

УДК 639.3

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ БИОПРОДУКТОВ ГЛУБОКОГО ГИДРОЛИЗА ПОБОЧНОГО РЫБНОГО СЫРЬЯ В КОМБИКОРМАХ ДЛЯ ИНДУСТРИАЛЬНОЙ АКВАКУЛЬТУРЫ**Н.Ю. Мезенова¹, Д.С. Пьянов², О.Я. Мезенова¹, С.В. Агафонова¹, В.В. Волков¹**¹ Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия² Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО»), Россия

Рыбное хозяйство Калининградской области традиционно базировалось на ресурсах океана и Балтийского моря. Однако, начиная с 90-х годов 20-го столетия в связи с депрессивным состоянием промыслового флота объем вылова водных биоресурсов сократился в 4–5 раз. При норме потребления рыбы на душу населения 18–23 кг/год среднедушевой показатель упал до 12–13 кг/год. В связи с этим в регионе стали развивать индустриальную аквакультуру в качестве альтернативного восполнения рыбных ресурсов с целью увеличения питания населения свежей рыбой и рыбными продуктами.

В мировой практике, а также в России и Калининградской области наиболее перспективным считается разведение ценных видов рыб – лососевых и осетровых – в индустриальном рыбоводстве, т. е. в специализированных установках замкнутого водоснабжения (УЗВ) с применением искусственных кормов. На долю отечественной индустриально выращиваемой аквакультуры сегодня приходится около 25 % производственного сектора рыбоводства. Однако его масштабное развитие напрямую зависит от импорта специализированных кормов.

Основными компонентами кормов для большинства видов рыб являются рыбная мука и рыбий жир [1]. За последние годы производство рыбной муки в мире составило около 4,7 млн. тонн, 71 % которого использовалось в кормах для аквакультуры. Однако в России сегодня практически нет масштабного производства рыбной муки и жира, ограниченный ресурс поставляют фрагментарно только судовые установки. Поэтому использование в кормах аквакультуры рыбной муки является экономически проблемным. При этом за последние годы цены на рыбную муку только растут [2].

В настоящее время актуально частично заменять в составе комбикормов аквакультуры дорогостоящую рыбную муку на более доступные компоненты. Рыбий жир также дефицитен и далеко не всегда соответствует по качеству требуемым нормам. Поэтому важным направлением исследований в области питания рыб в индустриальной аквакультуре является обоснование замены рыбной муки и жира на альтернативные источники, по качеству не уступающие традиционным.

В этой связи представляется целесообразным частичное использование вместо рыбной муки в составе кормов продуктов глубокой переработки побочного рыбного сырья, образующихся при производстве пищевой рыбной продукции при ее разделке (голов, хребтов, чешуи и др.). Это позволяет не только решить проблему утилизации рыбных отходов, но и получать добавки протеинового, жирового и минерального составов [3].

В Калининградском ГТУ на кафедре пищевой биотехнологии разработана технология глубокой переработки рыбных отходов (патент РФ 2681352; патент РФ № 2727904). Технология позволяет под действием ферментов и высоких температур выделять протеиновую, липидную и минеральную фракцию из рыбного сырья, при этом протеиновый гидролизат характеризуется высоким содержанием низкомолекулярных пептидов (ММ менее 100 кД) с преобладанием фракции олигопептидов (ди- и трипептидов) с ММ 5–10 кДа (более 80 %). Данный факт свидетельствует о высокой потенциальной усвояемости протеинового компонента в кормовой продукции.

Применение гидролизатов различного водного сырья, в том числе ферментализатов рыбных отходов, рыбного фарша, крилевой муки, мидий и др. исследовалось в составе стартовых кормов рыб, получены положительные результаты, но пока эти технологии остались на экспериментальном уровне [2].

Исследования последних лет убедительно показывают высокий физиологический потенциал для кормов аквакультуры рыбных гидролизатов, получаемых из побочных водных биологических ресурсов. Даже при небольшой дозировке такие добавки ускоряют рост рыбы и ее физиологические показатели (среднесуточный прирост, выживаемость, активность пищеварительных ферментов, коэффициенты видимой переваримости сырого протеина, жира, сухого вещества, валовая энергия).

Включение в состав кормов аквакультуры рыбных протеиновых гидролизаты также выполняют атактивную функцию, позволяя повысить «аромат» продукта и, как следствие, влечение рыб к источнику запаха. Данный эффект обусловлен высоким содержанием низкомолекулярных компонентов, ответственных за запах и вкус (свободные аминокислоты и пептиды).

Важным результатом применения гидролизатов в составе кормов аквакультуры является положительное влияние на целостность и регуляцию метаболизма кишечника у рыб. Наблюдается увеличение размера кишечных ворсинок, что способствует росту поверхности обмена, активности ферментов щеточной каймы и систем транспорта питательных веществ [4–5].

Целью настоящего исследования являлось обоснование частичной замены рыбной муки на протеиновые гидролизаты, получаемые из побочного рыбного сырья, в составе комбикормов для основного индустриального объекта аквакультуры (лососевых).

В качестве побочного сырья для получения гидролизатов использовали головы кильки, чешую и хребты сардины и сардинеллы. Гидролизаты получали двумя путями – высокотемпературным и ферментативным, используя гидроклав и протеолитический фермент алкалазу. Полученные суспендированные гидролизаты разделяли на три фракции – протеиновую (водорастворимую), жировую и минерально-белковую (осадочную). Протеиновую фракцию сублимационно высушивали, получая мелкодисперсный порошок, который был использован в настоящих экспериментах. Жировую и минерально-белковую фракции применяли для пищевых целей [6].

Химический состав продуктов гидролиза голов кильки, накапливающихся на Калининградских рыбзаводах при производстве консервов, приведен в табл. 1.

Таблица 1 – Усредненный химический состав продуктов гидролиза голов балтийской кильки

Продукты гидролиза	Химический состав, %			
	Вода	Протеин	Зола	Жир
Жир				100
Сублимированный протеиновый гидролизат	6,7	82,7	8,6	2,0
Высушенный белково-минеральный остаток	3,9	54,5	24,0	18,1

Особый интерес для комбикормов аквакультуры представляют сублимированные протеиновые гидролизаты, содержащие в среднем 82,7 % высоко усвояемых низкомолекулярных пептидов и свободных аминокислот. Данные композиции являются биологически активными, которые потенциально могут быть участвующими в иммунном, антиоксидантном, антисептическом, пластическом и других физиологических эффектах [7]. Аминокислотный состав протеиновых гидролизатов из голов кильки, полученных ферментативным и термическим способами, приведен в табл. 2.

По литературным данным рациональным уровнем потребления протеина во всех кормах для всех видов рыб является 45–55 % от сухого вещества. Именно протеиновая пища способна обеспечить строительство всех тканей и органов у растущих организмов рыб. Причем на ранних стадиях развития в стартовых кормах белок преимущественно должен быть представлен мелкими фракциями (низкомолекулярными пептидами, свободными аминокислотами). По мере роста рыб все больше проявляется видовая специфичность. Для хищных лососевых и осетровых рыб в продукционных кормах содержание протеина должно составляет не менее 34–45 % сухого вещества [1].

В рецептурах кормов показателем их белковой сбалансированности выступает соотношение незаменимых для данных видов рыб аминокислот. Данное соотношение определялось разными авторами применительно к различным видам рыб и не имеет сегодня однозначного признания у всех специалистов-рыбоводов. В России для оценки сбалансированности кормов лососевых используются значения установленных потребностей в аминокислотах, определенные Саенко и Каушика [1].

Расчет сбалансированности аминокислотного состава протеиновых гидролизатов, полученных из чешуи рыб различными способами гидролиза, и предназначенных для комбикормов лососевых рыб, проведенный относительно обоснованной потребности в них, приведен в таблице 3.

Таблица 2 – Аминокислотный состав белков голов кильки и полученных из них протеиновых гидролизатов, изготовленных различными способами, г / 100 г. белка

Аминокислота	Головы кильки (сырье)	Термически полученный гидролизат	Ферментативно полученный гидролизат
Аланин	8,91	7,1	8,3
Аргинин	5,21	5,7	5,8
Аспарагин	0,3	0,3	0,2
Аспарагиновая кислота	8,7	9,6	9,4
Карнозин	0,07	0	0,06
Цитруллин	0,22	0,36	0,2
Цистин	0	0	0,06
Глутамин	0,07	0,06	0,06
Глутаминовая кислота	13,0	11,8	12,5
Глицин	8,8	9,0	7,2
Гистидин	2,1	2,6	2,5
Гидроксипролин	1,7	1,6	0,7
Изолейцин	1,9	2,8	2,9
Лейцин	6,7	6,8	6,9
Лизин	6,4	6,6	5,6
Метионин	0,07	0,7	0,5
Орнитин	1,4	1,4	1,4
Фенилаланин	3,5	4,2	5,2
Пролин	4,6	4,9	4,0
Саркозин	8,9	7,0	8,3
Серин	7,0	6,6	6,7
Таурин	2,2	1,3	1,0
Треонин	3,5	3,9	3,9
Тирозин	1,7	1,7	2,6
Валин	3,0	3,9	4,1

Таблица 3 – Расчетные данные аминокислотных скоров белков гидролизатов чешуи сардины относительно «идеальных» белков для лососевых видов рыб

Незаменимая аминокислота	Содержание, г/100 г. белка, в гидролизате:		Установленная потребность (по Саенко), % белка [1]	Скоры аминокислот, %, в гидролизате:		Установленная потребность (по Kaushik), % белка [1]	Скоры аминокислот, %, в гидролизате:	
	термическом	ферментативном		термическом	ферментативном		термическом	ферментативном
Аргинин	8,27	13,39	5,0	165,4	267,8	6,0	137,83	223,16
Гистидин	2,24	5,56	-	-	-	1,8	124,44	308,88
Изолейцин	2,95	10,2	2,2	134,09	463,63	2,3	128,26	443,48
Лейцин	4,49	15,65	3,9	115,13	401,28	4,0	112,25	391,25
Лизин	8,63	18,63	-	-	-	5,0	172,60	372,60
Метионин	2,76+0,23*	7,78+1,39*	1,5+1*	119,60	366,8	4,0	69,00	229,25
Фенилаланин	2,35+1,72*	8,56+6,09**	4,1+0,4**	90,44	325,55	4,3	94,65	340,70
Треонин	2,75	10,07	2,2	125	457,72	2,3	119,56	437,83
Валин	5,17	12,11	3,0	173,33	403,66	3,3	156,66	366,97

*цистин; **тирозин

С учетом того, что для рыб, выращиваемых в хозяйствах индустриального типа, скоры лимитирующих аминокислот должны быть не менее 80–95 %, можно сделать вывод, что предлагаемые гидролизаты из чешуи рыб будут положительно влиять на биологическую ценность комбикорма и потенциально благотворно воздействовать на физиологию рыб.

С учетом полученных данных, принимая во внимание рекомендуемые ФАО наборы кормовых ингредиентов для комбикормов лососевых (табл. 3), нами была предложена усовершенствованная рецептура, в которой проведена замена 5 % рыбной муки на такое же количество гидролизата из хребтов сардины (табл. 4).

Таблица 3 – Рецептура стандартного корма для молоди лососевых (ФАО)

Компонент	Содержание, на 100 кг сухих веществ корма
Рыбная мука (<i>Clupea harengus</i>)	60,05
Крилевая мука	2,00
Кровяная мука	2,00
Рыбный растворимый белковый концентрат	5,00
Пивные дрожжи	4,00
Молотая пшеница	14,01
Рыбный жир	10,04
Витаминный премикс	1,00
Минеральный премикс	1,00

Таблица 4 – Расчет сбалансированности стартового комбикорма для лососевых рыб при замене 5 % рыбной муки на гидролизаты из хребтов сардины, полученные ферментативным гидролизом

Аминокислота (АК)	Потребность молоди лосося (чавыча, молодь, 2–4 г.)	Стандартный корм		Корм с гидролизатом (5 % замены рыбной муки) из хребтов лососевых	
		Содержание аминокислоты	Скор аминокислоты	Содержание аминокислоты	Скор аминокислоты
Лизин	2,000	2,976	148,80	3,183	159,2
Метионин	0,500	1,110	221,90	1,175	234,9
Цистин	1,000	0,422	42,19	0,420	42,05
Цистин + метионин	1,500	1,532	102,10	1,595	106,3
Треонин	0,900	1,621	180,10	1,715	190,6
Валин	1,300	2,314	178,00	2,432	187,1
Изолейцин	0,900	1,730	192,20	1,852	205,8
Лейцин	1,600	3,019	188,70	3,147	196,7
Тирозин	0,40	1,275	318,8	1,316	329,1
Фенилаланин	1,70	1,570	92,32	1,656	97,41
Гистидин	0,700	0,973	139,00	1,049	149,8
Аргинин	2,400	2,430	101,20	2,494	103,9
Триптофан	0,200	0,506	253,10	0,475	237,3

Таким образом, введение 5 % гидролизата из побочного рыбного сырья (хребтов сардины, остающихся при филетировании), способствует росту скоров аминокислот на 7,4–8,1 %, что свидетельствует о повышении биологической ценности корма по аминокислотной сбалансированности. Полученные данные также показывают перспективность использования в составе стартовых и продукционных комбикормов индустриальной аквакультуры (лососевых и осетровых) продуктов глубокого гидролиза побочного рыбного сырья, обладающих повышенной усвояемостью, в качестве альтернативы рыбной муке. Производство и применение протеиновых гидролизатов позволило бы не только приблизиться к решению проблемы кормов в Калининградском регионе, но и проблему утилизации отходов рыбоперерабатывающих производств.

Литература

- Щербина М.А., Гамыгин Е.А. Кормление рыб в пресноводной аквакультуре. – М.: Изд-во ВНИРО, 2006. – 360 с.
- Остроумова И.Н. Включение в стартовые корма для сиговых рыб (Coregonidae) бактериальной биомассы и белковых гидролизатов / И.Н. Остроумова, В.В. Костюничев, А.А. Лютиков, В.А. Богданова, А.К. Шумилина, Т.П. Данилова, А.В. Козьмина, Т.А. Филатова // Вопросы рыболовства. – 2018. – Том 19 (№ 1). – С. 82–98.
- Мезенова О.Я.Д. Тишлер, С.В. Агафонова, Н.Ю. Мезенова, В.В. Волков, Д.А. Бараненко, Т. Гримм, С. Ридель Исследование и рациональное применение пептидных и липидных композиций, получаемых при гидролизной переработке коллагенсодержащих тканей /Вестник Международной академии холода, 2021, №; 1, с. 46–58
- Khosravi S. Supplementation of Protein Hydrolysates to a Low-fishmeal Diet Improves Growth and Health Status of Juvenile Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus* / S. Khosravi, H.T.D. Bui, M. Herault, V. Fournier, K.D. Kim. B.J. Lee, K.W. Kim, K.J. Lee // Journal of the World Aquaculture Society. – 2018. – Vol. 49 (5). – P. 897–911.
- Leduc A. Dietary aquaculture by-product hydrolysates: impact on the transcriptomic response of the intestinal mucosa of European seabass (*Dicentrarchus labrax*) fed low fish meal diets / A. Leduc, C. Zatylny-Gaudin, M. Robert, E. Corre, G. Le Corguille, H. Castel, A. Lefevre-Scelles, V. Fournier, E. Gisbert, K.B. Andree, J. Henry // BMC Genomics. – 2018. – 19:396. Leduc et al., 2018], [Khosravi et al., 2018.
- Обоснование рациональных параметров гидролиза коллагенсодержащего высокоминерализованного копченого рыбного сырья /О.Я. Мезенова, Л.С. Байдалинова, С.В. Агафонова и др. // Известия вузов. Пищевая технология, 2019. – № 4 (370). – С. 46–50.
- Cytoprotective Effect of Antioxidant Pentapeptides from the Protein Hydrolysate of Swim Bladders of Miiuy Croaker (*Miiichthys miiuy*) against H₂O₂-Mediated Human Umbilical Vein Endothelial Cell (HUVEC) Injury / C. Shi-Ying, W. Yu-Mei, Zh. Yu-Qin, C. Chang-Feng, W. Bin. // International Journal of Molecular Sciences. – 2019. – № 20(21). – pp. 5425.