

УДК 639.3.043

Поступила в редакцию 14.10.2019
Received 14.10.2019**Ж.В. Кошак, Н.В. Зенович, А.Э. Кошак***РУП «Институт рыбного хозяйства», г. Минск, Республика Беларусь***НОВАЯ КОРМОВАЯ ДОБАВКА ИЗ ОТХОДОВ КРУПЯНОГО
ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ СЕГОЛЕТКОВ КАРПА**

Аннотация. В Республике Беларусь выращивается в основном карп. Карп является всеядной рыбой и по этой причине хорошо усваивает зерно, особенно зерно пшеницы. Однако в последние годы из-за погодных условий, объемы выращивания фуражной пшеницы сократились, и возник дефицит столь ценного сырьевого компонента. Наиболее ценными вторичными продуктами пищевых производств являются крупяные мучки, получаемые в процессе шелушения, шлифования и полирования круп. Поэтому целью работы является разработка комплексной кормовой добавки из отходов крупяного производства, которая позволит удовлетворить физиологические потребности сеголетков карпа. Были разработаны шесть композитных смесей, изучен их аминокислотный состав, определено содержание протеина, жира, клетчатки. Были подобраны режимы экструдирования композитных смесей. Проведено лабораторное кормление сеголетков карпа экструдированными композитными смесями. Установлено, что наилучшей эффективностью обладает композитная смесь, содержащая в своем составе 50 % пшеничной мучки, 30 % ячменной мучки, 10 % гороховой и 10 % овсяной мучки (композитная смесь № 3). Были определены гематологические показатели крови сеголетков карпа и установлено, что в наилучшем физиологическом состоянии находится сеголеток карпа, кормившийся композитной смесью № 3.

Ключевые слова: крупяная мучка, сеголеток карпа, экструдирование, композитная смесь, аминокислотный скор, гематологические показатели

Zh.V. Koshak, N.V. Zenovich, A. Ed. Koshak*RUE «Institute for Fish Industry», Minsk, Republic of Belarus***NEW FEED ADDITIVE FROM THE WASTE OF CEREAL
PRODUCTION FOR CARP FEEDING**

Abstract. In the Republic of Belarus is grown mainly carp. Carp is an omnivorous fish and for this reason it digests grain well, especially wheat grain. However, in recent years, due to weather conditions, the volume of cultivation of feed wheat has decreased, and there was a shortage of such a valuable raw material component. The most valuable secondary products of food production are cereal flour obtained in the process of peeling, grinding and polishing cereals. Therefore, the aim of the work is to develop a comprehensive feed additive from the waste of cereal production, which will meet the physiological needs of carp juveniles. Six composite mixtures were developed, their amino acid composition was studied, the content of protein, fat and fiber was determined. Modes of extrusion of composite mixtures were selected. Laboratory feeding of carp juveniles with extruded composite mixtures was carried out. It was found that the best efficiency has a composite mixture containing 50 % wheat flour, 30% barley flour, 10% pea and 10% oat flour (composite mixture number 3). The hematological parameters of the blood of carp fingerlings were determined and it was found that the carp fingerlings fed with composite mixture No. 3 were in the best physiological condition.

Keywords: cereal flour, carp now-years, extrusion, composite mixture, amino acid score, hematological parameters

Введение. В Республике Беларусь 80 % выращиваемой пресноводной рыбы представлено карповыми видами. Поэтому их кормление недорогими и полноценными комбикормами является одной из главных задач. В настоящее время у рыбхозов наблюдается нехватка финансовых средств на покупку комбикормов для карпа и это привело не только к сокращению потребления комбикормов, но и к появлению комбикормов с невысокой стоимостью и низкой питательной ценностью.

Современный уровень развития пищевой и перерабатывающей промышленности и состояние их сырьевой базы требуют принципиально нового подхода к проблеме использования вторичных ре-

сурсов. Сущность этого подхода заключается в создании безотходных технологий, позволяющих максимально использовать все ценные компоненты сырья, включая вторичные, а также исключать ущерб, наносимый окружающей среде в результате образования отходов производства. В этом плане крупяное производство является источником вторичных сырьевых ресурсов, в частности крупяной муки. Так при переработке ячменя в ячневую крупу получается в качестве побочного продукта 18 % муки, при переработке ячменя в перловую крупу – 40 % муки, при переработке гречихи в крупу – 3,5 % муки и т.д. [1].

Кормовая мука (пшеничная, ячменная, гороховая, овсяная) получается при переработке качественного зерна в крупу. Она состоит в основном из измельченных частиц зерна, плодовых и семенных оболочек, зародышей. Кормовая мука представляет собой ценный питательный продукт, по свойствам близкий к зерну. Очень ценна кормовая мука из пшеницы и ячменя, менее – из гречихи, имеющая высокое содержание клетчатки и низкую переваримость [2, 3].

Корма растительного происхождения, в зависимости от состава основных питательных веществ, разделяются на три группы: богатые крахмалом, белком и жиром.

Корма, богатые крахмалом, это в основном семена злаков, в которых содержится до 75 % углеводов, главным образом крахмала, от 8 до 20 % белка, от 2 до 6 % жира и небольшое количество минеральных веществ. Зерна злаков играют наибольшую роль в кормлении карпа. Для других рыб они имеют меньшее значение [4, 5].

Пшеница является одним из наиболее питательных и экономичных по белку видов корма. Экономичность определяется расходом белков пшеницы на процессы жизнедеятельности карпа. Перевариваемость белка пшеницы карпом достигает 86 %, доступность аминокислот – 91 %. Из 1 кг пшеницы карп усваивает более 500 г питательных веществ [6]. Для изготовления кормов для рыб применяют пшеницу, непригодную для пищевых целей. Зерна такой пшеницы содержат до 20 % белка. Жиры в основном представлены ненасыщенными жирными кислотами – линолевой (56 %), олеиновой (12 %) и линоленовой (4 %). Основным углеводом пшеницы – крахмал – гидролизуются амилазами. Особенно много ферментов в проросшем зерне. Витамины А и D в пшенице представлены главным образом в форме провитаминов – каротиноидов и стеролов. Из жирорастворимых витаминов в пшенице содержится витамин Е, который предохраняет жиры от окисления. Витамины группы В содержатся в основном в оболочках зерна [7, 8].

Ячмень по питательности близок к пшенице, но отличается более высокими кормовыми коэффициентами, худшей переваримостью и усвояемостью. Содержание в ячмене незаменимых аминокислот – лизина, метионина и триптофана – по сравнению с семенами других злаков высокое, а крахмала в ячмене содержится меньше (50–60 %), чем в кукурузе, пшенице и ржи. Жирные кислоты представлены в основном ненасыщенными соединениями (80–85 %) [9]. В рыбодомных хозяйствах ячмень используют в качестве заменителя пшеницы в кормах, предназначенных для карпа, канального сомика и некоторых других видов рыб.

В составе кормосмесей для рыб используется молотое зерно или измельченные продукты его переработки. Наиболее питательна мука из цельного зерна без очистки [10].

Содержание белка в зерне овса колеблется от 9,0 до 19,5 %. Мучнистые злаковые должны быть хорошего качества, сухие, рассыпчатые. В доброкачественном мучном корме постороннего запаха не ощущается [11, 12, 13].

К кормам, богатым белком, относятся семена бобовых культур, такие как горох, фасоль, соя, люпин, чечевица, вика, нут, чина и др. В отличие от злаковых, в семенах бобовых содержание белка в 2–3 раза выше. Они лишь на 15–20 % уступают по данному показателю молоку. По биологической ценности особенно близки к молоку белки сои. Легкая растворимость белков бобовых культур способствует высокой степени усвоения их аминокислот рыбами и другими животными, однако наличие ингибиторов пищеварительных ферментов ограничивает их применение как корма для рыб. Для предупреждения отрицательного воздействия ингибиторов рекомендуется семена бобовых культур подвергать тепловой обработке до внесения их в состав кормов для рыб. Другой отличительной особенностью бобовых от злаковых культур является морфологическое строение их зерна, которое состоит из двух семядолей и ростка, покрытых семенной оболочкой. Семенная оболочка составляет 8–15 % массы зерна. Горох в настоящее время широко применяется для кормления рыб. Содержание белка в горохе крупяных сортов составляет 22–26 %. В составе жиров (2–3 %) преобладают ненасыщенные жирные кислоты. Углеводы гороха представлены крахмалом и клетчаткой. Этот высокобелковый кормовой компонент хорошо поедается и переваривается рыбами [14].

Крупяная промышленность получает в качестве вторичных продуктов крупяные муки, которые содержат часть эндосперма злаковых культур, их алейроновый слой и зародыш, а также плодовые и семенные оболочки. Все перечисленные части зерновки являются ценными при кормлении сеголетков карпа [15].

В связи этим, целью работы является разработка комплексной кормовой добавки из отходов крупяного производства, которая позволит удовлетворить физиологические потребности сеголетков карпа.

Основная часть. Главное, что требуется при разработке кормовых добавок для рыб – это сбалансированность корма по аминокислотному составу. По этой причине были разработаны различные варианты композитных смесей из крупяных мучек и определен их аминокислотный состав, был рассчитан аминокислотный скор по отношению к потребности сеголетка карпа в незаменимых аминокислотах и по отношению к аминокислотному составу зерна пшеницы. Данные по содержанию незаменимых аминокислот в разных видах крупяных мучек представлены в табл. 1.

Анализируя табл. 1, отмечаем, что низкое суммарное содержание метионина и цистеина наблюдается у всех видов мучек. В то же время в гороховой мучке содержится на 43,2–54,9 % больше лизина по сравнению с другими исследуемыми мучками, а также 45–49,4 % выше треонина. По содержанию других незаменимых аминокислот гороховая мучка превосходит пшеничную, ячменную и овсяную. В то же время следует учитывать, что горох, так же как и гороховая мучка, содержит в своем составе антипитательные вещества (алкалоиды и глюкозиды), которые снижают усвояемость данной культуры [16].

На следующем этапе исследований был определен аминокислотный скор мучек по отношению к потребностям сеголетка карпа [19].

Таблица 1. Содержание незаменимых аминокислот в пшеничной, ячменной, овсяной и гороховой мучках
Table 1. The content of essential amino acids of wheat, barley, oats and pea flour

Аминокислота	Содержание аминокислоты в гороховой мучке, мг/100 г	Содержание аминокислоты в ячменной мучке, мг/100 г	Содержание аминокислоты в пшеничной мучке, мг/100 г	Содержание аминокислоты в овсяной мучке, мг/100 г
Лизин	1327,6	653,3	753,9	597,5
Треонин	2393,7	1317,1	1608,6	1212,4
Метионин+ цистеин	20	20	20	20
Валин	905,7	635,1	511,5	401,8
Фенилаланин+ тирозин	1637,1	1159,2	899,2	564,2
Лейцин	728	398,8	389,3	248,9
Изолейцин	1597,3	804,5	705,8	509,4

Аминокислотный скор – это показатель полноценности белка, который представляет собой процентное отношение определенной незаменимой аминокислоты в конкретном продукте к схожей аминокислоте в искусственном идеальном белке. Если аминокислотный скор всех аминокислот равен или больше 100, то белок признается полноценным. В случае, если какая-то из аминокислот показывает аминокислотный скор меньше 100, то эта аминокислота признается лимитирующей и кормовая добавка может использоваться в основном как компонент комбикормов для рыб. В качестве отдельного корма может использоваться только ограниченное время.

Анализируя табл. 2, видим, что лимитирующими аминокислотами во всех крупяных мучках являются метионин и цистеин. По всем остальным аминокислотам мучки являются полноценными и удовлетворяют потребность сеголетков карпа в полном объеме.

Композитная смесь из кормовых мучек позволяет нам улучшить аминокислотный состава корма, его питательность, повысить темп роста и выживаемость рыбы. Поэтому были составлены композитные смеси с разным процентом ввода кормовых мучек (пшеничная, ячменная, овсяная, гороховая), проведена оценка их биологической ценности и физико-химических свойств. Были подготовлены 6 композитных смесей, состав которых представлен в табл. 3.

Составление композитных смесей осуществлялось на основании химического состава крупяных мучек и потребностей сеголетка карпа в протеине, жире, витаминах, микро- и макроэлементах [17].

Был изучен аминокислотный состав полученных композитных смесей. Аминокислотный скор композитных смесей по отношению к потребности карпа [19] представлен в табл. 4.

Анализ данных табл. 4 показывает, что единственной композитной смесью, не имеющей лимитирующих аминокислот, является композитная смесь № 6, содержащая 40 % гороховой муки.

Наибольшее значение для рыб из незаменимых аминокислот, по мнению зарубежных ученых К. Коуи и Дж. Сарджент, имеют аргинин, лизин и валин [18, 19]. Композитная смесь № 6 сбаланси-

рована по содержанию всех аминокислот. По содержанию лизина композитная смесь № 6 превосходит зерно пшеницы на 188 %, по содержанию валина на 20 %, а по содержанию аргинина на 75 %, что полностью покрывает физиологическую потребность карпа в незаменимых аминокислотах.

В исследуемых образцах композитных смесей был определен химический состав. Данные представлены в табл. 5.

Таблица 2. Аминокислотный скор крупяных мучек по отношению к потребностям карпа
Table 2. Amino acid score cereals in relation to the needs of carp

Аминокислота	Аминокислотный скор (гороховая мучка), %	Аминокислотный скор (ячменная мучка), %	Аминокислотный скор (пшеничная мучка), %	Аминокислотный скор (овсяная мучка), %
Лизин	324	219	248	290
Треонин	1534	1159	1387	1546
Метионин+цистеин	21	28	28	41
Валин	310	298	235	273
Фенил-аланин+ тирозин	420	408	310	288
Лейцин	249	187	179	169
Изолейцин	819	567	487	520

Таблица 3. Состав композитных смесей
Table 3. Ingredient mix composition

Наименование смеси	Ввод крупяных мучек в смесь, %			
	ячменная	пшеничная	гороховая	овсяная
Композитная смесь №1	50	30	10	10
Композитная смесь №2	30	50	10	10
Композитная смесь №3	30	50	15	5
Композитная смесь №4	40	40	15	5
Композитная смесь №5	20	40	40	-
Композитная смесь №6	20	30	40	10

Таблица 4. Аминокислотный скор композитных смесей
Table 4. Amino acid score mix composition

Аминокислота	Аминокислотный скор (смесь № 1), %	Аминокислотный скор (смесь № 2), %	Аминокислотный скор (смесь № 3), %	Аминокислотный скор (смесь № 4), %	Аминокислотный скор (смесь № 5), %	Аминокислотный скор (смесь № 6), %
Лизин	189	180	191	190	538	644
Треонин	1858	1776	1330	1355	460	521
Метионин+цистеин	31	29	27	27	97	227
Валин	311	311	318	321	282	403
Фенил-аланин+ тирозин	303	291	301	330	276	372
Лейцин	162	151	151	163	212	282
Изолейцин	524	489	525	589	593	722

Таблица 5. Химический состав композитных смесей
Table 5. Chemical ingredients mix composition

Номер композитной смеси	Влажность, %	Содержание жира, %	Содержание протеина, %	Содержание клетчатки, %
№ 1	9,25	3,90	13,0	4,41
№ 2	8,20	3,70	13,9	3,81
№ 3	9,26	3,46	14,9	3,86
№ 4	10,60	3,21	15,0	3,91
№ 5	8,95	3,24	14,6	3,74
№ 6	9,75	3,65	15,3	4,15

Анализ данных табл. 5 показал, что максимальное количество протеина содержится в композитной смеси № 6, а содержание сырого жира в композитной смеси № 1. Содержание сырой клетчатки находится в допустимых значениях во всех композитных смесях для сеголетков карпа (не более 6 %) [20, 21].

В настоящее время за рубежом в основном применяются в кормлении рыб комбикорма, которые изготовлены по технологии экструдирования. Для экструдирования кормов применяют специальные прессы-экструдеры, принцип работы которых базируется на следующих технологических процессах: рассыпной комбикорм с влажностью от 18 до 30 % подается в экструдер, процесс экструдирования проходит при давлении 3–5 МПа и температуре 120–200 °С [22]. В основе экструзии кормов лежат три процесса: температурная обработка кормов под давлением, механохимическое деформирование и взрыв продукта во фронте ударного разряжения. При этом происходят глубокие деструктивные изменения в питательных веществах: крахмал расщепляется до декстринов и сахаров, протеины подвергаются денатурации [23].

После экструдирования улучшаются вкусовые качества кормов, проходит инактивация ингибиторов пищеварительных ферментов, нейтрализация некоторых токсинов и уничтожение их продуцентов, что важно в кормлении рыб, особенно при использовании вторичных продуктов пищевых производств.

Подбор режимов экструдирования проводили на лабораторной установке лаборатории кормов РУП «Институт рыбного хозяйства». Установка состоит из кондиционера-смесителя и экструдера. Внешний вид лабораторной установки представлен на рис. 1.

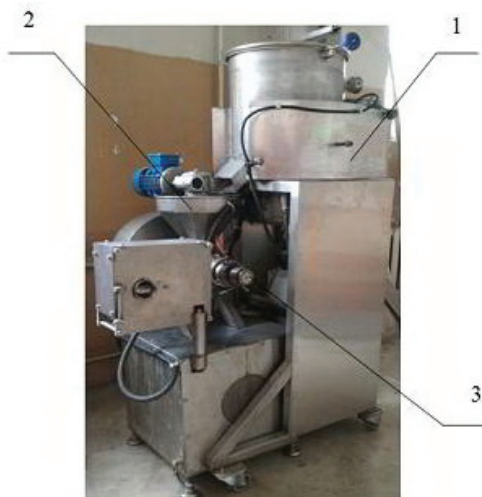


Рис. 1. Лабораторная установка: 1 – кондиционер-смеситель; 2 – экструдер; 3 – фильера экструдера
Fig. 1. Laboratory Installation: 1 – air conditioning mixer; 2 – extruder; 3 – extruder die

Для подбора режимов экструдирования кормовой добавки использовали планирование эксперимента, а именно полный факторный эксперимент ПФЭ 2^3 со звездным плечом [24]. В качестве независимых факторов выбрали частоту вращения шнека, температуру продукта после влаготепловой обработки и влажность смеси перед экструдированием. В качестве выходного параметра была выбрана степень деструкции крахмала [25].

Степень деструкции крахмала была выбрана из-за большого содержания его в составе композитных смесей. Физико-химические свойства крахмала определяют его полисахаридный состав, тип гликозидных связей, размер молекул, а также прочность гранул. В противоположность большинству других биополимеров молекулы полисахаридов, входящие в состав крахмала, по химической структуре неодинаковы, хотя и состоят из одинаковых структурных единиц. Оба полисахарида крахмала в значительной степени отличаются друг от друга не только структурой, но и молекулярной массой [26]. Крахмал при воздействии влаги, температуры, механических напряжений подвергается сложным превращениям, что приводит к изменению его физико-химических свойств. Установлено, что при физико-химическом воздействии на зерна крахмала возможно изменение их структуры в любом направлении. При механическом же воздействии на крахмал наиболее вероятен разрыв зерен в радикальном направлении. Под действием тепловой энергии разрушается структура крахмальных зерен, они увеличиваются в размерах и при определенной температуре разрушаются. Крахмальная суспензия превращается в вязкий коллоидный раствор – крахмальный клейстер. При дальнейшем

повышении температуры вязкость крахмального клейстера снижается; при снижении температуры до комнатной клейстер превращается в упругий гель с трехмерной структурой [27].

По результатам эксперимента для определения оптимального значения степени деструкции крахмала была построена параметрическая диаграмма, представленная на рис. 3.

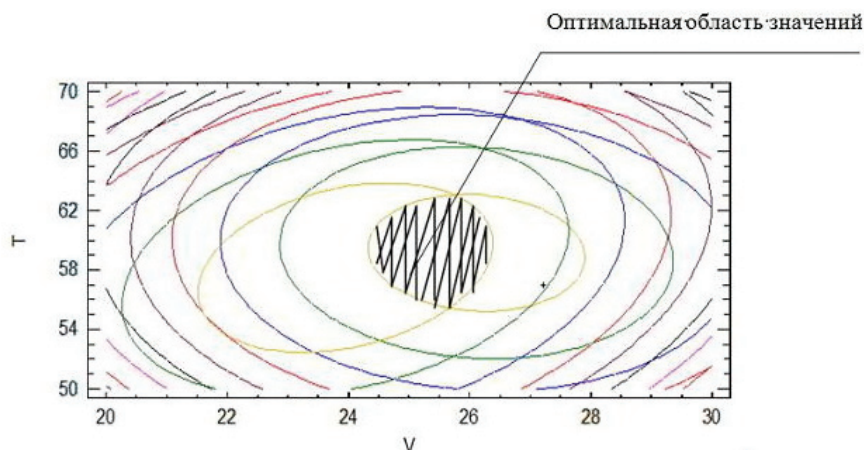


Рис. 2. Параметрическая диаграмма для определения оптимальных значений температуры экструдата и количества глюкозы (степени деструкции крахмала) при влажности композитной смеси до экструдирования $W = 23,5\%$

Fig. 2. Parametric chart to determine optimal values of extrudate temperature and amount of glucose (starch destruction degree) at the humidity of the composite mixture before extruding $W = 23.5\%$

Анализируя рис. 2, установили, что оптимальное содержание глюкозы 109 мг/1 г или максимальная степень деструкции крахмала достигается при частоте вращения шнека 24–25 Гц, влажности смеси после влаготепловой обработки 23,5 % и температуре продукта перед экструдером 55–62 °С.

Была получена аналитическая зависимость, описывающая изменение количества глюкозы в зависимости от частоты вращения шнека, влажности и температуры продукта после влаготепловой обработки, которая имеет следующий вид:

$$S = 1287,04 + 22,19 \cdot V - 1,76 \cdot T - 113,88 \cdot W - 0,714 \cdot V^2 + 0,18 \cdot V \cdot T + 0,074 \cdot V \cdot W - 0,13 \cdot T^2 + 0,54 \cdot T \cdot W + 1,64 \cdot W^2, \quad (1)$$

где S – количество глюкозы, мг/1 г; V – частота вращения шнека, Гц; T – температура продукта после влаготепловой обработки, °С; W – влажность смеси перед экструдированием, %.

Внешний вид экструдированной кормовой добавки представлен на рис. 3.



Рис. 3. Внешний вид экструдированной кормовой добавки из отходов крупяного производства для сеголетков карпа

Fig. 3. Appearance of extruded feed additive from waste of grain production for carp now-years

Для определения эффективности комpositных смесей № 1–6 провели лабораторное кормление сеголетков карпа в условиях аквариальной РУП «Институт рыбного хозяйства». Каждый эксперимент проводили в 6 аквариумах объемом по 60 л в течение 21 дня. В каждый аквариум было посажено по 20 экз. сеголетков карпа. Температура воды в аквариумах была 17,5–18,5 °С. Корм рыбе задавался в количестве 1,5-3,0 % от массы 2 раза в сутки [28, 29]. Учет корма велся ежедневно. Отхода рыбы во время эксперимента не наблюдалось.

Влияние комpositных смесей № 1–6 на весоростовые показатели сеголетков карпа и кормовые затраты представлены в табл. 6. В качестве контроля использовали экструдированное зерно пшеницы.

Т а б л и ц а 6. Удельная скорость роста сеголетков карпа и кормовые затраты при использовании комpositных смесей № 1–6
Table 6. Specific growth rate and feed costs when using composite mixtures № 1–6

Номер комpositной смеси	Общая масса , г		Прирост масс, г	Удельная скорость роста, %/сутки	Кормовой коэффициент, ед.
	начало кормления	конец кормления			
№1	317	336,5	19,5	0,2756	11,8
№2	308,5	339	30,5	0,4529	6,2
№3	285	295	10	0,1861	13,7
№4	412	421	9	0,1201	23,8
№5	169,7	178,3	8,63	0,22601	15,4
№6	173,3	178,7	5,37	0,2056	16,6
Контроль	167	173	6	0,1308	23,3

Согласно полученным экспериментальным данным (табл. 6), наилучшие результаты по кормлению сеголетка карпа были при использовании комpositной смеси № 2–наибольшие приросты, удельная скорость роста и наименьшие кормовые коэффициенты. Обращает на себя внимание то, что разница в составе комpositной смеси № 6 и № 2 только в содержании гороховой и пшеничной мучек (табл. 3). Гороховая мука в комpositной смеси № 6 позволила получить сбалансированный аминокислотный состав для карпа, в смеси № 3 гороховой муки на 30 % меньше и на 20 % больше пшеничной муки, это привело к появлению в составе комpositной смеси № 3 лимитирующих аминокислот. В то же время видно, что наличие антипитательных веществ гороховой муки в комpositной смеси № 6, которые полностью не уничтожаются даже при экструдировании, привело к повышению кормовых коэффициентов и снижению темпов роста. Комpositная смесь № 3 содержит 50 % пшеничной муки, которая лучше всего усваивается карпом и это приводит к высоким темпам роста и невысоким кормовым коэффициентам, несмотря на недостаточно сбалансированный аминокислотный состав. При этом, в сравнении с зерном пшеницы, комpositная смесь № 3 позволяет снизить кормовой коэффициент на 73 %, при увеличении темпов роста сеголетков карпа в сутки на 71 %.

Также была рассчитана эффективность использования веществ и энергии комpositных смесей рыбами и определена оценка их влияния на обмен веществ и физиологическое состояние рыб по ниже приведенным формулам [29].

Коэффициент эффективности использования корма в организме рыб \mathcal{E}_H рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E}_H = \frac{M_t P_t - M_0 P_0}{(M_t - M_0) * Z_H}, \tag{2}$$

где \mathcal{E}_H – коэффициент эффективности использования корма в организме рыб, %; M_0, M_t – средняя масса рыб в начале и конце экспериментов, %; P_0, P_t – содержание питательного вещества или энергии в теле рыб в начале и конце экспериментов, %; Z_H – затраты съеденного корма, отдельных питательных веществ или энергии на единицу прироста массы рыб, г.

Коэффициент эффективности белка $K_{\%b}$ определяется по формуле:

$$K_{\%b} = \frac{M_t - M_0}{E_b}, \tag{3}$$

где $K_{\%b}$ – коэффициент эффективности белка; M_0, M_t – средняя масса рыб в начале и конце экспериментов, %; E_b – количество внесенного или съеденного рыбами белка, %.

Накопление веществ в теле рыб H рассчитывается по формуле:

$$H = \frac{M_t P_t - M_0 P_0}{M_0}, \quad (4)$$

где H – накопление веществ в теле рыб, г/100 г; M_0 , M_t и P_0 , P_t – средняя масса рыб и содержание питательного вещества или энергии в их теле в начале и конце экспериментов, %.

Концентрация органических и минеральных веществ в единице прироста рыб Π_k рассчитывается по формуле:

$$\Pi_k = \frac{M_t P_t - M_0 P_0}{(M_t - M_0) * 10}, \quad (5)$$

где Π_k – содержание питательных веществ, г на 1 кг прироста рыб; M_0 , M_t и P_0 , P_t – средняя масса рыб и содержание питательного вещества или энергии в их теле в начале и конце экспериментов, %.

Данные по значению показателей для композитных смесей представлены в табл. 7. Анализ табл. 7 показывает, что эффективность использования композитных смесей для кормления сеголетков карпа дало неоднозначный результат. Наилучшие показатели по эффективности использования корма у композитной смеси № 3: карп использует эту смесь с эффективностью 40,58 %, что превышает эффективность использования зерна пшеницы на 63,9 %.

Т а б л и ц а 7. Эффективность использования веществ и энергии корма рыбами
Table 7. Efficiency of substances and energy feed by fish

Номер композитной смеси	Коэффициент эффективности использования корма, \mathcal{E}_p %	Накопление веществ в теле рыб, H , г/100 г	Коэффициент эффективности белка, $K_{\text{бел}}$	Концентрация органических и минеральных веществ в единице прироста рыб, Π_k , кДж/кг
№1	8,64	5,29	0,19	859,75
№2	4,88	2,98	0,29	302,70
№3	40,58	19,33	0,13	5672,47
№4	20,29	10,55	0,1	4830,09
№5	13,08	9,51	0,062	1847,14
№6	14,66	12,15	0,03	3973,66

Концентрация органических и минеральных веществ в единице прироста рыб максимальна у композитной смеси № 3 и составляет 5672,47 кДж/кг прироста рыбы, также композитная смесь № 3 дает максимальное накопление веществ в теле рыбы 19,33 г/100 г корма. В то же время коэффициент эффективности белка наибольший для композитной смеси № 2. Значения этих коэффициентов сильно зависят от физиологического состояния рыб, но по большинству коэффициентов наиболее эффективной для сеголетков карпа является композитная смесь № 3. Для оценки физиологического состояния рыб при кормлении композитными смесями определим гематологические показатели крови карпа. Основные гематологические показатели крови сеголетков карпа представлены в табл. 8.

Т а б л и ц а 8. Основные гематологические показатели крови сеголетков карпа
Table 8. The main hematological indicators of the blood of carp now-years

Номер композитной смеси	Гематологические показатели				
	Гемоглобин, г/л	Эритроциты, $10^{12}/л$	СОЭ, мм/ч	ОБСК, г%	Лейкоциты, $10^9/л$
Норматив	85–87	1,4–1,7	До 4,0	3,0–4,5	57,2–61,6
№1	46,3 ± 6,15	0,56 ± 0,06	2,3 ± 0,47	4,26 ± 0,47	56,8 ± 1,79
№2	40,6 ± 3,49	0,48 ± 0,04	3,0 ± 0,52	4,92 ± 0,49	57,6 ± 1,62
№3	45,3 ± 6,15	0,76 ± 0,06	3,2 ± 0,47	5,26 ± 0,47	57,8 ± 1,79
№4	41,6 ± 3,49	0,58 ± 0,04	3,0 ± 0,52	4,72 ± 0,49	55,6 ± 1,62
№5	78,1 ± 4,23	1,23 ± 0,046	3,1 ± 0,26	2,22 ± 1,72	54,6 ± 1,23
№6	88,1 ± 4,23	1,50 ± 0,046	3,4 ± 0,26	2,42 ± 1,72	54,6 ± 1,23
Контроль	36 ± 5,76	0,53 ± 0,04	3,4 ± 0,4	4,03 ± 0,55	55,3 ± 1,84

Анализируя табл. 8, отметим, что содержание гемоглобина и количество эритроцитов у сеголетков карпа в композитных смесях № 1–5 и контроле ниже нормативов. Обеднение эритроцитов гемоглобином с 70 до 41–47 г/л можно объяснить тем, что опытная рыба фактически не впадала в зимний анабиоз [30]. Общий белок сыворотки крови (ОБСК) показывает, в первую очередь, состояние иммунной системы организма рыб. С учетом ослабленного организма рыб из-за отсутствия зимней

спячки видно, что наибольшее значение ОБСК у рыбы, кормившейся комбинированной смесью № 3, что характеризует наилучшее физиологическое состояние сеголетков карпа данной группы по сравнению с другими группами. В то же время все гематологические показатели крови карпа находятся в норме для рыбы, не впадавшей в зимнюю спячку.

Заключение. В результате проведенных исследований была разработана новая кормовая добавка для сеголетков карпа из отходов крупяного производства, обладающая высокой эффективностью кормления по сравнению с зерном пшеницы. Это показывает концентрация органических и минеральных веществ в единице прироста рыб (5672,47 кДЖ/кг), максимальное накопление веществ в теле рыбы (19,33 г/100 г корма). Разработанная кормовая добавка может использоваться как компонент комбикорма и как замена зерна пшеницы при кормлении карпа в конце сезона.

Список использованных источников

1. Комбикорма и кормовые добавки [Текст] / В.А. Шаршунов, Н.А. Попков, Ю.А. Пономаренко и др. – Мн.: «Экоперспектива», 2002. – 440 с.
2. Абросимова, Н. А. Кормовое сырье для объектов аквакультуры [Текст] / Н.А. Абросимова, С.С. Абросимов, Е.М. Саенко. – Ростов-на-Дону: Эверест, 2005. – 144 с.
3. Никифорова Т.А. Перспективы использования вторичного сырья крупяных производств [Текст] / Т.А. Никифорова, С.М. Севериненко, Д.А. Куликов // Хлебопродукты. – 2009. – № 7. – С. 50–51.
4. Ермакова, С.В. Биологическая ценность белка кормов, используемых при выращивании карпа в условиях теплых вод [Текст] / С.В. Ермакова // Сборник научных трудов ГосНИОРХ «Эколого-физиологические основы повышения эффективности кормления рыб в индустриальном рыбководстве». Т. 81. Ленинград, 1986. – С. 31–37.
5. Гамыгин, Е.А. Проблемы разработки и качества комбикормов для рыб [Текст] / Е.А. Гамыгин, А.Н. Канидьева, В.И. Турецкий // Труды ВНИИПРХ. Вопросы разработки и качества комбикормов. – 1989. – Вып. 57. – С. 3–8.
6. Остроумова, И.Н. Биологические основы кормления рыб [Текст] / И.Н. Остроумова // ГосНИОРХ. – Санкт-Петербург, 2001. – 372 с.
7. Скларов, В.Я. Корма и кормление рыб в аквакультуре [Текст] / В.Я. Скларов. – М.: Издательство ВНИРО, 2008. – 150 с.
8. Кошак, Ж.В. Проблемы качества сырья, используемого в комбикормах для рыб [Текст] / Ж.В. Кошак // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. Сб. научных трудов. Вып. 33/ Под общ. ред. В.Ю. Агееца. – Минск, 2017. – С. 144–156.
9. Никифорова, Т.А. Использование ячменной муки для производства растительных масел [Текст] / Т.А. Никифорова // Хлебопродукты. – 2006. – № 8. – С. 36–37.
10. Никифорова, Т.А. Ячменная мука – природный источник витаминов группы В [Текст] / Т.А. Никифорова // Хлебопродукты. – 2006. – № 9. – С. 58–59.
11. Казаков, Е.Д. Биохимия зерна и продуктов его переработки [Текст] / Е.Д. Казаков, В.Л. Кретович // 2-е переработанное и дополненное издание. – М.: Агропромиздат, 1989. – 368 с.
12. Никифорова, Т.А. Перспективы использования пшеничной муки [Текст] / Т.А. Никифорова, Е.М. Мельников // Хлебопродукты. – 2006. – № 12. – С. 48–49.
13. Никифорова, Т.А. Перспективы использования гречневой муки [Текст] / Т.А. Никифорова, Е.М. Мельников, В.Г. Байков, С.Г. Понаморёв // Хлебопродукты. – 2007. – № 1. – С. 46–47.
14. Пономарёв, С.Г. Исследование побочных продуктов переработки гороха [Текст] / С.Г. Пономарёв // Материалы второй международной научно-технической конференции «Новое в технологии и технике пищевых производств». – Воронеж, 2010. – С. 115–117.
15. Егоров, Г.А. Технология муки, крупы и комбикормов [Текст] / Г.А. Егоров, Е.М. Мельников, Б.М. Максимчук. – М. Колос, 1984. – 376 с.
16. Дмитроченко, А.П. Кормление сельскохозяйственных животных [Текст] / А.П. Дмитроченко, П.Д. Пшеничный. // Изд. 2-е, доп. и перераб. – Л.: Колос (ленинградское отделение), 1975. – 480 с.
17. Щербина, М.А. Кормление рыб в пресноводной аквакультуре [Текст] / М.А. Щербина, Е.А. Гамыгин. – М.: издательство ВНИПРО, 2006. – 360 с.
18. Коуи, К. Питание в кн. Биоэнергетика и рост рыб [Текст] / К. Коуи, Дж. Сарджент. – Москва: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – С. 8–69.
19. Wilson, R.P. Amino Acid and protein // In: Halver J.E. ed., Fish nutrition., 2nd ed. Academic Press, San Diego (USA), 1989. – P. 111–151.
20. Kaushik, S. Nutrition et alimentation des poissons et contrôle des déchets piscicoles // Pise. Franc. № 101., 1990. – P. 14–23.
21. Винберг, Г.Г. Интенсивность обмена и пищевые потребности рыб [Текст] / Г.Г. Винберг. – Мн.: Изд. БГУ, 1956. – 251 с.

22. Рудой, Д.В. Исследование процесса экструдирования комбикормов для рыб [Текст] / Д.В. Рудой // Вестник Казанского ГАУ. – 2014. – № 3(33). – С. 95–97.
23. Остриков, А. Экструдирование комбикормов: новые подходы и перспективы [Текст] / А. Остриков, В. Василенко // Комбикорма. – 2011. – Москва, № 8 – С. 39–42.
24. Кошак, Ж.В. Моделирование и оптимизация технологических процессов зерноперерабатывающей и хлебопекарной отрасли [Текст] / Ж.В. Кошак, А.Э. Кошак. – Минск : ИВЦ Минфина, – 2015. – 152 с.
25. Зерно. Методы определения состояния (степени деструкции) крахмала [Текст]: ГОСТ 29177-91. – Введ. 1993-01-01, переизд. август 2004. – Москва, 1993. – 7 с.
26. Берёзов, Т.Т. Биологическая химия [Текст] / Т.Т. Берёзов, Б.Ф. Коровкин – М.: Медицина, 1998. – 704 с.
27. Ленинджер, А. Основы биохимии [Текст] / А. Ленинджер. Т. 2 / Пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 368 с.
28. Щербина, М.А. Переваримость и эффективность использования питательных веществ искусственных кормов у карпа [Текст] / М.А. Щербина. – М.: Пищевая промышленность, 1973. – 132 с.
29. Щербина, М.А. Кормление рыб в пресноводной аквакультуре [Текст] / М.А. Щербина, Е.А. Гамыгин. – М.: Изд-во ВНИРО, 2006. – 360 с.
30. Остроумова, И.Н. Динамика состава крови зимующих сеголетков карпа, выращенных на разных рационах [Текст] / И.Н. Остроумова// Сборник научных трудов ГосНИОРХ «Физиология зимующего сеголетка карпа». Т. 81. Ленинград, 1972. – С. 36–58.

References

1. Sharshunov V.A., Popkov N.A., Ponomarenko YU.A. i dr. Kombikorma i kormovyye dobavki [*Compound feed and feed additives*]. Mn.: « Ekoperspektiva», 2002, 440 p. (in Russian).
2. Abrosimova N.A., Abrosimov S.S., Sayenko Ye.M. Kormovoye syr'ye dlya ob'yektov akvakul'tury. [*Feedstock for aquaculture facilities*]. Rostov-na-Donu: Everest, 2005, 144 p. (in Russian).
3. Nikiforova T.A., Severinenko S.M., Kulikov D.A. Perspektivy ispol'zovaniya vtorichnogo syr'ya krupyanykh proizvodstv [*Prospects for the use of recycled cereals*]. Khleboprodukty, 2009, no. 7, pp. 50–51 (in Russian).
4. Yermakova S.V. Biologicheskaya tsennost' belka kormov, ispol'zuyemykh pri vyrashchivanii karpa v usloviyakh teplykh vod [*The biological value of protein feed used in the cultivation of carp in warm water*]. Sbornik nauchnykh trudov GosNIORKH «Ekologo-fiziologicheskiye osnovy povysheniya effektivnosti kormleniya ryb v industrial'nom rybovodstve» [*The collection of scientific works of GosNIORKH "Ecological and physiological foundations of increasing the efficiency of feeding fish in industrial fish farming"*]. Т. 81. Leningrad, 1986, pp. 31–37 (in Russian).
5. Gamygin Ye. A., Kanid'yev A. N., Turetskiy V. I. Problemy razrabotki i kachestva kombikormov dlya ryb [*Problems of development and quality of compound feeds for fish*]. Trudy VNIIPRKH. Voprosy razrabotki i kachestva kombikormov [Proceedings of VNIIPRKH. Issues of development and quality of feed], 1989, no. 57. – pp. 3–8 (in Russian).
6. Ostroumova I.N. Biologicheskiye osnovy kormleniya ryb [*The biological basis of feeding fish*]. GosNIORKH [GosNIORKH]. Sankt-Peterburg, 2001, 372 p. (in Russian).
7. Sklyarov V.YA. Korma i kormleniye ryb v akvakul'ture [*Feed and feed fish in aquaculture*]. М.: Izdatel'stvo VNIRO, 2008, 150 p. (in Russian).
8. Koshak ZH.V. Problemy kachestva syr'ya, ispol'zuyemogo v kombikormakh dlya ryb [*Quality problems of raw materials used in compound feeds for fish*]. Voprosy rybnogo khozyaystva Belarusi. Sb. nauchnykh trudov [*Fisheries issues. Collection of scientific papers*]. Minsk, 2017, no. 33. pp. 144–156 (in Russian).
9. Nikiforova T.A. Ispol'zovaniye yachmennoy muchki dlya proizvodstva rastitel'nykh masel [*The use of barley flour for the production of vegetable oils*]. Khleboprodukty, 2006, no. 8, pp. 36–37 (in Russian).
10. Nikiforova T.A. Yachmennaya muchka – prirodnyy istochnik vitaminov gruppy V [*Barley flour – a natural source of B vitamins*]. Khleboprodukty, 2006, no. 9, pp. 58–59 (in Russian).
11. Kazakov Ye.D., Kretovich V.L. Biokhimiya zerna i produktov yego pererabotki [*Biochemistry of grain and products of its processing*]. 2-ye pererabotannoye i dopolnennoye izdaniye, М.: Agropromizdat, 1989, 368 p. (in Russian).
12. Nikiforova T.A., Mel'nikov Ye.M. Perspektivy ispol'zovaniya pshenichnoy muchki [*Prospects for the use of wheat flour*]. Khleboprodukty, 2006, no. 12, pp. 48–49 (in Russian).
13. Nikiforova T. A., Mel'nikov Ye.M., Baykov V.G., Ponomorov S.G. Perspektivy ispol'zovaniya grechnevoy muchki [*Prospects for the use of buckwheat flour*]. Khleboprodukty, 2007, no. 1, pp. 46–47 (in Russian).
14. Ponomarov S.G. Issledovaniye pobochnykh produktov pererabotki gorokha [*Pea Processing By-Products*]. Materialy vtoroy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnikeskoy konferentsii «Novaya v tekhnologii i tekhnike pishchevykh proizvodstv» [*Materials of the second international scientific and technical conference "New in technology and technology of food production"*]. Voronezh, 2010, pp. 115–117 (in Russian).

15. Yegorov G.A., Mel'nikov Ye.M., Maksimchuk B.M. Tekhnologiya muki, krupy i kombikormov [Technology of flour, cereals and animal feed]. M. Kolos, 1984, 376 p. (in Russian).
16. Dmitrochenko A.P., Pshenichnyy P.D. Kormleniye sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh [Feeding farm animals]. Izd. 2-ye, dop. i pererab. L., Kolos (leningradskoye otdeleniye), 1975, 480 p. (in Russian).
17. Shcherbina M.A., Gamygin Ye.A. Kormleniye ryb v presnovodnoy akvakul'ture [Freshwater fish feeding]. M.: izdatel'stvo VNIPRO, 2006, 360 p. (in Russian).
18. Kouli K., Sardzhent Dzh. Pitaniye. V kn. Bioenergetika i rost ryb [Food. In the book. Bioenergy and fish growth]. Moscow: Legkaya i pishchevaya promyshlennost', 1983, pp. 8–69 (in Russian).
19. Wilson R.P. Amino Acid and protein. In: Halver J.E. ed., Fish nutrition., 2nd ed. Academic Press, San Diego (USA), 1989, pp. 111–151.
20. Kaushik S. Nutrition et alimentation des poissons et contrôle des déchets piscicoles. Pise. Franc. no. 101., 1990, pp. 14–23.
21. Vinberg G.G. Intensivnost' obmena i pishchevyye potrebnosti ryb [Exchange rate and nutritional needs of fish]. Mn., Izd. BGU, 1956, 251 p. (in Russian).
22. Rudoy D. V. Issledovaniye protsessa ekstrudirovaniya kombikormov dlya ryb [Investigation of the process of extrusion of feed for fish]. Vestnik Kazanskogo GAU, 2014. no. 3(33), pp. 95–97 (in Russian).
23. Ostrikov A., Vasilenko V. Ekstrudirovaniye kombikormov: novyye podkhody i perspektivy [Compound feed extrusion: new approaches and perspectives]. Kombikorma, 2011, Moscow, no. 8, pp. 39–42 (in Russian).
24. Koshak ZH.V., Koshak A.E. Modelirovaniye i optimizatsiya tekhnologicheskikh protsessov zernoperera batyvayushchey i khlebopekarnoy otrasli [Modeling and optimization of technological processes of grain processing and baking industry]. Minsk : IVTS Minfina, 2015, 152 p. (in Russian).
25. GOST 29177-91. Zerno. Metody opredeleniya sostoyaniya (stepeni destrukttsii) krakhmala [State Standard 29177-91. Grain. Methods for determining the state (degree of destruction) of starch]. Moscow, 1993, 7 p. (in Russian).
26. Berozov T.T., Korovkin B.F. Biologicheskaya khimiya [Biological chemistry]. 3-ye izd., M.: Meditsina, 1998, 704 p. (in Russian).
27. Lenindzher A. Osnovy biokhimii [The basics of biochemistry]. V 3-kh tt. T. 2 / Per. s angl., M.: Mir, 1985, 368 p. (in Russian).
28. Shcherbina M.A. Perevarimost' i effektivnost' ispol'zovaniya pitatel'nykh veshchestv iskusstvennykh kormov u karpa [Digestibility and efficiency of use of nutrients of artificial feed in carp]. M.: Pishchevaya promyshlennost', 1973, 132 p. (in Russian).
29. Shcherbina M.A., Gamygin Ye.A. Kormleniye ryb v presnovodnoy akvakul'ture [Freshwater fish feeding]. M.: Izd-vo VNIRO, 2006, 360 p. (in Russian).
30. Ostroumova I.N. Dinamika sostava krovi zimuyushchikh segoletkov karpa, vyrashchennykh na raznykh ratsionakh [Blood composition dynamics of wintering carp yearlings grown on different diets]. Sbornik nauchnykh trudov GosNIORKH «Fiziologiya zimuyushchego segoletka karpa» [Collection of scientific works of GosNIORKH "Physiology of the wintering year-old carp"]. T. 81. Leningrad, 1972, pp. 36–58 (in Russian).

Информация об авторах

Кошак Жанна Викторовна – кандидат технических наук, доцент, заведующая лабораторией кормов РУП «Институт рыбного хозяйства» НАН Беларуси (ул. Стебенева, 22, 220024, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: Koshak.zn@gmail.com

Зенович Наталья Викторовна – младший научный сотрудник лаборатории кормов РУП «Институт рыбного хозяйства» НАН Беларуси (ул. Стебенева, 22, 220024, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: nata.zenovich@mail.ru

Кошак Артур Эдуардович – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории кормов РУП «Институт рыбного хозяйства» НАН Беларуси (ул. Стебенева, 22, 220024, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: 8849619@gmail.com

Information about authors

Koshak Zhanna V. – Candidate of Technical Sciences, associate professor, head of the feed laboratory of the RUE «Institute for Fish Industry» National Academy of Sciences of Belarus (22, Stebeneva St., 220024, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Koshak.zn@Gmail.com

Zenovich Natalya V. – Junior Researcher at the feed laboratory of the RUE «Institute for Fish Industry» National Academy of Sciences of Belarus (22, Stebeneva St., 220024, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: nata.zenovich@mail.ru

Koshak Arthur E. – Candidate of Technical Sciences, associate professor, senior researcher at the feed laboratory RUE «Institute for Fish Industry» National Academy of Sciences of Belarus (22, Stebeneva St., 220024, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: 8849619@gmail.com