

ПЕРЕВАРИМОСТЬ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ РАСТИТЕЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛЮ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ В УЗВ

Резюме. В работе исследованы показатели питательности и переваримости концентратов соевого и горохового белков, пшеничного и кукурузного глютен, а также соевого шрота. Выявлено, что данные компоненты являются в первую очередь источниками протеина, переваримость *in vitro* которого составила более 93%, *in vivo* — более 86%, что указывает на хороший потенциал их использования в комбикормах для радужной форели. Зола и фосфор по переваримости были наиболее биодоступными в пшеничном и кукурузном глютен, тогда как в концентратах соевого и горохового белков преобладали плохо усваиваемые формы. Наилучшее влияние на структурно-механические свойства комбикормов оказал концентрат горохового белка, что свидетельствует об актуальности проведения исследований по оценке оптимальных норм его ввода в комбикорма для радужной форели, выращиваемой в условиях УЗВ.

Ключевые слова: комбикорма, радужная форель, питательные вещества, переваримость, кормовые растительные компоненты, концентрат горохового белка.

DIGESTIBILITY OF PLANT-BASED NUTRIENTS BY RAINBOW TROUT IN GROWING IN THE RAS

Abstract. The study examined the nutritional value and digestibility of soybean and pea protein concentrates, wheat and corn glutes, as well as soybean meal. It was found that these components are primarily sources of protein, with *in vitro* digestibility exceeding 93% and *in vivo* digestibility over 86%, indicating their good potential for use in compound feeds for rainbow trout. In terms of digestibility, ash and phosphorus were most bioavailable in wheat and corn glutes, whereas poorly digestible forms predominated in the soybean and pea protein concentrates. The pea protein concentrate had the most favorable effect on the structural and mechanical properties of the compound feeds, highlighting the relevance of conducting research to determine the optimal inclusion rates of pea protein concentrate in feeds for rainbow trout cultivated in RAS.

Key words: compound feeds, rainbow trout, nutrients, digestibility, plant-based feed ingredients, pea protein concentrate.

ВВЕДЕНИЕ

Аквакультура — одна из наиболее динамично развивающихся отраслей сельского хозяйства в Российской Федерации. В период с 2017 по 2025 г. в товарной аквакультуре произошло увеличение объемов производства продукции, в 2025 г., по экспертным оценкам, они составили около 390 тыс. т. Согласно стратегии развития отечественного рыбного хозяйства до 2030 г. запланировано наращивание производства такой продукции до 618 тыс. т [2].

УДК 639.3.043.13

Научная статья

DOI 10.69539/2413-287X-2026-02-3-262

ВЛАДИСЛАВ АЛЕКСАНДРОВИЧ ТОЛМАЧЕВ¹,

аспирант, ведущий специалист
отдела кормов и кормовых компонентов
ORCID: 0000-0001-8989-495X
E-mail: tolmachev@vniro.ru

МАКСИМ ВЛАДИМИРОВИЧ АРНАУТОВ¹,

кандидат технических наук, начальник
отдела кормов и кормовых компонентов
ORCID: 0000-0003-3699-1451
E-mail: arnautov@vniro.ru

ВАЛЕРИЯ ВЛАДИМИРОВНА ГЕРШУНСКАЯ¹,

кандидат технических наук, ведущий
научный сотрудник отдела кормов
и кормовых компонентов
ORCID: 0000-0001-8989-495X
E-mail: gershunskaya@vniro.ru

РОМАН ВИКТОРОВИЧ АРТЕМОВ¹,

кандидат технических наук, доцент,
директор департамента прикладных
исследований комбикормов
и научного сопровождения производств
ORCID: 0000-0003-0428-0225
E-mail: artemov@vniro.ru

АЛЕКСЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ ЖИГИН¹,

доктор сельскохозяйственных наук,
профессор, главный научный сотрудник
отдела аквакультуры беспозвоночных
ORCID: 0000-0001-5283-4099
E-mail: crustacealab@vniro.ru

¹Всероссийский научно-исследовательский
институт рыбного хозяйства и океанографии
105187, г. Москва, Окружной проезд, д. 19

Поступила в редакцию: 26.01.2026
Одобрена после рецензирования: 04.02.2026
Принята в публикацию: 09.02.2026

UDC 639.3.043.13

Research article

DOI 10.69539/2413-287X-2026-02-3-262

VLADISLAV A. TOLMACHEV¹,

Postgraduate student, leading specialist
in the Department of Feed and Feed Components
ORCID: 0000-0001-8989-495X
E-mail: tolmachev@vniro.ru

MAKSIM V. ARNAUTOV¹,

Candidate of Technical Sciences, Head
of the Feed and Feed Components Department
ORCID: 0000-0003-3699-1451
E-mail: arnautov@vniro.ru

VALERIA V. GERSHUNSKAYA¹,

Candidate of Technical Sciences, Leading
Researcher, Department of Feed and Feed
Components
ORCID: 0000-0001-8989-495X
E-mail: gershunskaya@vniro.ru

ROMAN V. ARTEMOV¹,

Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor, Director of the Department of Applied
Research of Compound Feed
and Scientific Support of Production
ORCID: 0000-0003-0428-0225
E-mail: artemov@vniro.ru

ALEXEY V. ZHIGIN¹,

Doctor of Agricultural Sciences, Professor,
Chief Researcher of the Department
of Invertebrate Aquaculture
ORCID: 0000-0001-5283-4099
E-mail: crustacealab@vniro.ru

¹Russian Federal Research Institute
of Fisheries and Oceanography
105187, Moscow, Okruzhnoy proezd, 19

Received by editor office: 01.26.2026
Approved in revised: 02.04.2026
Accepted for publication: 02.09.2026

Для реализации поставленной задачи оптимальным решением является увеличение объемов рыбной продукции, выращенной в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ). Однако данная технология подразумевает использование исключительно высокоэффективных комбикормов, которые обладают высокой переваримостью, имеют особые структурно-механические показатели, способствуют получению сформированных и стабильных отходов жизнедеятельности, оказывают минимальное влияние на качество оборотной воды в УЗВ. Достижение высокой переваримости комбикормов реализуется при сочетании комплексного исследования компонентной базы и балансирования рецептур с учетом физиологических потребностей объектов аквакультуры.

Компоненты растительного происхождения, в частности высокобелковые продукты переработки сои, гороха, пшеницы и кукурузы, имеют большой потенциал при производстве комбикормов для объектов аквакультуры [1, 3, 11]. Наиболее широко распространены продукты переработки сои (жмыхи, шроты, концентраты и изоляты), которые содержат 45–90% протеина, сбалансированного по аминокислотному составу, что определяет их как альтернативу рыбной муке. Вместе с тем антипитательные вещества (ингибиторы трипсина, лектины и т. д.) и волатильность цен значительно ограничивают применение данных компонентов [10, 11]. Пшеничный и кукурузный глютен — это источники протеина (75 и 60%, соответственно), в которых мало жира и золы, а углеводы состоят в основном из амилопектина (разветвленный полисахарид), что положительно влияет на структурно-механические свойства гранул комбикормов [8, 9]. Продукты переработки гороха, которые представлены на рынке в виде белковых концентратов или изолятов, — перспективные компоненты для рыбных кормов [4]. Устойчивая тенденция роста посевных площадей и валового сбора гороха, а также активное внедрение в промышленность технологий глубокой переработки определяют возможности увеличения использования этих компонентов в комбикормах. В концентрате горохового белка 55–65% протеина, от 5 до 20% крахмала, 3–5% клетчатки, около 5% золы. В изоляте горохового белка уровень протеина достигает 80–90%, но высокая востребованность в пищевой промышленности и ценовая политика ограничивают его ввод в рыбные комбикорма [3, 5, 14].

Цель настоящего исследования — проведение сравнительной оценки переваримости растительных компонентов в составе комбикормов для радужной форели при выращивании в условиях УЗВ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования: концентрат соевого белка, концентрат горохового белка, шрот соевый, глютен пшеничный, глютен кукурузный, кормовая рыбная мука, опытные комбикорма с добавлением указанных компонентов, продукты жизнедеятельности рыб (фекалии).

Эксперимент включал в себя: анализ компонентов по показателям питательности и переваримости *in vitro*; производство и исследование опытных комбикормов с вводом различных компонентов; определение переваримости комбикормов, компонентов и их нутриентов *in vivo*.

Питательную ценность комбикормов определяли стандартными методами, в том числе массовую долю фосфора — по ГОСТ Р 51420-99 (ИСО 6491-98) «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Спектрометрический метод определения массовой доли фосфора» с помощью спектрофотометра Shimadzu UV-1800 (Япония); аминокислотный состав — по ГОСТ 32195-2013 «Корма, комбикорма. Метод определения содержания аминокислот» на аминокислотном анализаторе Arcus (Германия); массовую долю триптофана — колориметрическим методом. Активность уреазы измеряли в соответствии с ГОСТ 13979.9-69 «Жмыхи и шроты. Методика выполнения измерений активности уреазы» с использованием водяной бани LOIP LB-161 (РФ) и pH-метра Mettler Toledo SevenMulti-A (КНР). Изучались структурно-механические показатели комбикормов: водостойкость, крошимость и насыпную плотность. Переваримость комбикормов и компонентов *in vitro* оценивали по ГОСТ Р 51423-99 «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Метод определения массовой доли растворимого азота после обработки пепсином в разведенной соляной кислоте». Для изучения переваримости компонентов и их нутриентов *in vivo* был разработан рецепт контрольного комбикорма (КР-0), который содержал рыбную муку, пшеницу, рыбий жир, премикс, монокальцийфосфат, оксид хрома, связующую добавку, антиоксидант. Опытные комбикорма получали путем смешивания контрольного рациона и исследуемого компонента в соотношении 70:30 в соответствии с известными методическими подходами [6, 15]. Схема опыта представлена в таблице 1.

Таблица 1. Схема опыта

Компонент	Комбикорм					
	КР-0	КР-1	КР-2	КР-3	КР-4	КР-5
Концентрат соевого белка	—	30	—	—	—	—
Концентрат горохового белка	—	—	30	—	—	—
Соевый шрот	—	—	—	30	—	—
Пшеничный глютен	—	—	—	—	30	—
Кукурузный глютен	—	—	—	—	—	30

В качестве тестового биологического объекта была выбрана радужная форель средней массой 50 г, которую содержали в метаболических колбах объемом 0,17 м³, оснащенных в нижней части конусообразными емкостями для сбора фекалий (рис. 1). Плотность посадки составляла 30 шт/колбу. Температура воды варьировала от 15 до

17°С, что соответствовало физиологическим потребностям радужной форели. Кормление осуществляли 1 раз в сутки, сбор фекалий проводили через 12 часов после кормления, далее их сушили при температуре не более 60°С. Для определения переваримости рыбой комбикормов, компонентов и их нутриентов установили содержание хрома в комбикормах и фекалиях фотометрическим методом с дифенилкарбазидом после растворения пробы в смеси серной и хлорной кислот [12].

Для расчета переваримости экспериментальных материалов применяли ряд формул [6, 13].

Переваримость комбикорма ($P_{кр}$):

$$P_{кр} (\%) = 100 \times [1 - (IB_{кр} / IB_{ф})], \quad (1)$$

где $IB_{кр}$, $IB_{ф}$ — содержание инертного вещества (хрома) в комбикорме и фекалиях в пересчете на сухое вещество.

Переваримость тестового компонента ($P_{тк}$):

$$P_{тк} (\%) = 100 \times [P_{тесткр} - (0,7 \times P_{конткр})] / 0,3, \quad (2)$$

где $P_{тесткр}$, $P_{конткр}$ — переваримость тестового и контрольного комбикормов.

Переваримость нутриентов комбикорма ($P_{нвкр}$):

$$P_{нвкр} (\%) = 100 \times [1 - (IB_{кр} \times C_{ф}) / (IB_{ф} \times C_{кр})], \quad (3)$$

где $IB_{кр}$, $IB_{ф}$ — содержание инертного вещества (хрома) в комбикорме и фекалиях;

$C_{кр}$, $C_{ф}$ — содержание нутриентов в комбикорме и фекалиях в пересчете на сухое вещество.

Переваримость нутриентов тестового компонента ($P_{нтк}$):

$$P_{нтк} (\%) = 100 \times [P_{тесткр} + (P_{тесткр} - P_{конткр}) \times (0,7 \times C_{конткр}) / (0,3 \times C_{тк})], \quad (4)$$

где $P_{конткр}$, $P_{тесткр}$ — переваримость контрольного и тестового комбикормов;

$C_{конткр}$, $C_{тк}$ — содержание нутриентов в контрольном комбикорме и тестовом компоненте.



Рис. 1. Система метаболических бассейнов для оценки переваримости кормов и кормовых компонентов *in vivo*

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе работы была изучена питательная ценность тестируемых компонентов растительного происхождения в сравнении с рыбной мукой. Исходя из данных, представленных в таблице 2, глютен пшеничный можно отнести к высокобелковому компоненту (более 70% протеина); концентрат соевого белка, глютен кукурузный и концентрат горохового белка — к среднебелковым компонентам (55–70%); шрот соевый — к низкобелковым (до 55%). Содержание жира, золы и фосфора в растительных компонентах значительно меньше, чем в рыбной муке. Наименьшее количество золы, фосфора и клетчатки отмечено в пшеничном и кукурузном глютене, тогда как в концентрате соевого белка и концентрате горохового белка эти показатели значительно выше, что объясняется химическим составом сырьевых источников и технологией производства. Наибольшими их значения были в соевом шроте. Ни в одном образце не было выявлено превышение нормы по активности уреазы (0,2 ед. рН), что свидетельствует о возможности усвоения растительных протеинов организмом рыб.

Таблица 2. Химический состав компонентов

Компонент	Содержание, %							Активность уреазы, ед. рН
	сырой протеин	сырой жир	влага	сырая зола	фосфор	сырая клетчатка	БЭВ	
Мука рыбная	70,82 ± 1,13	9,56 ± 1,05	4,63 ± 0,12	15,14 ± 0,08	2,25 ± 0,02	—	—	—
Концентрат соевого белка	64,29 ± 0,67	0,41 ± 0,01	7,41 ± 0,75	5,86 ± 0,18	1,09 ± 0,03	2,55 ± 0,07	19,30 ± 0,46	0,03 ± 0,01
Концентрат горохового белка	55,08 ± 0,18	2,40 ± 0,13	6,16 ± 0,02	5,40 ± 0,05	0,71 ± 0,02	2,49 ± 0,05	28,46 ± 0,27	0,04 ± 0,01
Шрот соевый	43,00 ± 0,02	1,35 ± 0,02	12,58 ± 0,04	5,66 ± 0,06	0,73 ± 0,02	3,93 ± 0,01	33,48 ± 0,11	0,05 ± 0,01
Глютен пшеничный	81,02 ± 0,22	0,95 ± 0,10	2,54 ± 0,67	0,61 ± 0,07	0,12 ± 0,01	0,12 ± 0,01	14,77 ± 0,48	0,10 ± 0,01
Глютен кукурузный	58,38 ± 1,13	1,52 ± 0,42	10,3 ± 0,3	1,39 ± 0,01	0,42 ± 0,01	2,25 ± 0,37	27,74 ± 0,41	0,03 ± 0,01

Таблица 3. Аминокислотный состав белков компонентов, %

Аминокислота	Рыбная мука	Концентрат соевого белка	Концентрат горохового белка	Шрот соевый	Глютен пшеничный	Глютен кукурузный
Аспарагиновая	6,90	6,36	6,36	3,45	2,15	2,94
Треонин	3,23	2,30	1,85	1,89	1,70	1,48
Серин	2,90	2,95	2,68	1,83	3,12	2,64
Глутаминовая	10,78	12,57	10,79	8,20	33,57	13,01
Глицин	4,15	2,44	2,24	2,33	2,42	1,41
Аланин	4,40	2,58	2,26	1,94	1,79	4,46
Цистин + цистеин	0,73	0,86	0,44	0,66	1,55	0,57
Валин	3,57	2,65	2,60	2,36	2,63	2,18
Метионин	2,43	0,74	0,36	0,73	1,04	0,86
Изолейцин	2,72	2,42	2,38	1,81	2,28	1,93
Лейцин	5,78	4,76	4,12	3,27	5,03	8,37
Тирозин	2,49	1,94	1,63	1,30	1,42	2,40
Фенилаланин	2,93	2,93	2,71	1,78	3,82	3,11
Гистидин	2,01	1,76	1,26	1,32	1,47	0,98
Лизин	6,21	3,93	4,24	2,53	1,10	0,92
Аргинин	4,87	4,43	4,91	2,58	2,27	1,55
Пролин	3,14	3,41	2,52	2,73	10,06	5,32
Триптофан	0,66	0,54	0,45	0,51	0,60	0,45
Сумма НАК	35,30	27,30	25,30	19,40	23,50	22,40
Сумма ЗАК	34,80	32,20	28,50	21,80	54,50	32,20
Сумма аминокислот	69,90	59,50	53,80	41,20	78,00	54,60

Исследуемые компоненты в рецептах комбикормов выступают в первую очередь как источники протеина, и для оценки его биологической ценности был исследован их аминокислотный состав. Анализ показал, что они содержат все заменимые и незаменимые аминокислоты (табл. 3). Белок в концентрате соевого белка, концентрате горохового белка и шроте соевом на 47% представлен незаменимыми аминокислотами, что сопоставимо с рыбной мукой (50%). В концентрате соевого белка и концентрате горохового белка основными лимитирующими аминокислотами являются метионин, лизин, гистидин, треонин. В пшеничном и кукурузном глютене доля не-

заменимых аминокислот по отношению к сырому протеину составляет соответственно 29,0 и 38,3%, что указывает на более низкое качество белка по сравнению с предыдущими компонентами. Основные лимитирующие аминокислоты в соевом шроте, пшеничном и кукурузном глютене — метионин, лизин, гистидин, треонин, аргинин.

Исследование качества комбикормов включало в себя анализ химического состава и структурно-механических показателей. Результаты представлены в таблице 4. В контрольном комбикорме содержалось 44,24% сырого протеина и 19,89% сырого жира, что соответствует физиологическим потребностям радужной форели данной возрастной группы

Таблица 4. Химический состав и структурно-механические показатели комбикормов

Показатель	Комбикорм						
	КР-0	КР-1	КР-2	КР-3	КР-4	КР-5	
Содержание, %	Сырой протеин	44,24 ± 0,02	50,24 ± 0,17	46,44 ± 0,07	46,27 ± 0,03	53,84 ± 0,05	49,12 ± 0,05
	Сырой жир	19,89 ± 0,04	14,35 ± 0,09	16,34 ± 0,43	15,42 ± 0,14	15,11 ± 0,02	15,38 ± 0,07
	Влага	4,48 ± 0,02	6,84 ± 0,06	7,27 ± 0,04	4,84 ± 0,07	6,29 ± 0,01	6,53 ± 0,08
	Зола	11,09 ± 0,02	9,77 ± 0,01	9,48 ± 0,03	10,37 ± 0,03	8,80 ± 0,01	8,35 ± 0,01
	Сырая клетчатка	0,60 ± 0,10	1,16 ± 0,08	0,94 ± 0,10	2,20 ± 0,15	0,24 ± 0,12	0,57 ± 0,15
	Фосфор	1,68 ± 0,01	1,53 ± 0,01	1,48 ± 0,01	1,52 ± 0,01	1,34 ± 0,01	1,40 ± 0,03
	БЭВ	19,71 ± 0,17	17,65 ± 0,11	19,53 ± 0,06	20,91 ± 0,11	15,73 ± 0,03	20,07 ± 0,14
	Валовая энергия, МДж/кг	21,82 ± 0,02	20,79 ± 0,06	20,97 ± 0,12	21,01 ± 0,02	21,46 ± 0,05	21,25 ± 0,04
Водостойкость, мин	Более 120	Более 120	Более 120	Более 120	Более 120	Более 120	
Крошимость, %	1,6	1,4	0,1	1,4	0,4	1,0	
Насыпная плотность, г/мл	630	680	760	670	680	650	

в питательных веществах и энергии. По сравнению с ним в опытных комбикормах КР-1, КР-4 и КР-5 значительно увеличилось количество сырого протеина — до 49–53% и снизился уровень сырого жира до 14–15%, что связано с вводом концентрата соевого белка, пшеничного и кукурузного глютенов, в которых сырого протеина было более 58%, сырого жира — менее 1,5%. В комбикормах КР-2 и КР-3 количество сырого протеина увеличилось до 46%, а сырого жира снизилось до 15%, что обусловлено низкими уровнями белка и жира в концентрате горохового белка и соевом шроте. Наибольшее содержание золы и клетчатки зарегистрировано в комбикорме КР-3, что объясняется применением соевого шрота, являющегося критическим для комбикормов, используемых в УЗВ. Реологические показатели свидетельствуют о наименьшей крошимости (не более 1%) образцов комбикорма, в составе которого были концентрат горохового белка, пшеничный и кукурузный глутены, что объясняется структурными особенностями их углеводной и белковой составляющих. Наибольшее значение насыпной плотности выявлено у комбикормов с концентратом горохового белка, что указывает на хорошие связывающие свойства этого компонента.

Кормовая ценность компонентов характеризуется не только питательностью и сбалансированностью, но и не менее важным показателем, таким как переваримость, которая отражает биодоступность питательных веществ под воздействием ферментов пищеварительной системы рыбы. Результаты определения переваримости растительных компонентов, комбикормов с их добавлением, нутриентов, полученные *in vitro* с применением фермента пепсина и *in vivo* на молоди радужной форели, представлены в таблице 5. Из ее данных по переваримости *in vitro* видно, что уровень растворимого протеина в растительных компонентах и комбикормах составляет более 94%, что

свидетельствует о его высокой биодоступности. Наибольшей переваримостью *in vitro* обладает глютен пшеничный, это обусловлено технологией его изготовления, обеспечивающей снижение антипитательных веществ и повышение растворимости белка. В компонентах, произведенных из бобовых культур (концентрат соевого белка, концентрат горохового белка, соевый шрот), уровень переваримости общей и протеина был ниже на 3–5%, чем в пшеничном глютене, ввиду возможного влияния антипитательных веществ, блокирующих доступность нутриентов. Самую низкую переваримость имел глютен кукурузный, что может быть связано с его реологическими свойствами, а именно с плотной структурой, которая препятствует процессу гидролиза.

Результаты исследований *in vivo* подтвердили, что комбикорм с пшеничным глютеном отличался наилучшей общей переваримостью и переваримостью протеина — 96,14% и 98,39%, соответственно. В остальных комбикормах она была ниже на 6–17%, а протеина — на 2–5%. Наихудшие значения показателя выявлены в комбикорме со шротом соевым: общая — 78,42%, протеина — 93,14%. Переваримость жира во всех комбикормах — более 96%, золы — более 43%.

Среди компонентов наилучшие результаты *in vivo* продемонстрировал глютен пшеничный: общая переваримость составила 98,83%, переваримость протеина — 99,13%. У концентрата соевого белка — 77,32 и 93,90%, концентрата горохового белка — 74,58 и 90,89%, шрота соевого — 58,27 и 88,21%, глютена кукурузного — 92,70 и 97,61%, соответственно. Самая высокая переваримость жира зарегистрирована для глютена пшеничного — 99,23%, самая низкая — для концентрата соевого белка (70,10%). Наибольшие значения переваримости золы фиксировались в глютене пшеничном, наименьшие — в шроте соевом.

Таблица 5. Переваримость растительных компонентов, комбикормов с их вводом, нутриентов *in vitro* и *in vivo*

Компонент, комбикорм	<i>In vitro</i>		<i>In vivo</i>					
	Переваримость, %							
	общая	протеина	общая	протеина	жира	клетчатки	золы	фосфора
Рыбная мука	93,03	95,07	—	—	—	—	—	—
Концентрат соевого белка	86,10	95,35	83,16	88,90	70,10	0,93	30,20	21,34
Концентрат горохового белка	83,99	95,75	74,58	91,89	83,59	0,78	6,80	2,11
Шрот соевый	84,95	94,92	58,27	86,21	59,97	0,68	3,09	0,32
Глютен пшеничный	89,26	98,99	98,83	99,13	99,23	1,67	98,78	99,80
Глютен кукурузный	73,35	93,25	92,70	95,61	80,61	1,73	56,14	74,04
КР-0	80,40	95,22	85,57	93,10	96,01	2,30	59,60	58,88
КР-1	84,18	95,19	84,14	94,80	97,88	1,31	54,20	48,25
КР-2	84,13	95,54	83,31	93,80	97,86	0,92	46,47	46,12
КР-3	83,17	94,89	78,42	93,14	97,42	0,73	43,82	41,86
КР-4	86,04	97,20	96,14	98,39	99,41	1,82	81,29	80,38
КР-5	80,10	95,24	90,84	96,22	98,01	1,91	59,57	63,16

Наибольшее количество фосфора (около 1%), относительно его общего содержания, переваривалось в комбикормах контрольном и с пшеничным глютенем. При этом относительная переваримость фосфора в образцах различалась в 1,5 раза и составляла 80,38 и 58,88%, соответственно (рис. 2).

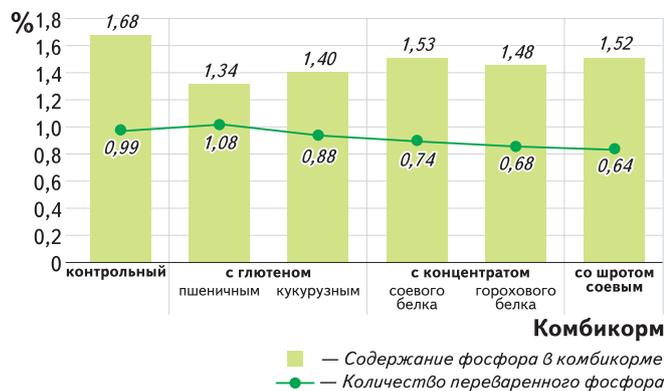


Рис. 2. Переваримость фосфора в комбикормах

Такая разница может означать, что 1% переваренного фосфора в рационе является физиологическим максимумом у радужной форели, что подтверждается литературными данными [7]. В комбикормах с концентратом соевого белка, концентратом горохового белка, шротом соевым и глютенем кукурузным переваримость фосфора составляла соответственно 21,34%, 2,11%, 0,32% и 74,04%; количество переваренного фосфора варьировало от 0,64% до 0,88%. В этом случае плохо переваримые соединения фосфора, представленные в основном фитатными комплексами, по всей видимости, ингибировали переваривание доступных форм фосфора в других компонентах комбикормов.

ВЫВОДЫ

В комплексных исследованиях установлено, что глютен пшеничный обладает более высокой переваримостью как *in vitro* (89,26%), так и *in vivo* (98,83%), с переваримостью протеина 99,13%. Вследствие этого, данный компонент рекомендуется в качестве приоритетного источника растительного белка в составе комбикормов для радужной форели. Концентраты соевого и горохового белков, соевый шрот показали более низкую переваримость *in vivo* (58–83%) по сравнению с *in vitro* (84–85%), что свидетельствует о возможном наличии антипитательных веществ, блокирующих доступность нутриентов. Переваримость фосфора в этих компонентах составила 0,32–21,34%, что указывает на негативное влияние фитатных комплексов, ингибирующих переваривание доступных форм фосфора. Наилучшими связывающими свойствами обладал концентрат горохового белка, что делает его полноценным и перспективным компонентом комбикормов для использования в УЗВ.

Литература/Literature

1. Артемов, Р. В. Альтернативные источники протеина в комбикормах для объектов аквакультуры / Р. В. Артемов, В. В. Гершунская, М. В. Арнаутов, Т. Н. Усков, И. А. Кырова // Состояние и пути развития аквакультуры в Российской Федерации: материалы VI национальной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 06–07 сентября 2021 года. — Саратов: Амирит, 2021. — С. 18–22.
2. Итоги деятельности Федерального агентства по рыболовству в 2024 году и задачи на 2025 год [Электронный ресурс]. — https://fish.gov.ru/wp-content/uploads/2025/04/sbornik_25.03.25.pdf.
3. Пахомов, В. И. Состояние и перспективы использования растительного сырья в кормах для аквакультуры (обзор) / В. И. Пахомов, В. Ф. Хлыстунов, С. В. Брагинцев, О. Н. Бахчевников // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. — 2022. — Т. 23, № 3. — С. 281–294. — DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.3.281-294.
4. Первый российский завод по глубокой переработке гороха // Комбикорма. — 2019. — № 2. — С. 32–33.
5. Толмачев, В. А. Перспективы применения концентрата горохового белка в комбикормах для радужной форели / В. А. Толмачев, М. В. Арнаутов, В. В. Гершунская, А. В. Жигин // Рыбоводственная наука в XXI веке: ключевые направления развития: III Международная научно-практическая конференция и V Школа молодых ученых и специалистов, Москва, 07–10 апреля 2025 года. — Москва: ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», 2025. — С. 568–573.
6. Bureau, D. P. Apparent digestibility of rendered animal protein ingredients for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) / D. P. Bureau, A. M. Harris, C. Y. Cho // Aquaculture. — 1999. — Т. 180. — № 3–4. — С. 345–358.
7. Satoh, S. Comparison of phosphorus retention efficiency between rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed a commercial diet and a low fish meal based diet / S. Satoh, A. Hernández, T. Tokoro, Y. Morishita, V. Kiron, T. Watanabe // Aquaculture. — 2003. — Т. 224. — № 1–4. — С. 271–282.
8. Davies, S. J. Partial substitution of fish meal and full-fat soya bean meal with wheat gluten and influence of lysine supplementation in diets for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) / S. J. Davies, P. C. Morris, R. T. M. Baker // Aquaculture Research. — 1997. — Т. 28. — № 5. — С. 317–328.
9. Stone, D. Effects of extrusion on nutritional value of diets containing corn gluten meal and corn distiller's dried grain for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* / D. Stone, R. Hardy, F. Barrows, Z. Cheng // Journal of Applied Aquaculture. — 2005. — Т. 17. — № 3. — С. 1–20.
10. Glencross, B. Evaluation of the digestible value of lupin and soybean protein concentrates and isolates when fed to rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, using either stripping or settlement faecal collection methods / B. Glencross, D. Evans, K. Dods, P. McCafferty, W. Hawkins, R. Maas, S. Sipsas // Aquaculture. — 2005. — Т. 245. — № 1–4. — С. 211–220.
11. Gatlin, D.M. III. Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review / D.M. III Gatlin, F.T. Barrows, P. Brawn, K. Dabrowski, G. Gaylor, R.W. Hardy, E. Herman, G. Hu, Å. Krogdahl, R. Nelson, K. Overturf, M. Rust, W. Sealey, D. Skonberg, E. J. Souza, D. Stone, R. Wilson, E. Wurtele // Aquaculture research. — 2007. — Т. 38. — № 6. — С. 551–579.
12. Furukawa, A. On the acid digestion method for the determination of chromic oxide as an index substance in the study of digestibility of fish feed / A. Furukawa, H. Tsukahara // Bulletin of the Japanese Society of scientific fisheries. — 1966. — Т. 32. — № 6. — С. 502–508.
13. Mirzakhani, M. K. Prediction of apparent protein digestibility by *in vitro* pH-stat degree of protein hydrolysis with species-specific enzymes for Siberian sturgeon (*Acipenser baeri*, Brandt 1869) / M. K. Mirzakhani, A. A. Kenari, A. Motamedzadegan // Aquaculture. — 2018. — Т. 496. — С. 73–78.
14. Øverland, M. Pea protein concentrate substituting fish meal or soybean meal in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*)—Effect on growth performance, nutrient digestibility, carcass composition, gut health, and physical feed quality / M. Øverland, M. Sørensen, T. Storebakken, M. Penn, Å. Krogdahl, A. Skrede // Aquaculture. — 2009. — Volume 288, Issues 3–4, pp. 305–311.
15. Tibbetts, S. M. Apparent protein and energy digestibility of common and alternative feed ingredients by Atlantic cod, *Gadus morhua* (Linnaeus, 1758) / S. M. Tibbetts, J. E. Milley, S. P. Lall // Aquaculture. — 2006. — Т. 261. — № 4. — С. 1314–1327. ■