка в стоках, % в СВ	Перевариваемость, %	Источник, для расчёта показателей
Осетр	44	4,4	10	Тăbăcaru D.D., 2015
Форель	41,9	6,3	15	O. Schneider, 2006
Африканский сом	43,1	6,3	14	
Тиляпия	45	8,8	19	

* СВ – сухое вещество.

Для количественной оценки работы системы определим её производительность Q (т/год):

$$Q = \frac{m_{\max} \cdot n}{\tau \cdot 365}, \quad (3)$$

где τ – цикл выращивания, сут;

n – количество личинок (шт).

$$n = V \cdot \gamma, \quad (4)$$

где V – объём субстрата (м^3);

γ – плотность посадки личинок (шт/ м^3);

m_{\max} – максимальная масса 1й личинки до достижения стадии предкуколки, либо на момент сбора (г).

$$m_{\max} = v \cdot t, \quad (5)$$

где t – время цикла выращивания (сут),

$$0 \leq t \leq t_{\text{предк}}, \quad (6)$$

время выращивания не превышает времени перехода личинки в состояние предкуколки.

$$v = \frac{m_{\max}}{\tau} \left(\frac{\tau}{\text{сут}} \right), \quad (7)$$

где v – средний темп роста,

$\bar{\tau}$ – период цикла выращивания личинки со стадии яиц ($m_0 \approx 0$) до m_{\max} , или

$$v = \frac{1}{\bar{\tau}} \left(\frac{\%}{\text{сут}} \right). \quad (8)$$

На параметр v оказывают существенное влияние следующие факторы:

– удельное количество белка в субстрате $N_{\text{суб}}^{\text{уд}}$ – (г белка/ 1 г личинок),

– плотность посадки личинок γ (шт/ м^3).

– температура среды $T_{\text{ср}}$ ($^{\circ}\text{C}$).

$$v = f(N_{\text{суб}}^{\text{уд}}, \gamma, T_{\text{ср}}). \quad (9)$$

Удельное количество белка в субстрате определяется из зависимости:

$$N_{\text{суб}}^{\text{уд}} = \frac{N_{\text{суб}}}{M}, \quad (10)$$

где M – биомасса личинок (г).

$N_{\text{суб}}$ – количество белка (г) в фиксированном объёме субстрата,

$$M = m \cdot n, \quad (11)$$

где m – масса одной личинки в заданный период времени (г).

С учётом зависимостей (4), (11), формула (10) приобретает вид:

$$N_{\text{суб}}^{\text{уд}} = \frac{N_{\text{суб}}}{m \cdot V \cdot \gamma}, \quad (12)$$

Объём субстрата можно представить через массу субстрата:

$$V = \frac{M_{\text{суб}}}{\rho_{\text{суб}}}, \quad (13)$$

где $\rho_{\text{суб}}$ – удельный вес субстрата ($\text{кг}/\text{м}^3$).

Выражение (12) приобретает вид:

$$N_{\text{суб}}^{\text{уд}} = \frac{N_{\text{суб}}^{\%} \cdot \rho_{\text{суб}}}{m \cdot \gamma} \quad (14)$$

Упрощая зависимость (9) до однофакторной (принимая допущение, что факторы $\gamma, T_{\text{ср}}$ во всех случаях обеспечивают оптимальные значения) получаем следующую зависимость:

$$v = f \cdot (N_{\text{суб}}^{\text{уд}}) \quad (15)$$

Объединив уравнения (8) и (15), найдём функцию f:

$$f = \frac{1}{\tau \cdot N_{\text{суб}}^{\text{уд}}} \left(\frac{\Gamma(\text{личинки})}{\Gamma(\text{белка}) \cdot \text{сут}} \right) \quad (16)$$

Анализ литературы [7, 9] позволил ориентировочно рассчитать функцию f при выращивании львинки на различных субстратах (таблица 2). Недостающие для расчёта данные были дополнены средними справочными величинами.

Таблица 2

Оценка эффективности субстрата

Субстрат	Период выращ., сут	Удельное количество белка г/г	Функция f г/г/сут	Источник
Куриный помёт	144	0,84	$2,33 \cdot 10^{-2}$	[9]
Свиной навоз	144	0,37	$5,48 \cdot 10^{-2}$	
Навоз КРС	214	0,37	$2,48 \cdot 10^{-2}$	
Коровий навоз	21	0,53	$8,93 \cdot 10^{-2}$	[7]

На основе таблиц 1, 2 спрогнозируем процесс выращивания личинки чёрной львинки на стоках рыбо-водных хозяйств. За основу возьмём среднее арифметическое значение функции f.

$$f = 4,81 \cdot 10^{-2} \left(\frac{\Gamma(\text{личинки})}{\Gamma(\text{белка}) \cdot \text{сут}} \right)$$

Расчётное удельное количество белка в субстрате при периоде выращивания 21 сут составляет (16):

$$N_{\text{суб}}^{\text{уд}} = \frac{1}{21 \cdot 4,81 \cdot 10^{-2}} \approx 1 \left(\frac{\Gamma(\text{белка})}{\Gamma(\text{личинки})} \right)$$

На основе выражения (14) и данных из таблицы 1 для осетровых хозяйств, определим плотность посадки личинок. Удельный вес отходов рыбо-водных хозяйств $\rho_{\text{суб}} = 120 \text{ кг} / \text{м}^3$ [2]:

$$m \cdot \gamma = \frac{0,44 \cdot 120}{1} = 52,8 \text{ кг} / \text{м}^3$$

Средняя суточная норма кормления осетрового хозяйства (на основе опыта проектирования осетровых УЗВ) 5,6 кг/сут/т производительности. Отходы рыбного хозяйства составляют 25 % от количества поступившего корма [2]. Таким образом, определим эмпирическую зависимость количества отходов от годовой производительности хозяйства:

$$Q_{\text{суб}} = Q_{\text{рыб}} \cdot 5,6 \cdot 0,25 = 1,4 \cdot Q_{\text{рыб}} \left(\frac{\text{кг}}{\text{сут}} \right) \quad (17)$$

Производительность по личинке, в зависимости от производительности осетрового завода определяется:

$$Q = m \cdot \gamma \cdot Q_{\text{суб}} \quad (18)$$

Применяя эмпирические данные, получаем суточную производительность в кг:

$$Q \approx 74 \cdot Q_{\text{рыб}} \quad (19)$$

Годовая производительность в тоннах:

$$Q \approx 27 \cdot Q_{\text{рыб}} \quad (20)$$

Определены основы расчёта материального баланса выращивания личинки чёрной львинки на субстрате из отходов рыбо-водных хозяйств. Методика заключается в определении удельного количества белка на 1 кг выращиваемой личинки. Результаты позволили получить эмпирическую зависимость производительности хозяйства по выращиванию личинки чёрной львинки от производительности рыбо-водного завода – источника субстрата.

Для рыбо-водного осетрового хозяйства, производительностью 100 т/г, производительность по личинке чёрной львинки может составлять порядка 2700 т/г или 7,4 т/сут.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. FAO. 2016. The State of World Fisheries and Aquaculture 2016. Contributing to food security and nutrition for all. Rome. 200 pp.
2. M. B. Timmons, J. M. Ebeling. Recirculating Aquaculture, 3rd Edition. Ithaca Publishing Company, LLC. 2013. 788 p.
3. Insects: sustainable protein source. <http://www.buhlergroup.com/global/en/about-buehler/insects-sustainable-protein-source.htm#.WVN59GjyIU> (дата обращения 19.07.2017г.)
4. G. K. Reid, M. Liutkus, S. M. C. Robinson, T. R. Chopin, T. Blair, T. Lander, J. Mullen, F. Page & R.D. Moccia. (2009) A review of the biophysical properties of salmonid faeces: implications for aquaculture waste dispersal models and integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture Research* 40, 257-273.
5. P.B. Brow, E.H. Robinson (1989) Nutrient Concentrations of Catfish Feces and Practical Diets After Immersion in Water. *Journal of the World Aquaculture Society* Vol. 20, No. 4, 245-249.
6. Fish waste management by conversion into heterotrophic bacteria biomass [2006] Schneider, O.
7. Li Q, Zheng L, Qiu N, Cai H, Tomberlin JK, Yu Z. bioconversion of dairy manure by black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) for biodiesel and sugar production. *Waste management*. 2011; 31(6):136-1320.
8. Newton, G.L., Sheppard, D.C., Watson, D.W., Burtle, G.J., Dove, C.R., Tomberlin, J.K., Thelen, E.E., 2005. The black soldier fly, *Hermetia illucens*, as a manure management/resource recovery tool. *State of the Science. Animal Manure and Waste Management*, January 5-7, San Antonio, TX.
9. Oonincx D.G.A.B., A. van Huis, J.J.A. van Loon. Nutrient utilisation by black soldier flies fed with chicken, pig, or cow manure. *Journal of Insects as Food and Feed*, 2015; 1(1):
10. Tăbăcaru D.D. Cartea fermierului piscicol pentru inițierea în creșterea sturionilor în sistem recirculant. Editura Mind Shop. București, 2015. (in Romanian)
11. J. Ekman. Production of fish feed from vegetable waste. Published and distributed by: Horticulture Australia Ltd. (2014).

ОБ АВТОРАХ

Тупольских Татьяна Ильинична, кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой «Техника и технологии пищевых производств», Донской государственной технической университет (ДГТУ), e-mail: tupolskix@mail.ru

Tupolskikh Tatyana Ilinichna, Cand. Tech. Sci., Associate Professor, Head of the Department of Technique and technology of food production, Don State Technical University (DSTU), tupolskix@mail.ru

Яковлев Дмитрий Анатольевич, кандидат технических наук доцент, доцент, Донской государственной технической университет (ДГТУ), yakovlev_d_a@mail.ru

Yakovlev Dmitry Anatolyevich, Cand. Tech. Sci., Associate Professor, Department of Technique and technology of food production, Don State Technical University (DSTU), yakovlev_d_a@mail.ru

Рудой Дмитрий Владимирович, кандидат технических наук, доцент, декан факультета «Агропромышленный», Донской государственной технической университет (ДГТУ), dmitriyrudo@gmail.com

Rudoy Dmitry Vladimirovich, Cand. Tech. Sci., Associate Professor, Dean of the Agroindustrial Faculty, Don State Technical University (DSTU), dmitriyrudo@gmail.com

Сердюк Валентина Александровна, бакалавр, инженер лаборатории «Биохимического и спектрального анализа пищевых продуктов», Донской государственной технической университет (ДГТУ), valy11164@mail.ru

Serdyuk Valentina Aleksandrovna, bachelor, engineer of laboratory "Biochemical and spectral analysis food products", Don State Technical University (DSTU), valy11164@mail.ru

Дата поступления в редакцию 26.11.2018