

Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 4. С. 292-309.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2025. Vol. 108. No. 4. P. 292-309.

Научная статья
УДК 639.3.043
doi:10.33284/2658-3135-108-4-292

**Физиологический статус и биолого-продуктивные показатели радужной форели
при корректировке рационов люпином узколистным**

Николай Васильевич Гапонов¹

¹Всероссийский НИИ люпина-филиал Федерального научного центра «ВИК им. В.Р. Вильямса»,
Мичуринский, Брянская область, Россия
¹nv.1000@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5086-7943>

Аннотация. В данной работе представлены итоги изучения влияния экструдированного узколистного люпина (*Lupinus angustifolius L.*) – как нативного, так и без оболочки – в составе полнорационного комбикорма на рыбоводные показатели, биохимические параметры крови и рентабельность производства радужной форели. Выявлено, что включение узколистного люпина в рецептуру комбикормов позволяет полностью или частично заменить дорогостоящие протеиновые компоненты животного и растительного происхождения в рационе кормления радужной форели. В экспериментальных группах среднесуточный прирост форели оказался выше, чем в контрольной: во 2 опытной группе – на 5,54 %, в 3 – на 10,98 %, а в 4 – на 20,88 %. Кроме того, зафиксировано снижение расхода кормов и питательных веществ, необходимых для получения единицы продукции. Во 2 группе кормовые затраты сократились на 1,67 %, в 3 – на 1,92 %, а в 4 – на 7,17 % по сравнению с контролем. Подобное уменьшение проявилось и в расходах обменной энергии: во 2, 3 и 4 группах снижение составило 1,89 %, 1,92 % и 7,17 % соответственно. Во 2 группе расход протеина уменьшился на 1,37 %, в 3 – на 1,54 %, а в 4 – на 4,69 %. Исследование биомаркеров продемонстрировало рост активности ферментов в крови подопытных групп, при этом показатели не выходили за границы физиологических значений, что свидетельствовало об активном росте тела форели и сбалансированности рациона. Согласно экономическому анализу, в экспериментальных группах наблюдался рост дополнительной прибыли: во 2 группе он составил 1047 руб., в 3 – 1945 руб., а в 4 группе – 3657 руб. Параллельно с этим увеличилась прибыльность производства форели: в этих группах этот показатель улучшился на 12 %, 23 % и 44 % соответственно.

Ключевые слова: радужная форель, биомаркер, аминотрансфераза, фермент, переаминирование, люпин узколистный, декортикация

Для цитирования: Гапонов Н.В. Физиологический статус и биолого-продуктивные показатели радужной форели при корректировке рационов люпином узколистным // Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 4. С. 292-309. [Gaponov NV. Physiological status and biological and productive indicators of rainbow trout after adjusted diets with narrow-leaved lupine. Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(4):292-309. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-4-292>

Original article

Physiological status and biological and productive indicators of rainbow trout after adjusted diets with narrow-leaved lupine

Nikolay V Gaponov¹

¹All-Russian Scientific Research Institute of Lupine – branch of the Federal Williams Research Center of Forage Production & Agroecology, Michurinskiy, Bryansk region, Russia

¹nv.1000@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5086-7943>

Abstract. This paper presents the results of a study of the effect of extruded narrow-leaf lupine (*Lupinus angustifolius L.*), both native and shell-free, as part of a complete compound feed on fish-breeding indices, blood biochemical parameters, and the profitability of rainbow trout production. It has

been revealed that the inclusion of narrow-leaved lupine in the formula of compound feeds makes it possible to completely or partially replace expensive protein components of animal and plant origin in the feeding diets of rainbow trout. As a result, the experimental groups showed an increase in the average daily growth of trout compared to the control group: in the 2nd experimental group – by 5.54%, in the 3rd group – by 10.98%, and in the 4th group – by 20.88%. In addition, a decrease in the consumption of feed and nutrients required to obtain a unit of output was recorded. In the 2nd experimental group, feed costs decreased by 1.67%, in the 3rd group – by 1.92%, and in the 4th group – by 7.17% compared with the control group. A similar trend was observed with regard to exchange energy costs: in groups 2, 3 and 4, the decrease was 1.89%, 1.92% and 7.17%, respectively. Protein consumption decreased by 1.37% in group 2, by 1.54% in group 3, and by 4.69% in group 4. Biomarker analysis demonstrated an increase in enzyme activity in the blood of the experimental groups, while the indicators remained within physiological limits, indicating active trout body growth and a balanced diet. According to the economic analysis, an increase in additional profit was observed in the experimental groups: 1,047 rubles in Group 2, 1,945 rubles in Group 3, and 3,657 rubles in Group 4. At the same time, trout production profitability increased: in these groups, this indicator improved by 12%, 23%, and 44%, respectively.

Keywords: rainbow trout, biomarker, aminotransferase, enzyme, transamination, narrow-leaved lupine, decortication

For citation: Gaponov NV. Physiological status and biological and productive indicators of rainbow trout after adjusted diets with narrow-leaved lupine. *Animal Husbandry and Fodder Production.* 2025;108(4):292-309. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-4-292>

Введение.

В России форелеводство обладает значительным потенциалом для становления одним из передовых направлений аквакультуры благодаря ряду благоприятных факторов. Подземные водные ресурсы страны оцениваются в 0,8-1,0 тыс. км³ в год, при этом лишь незначительная часть (7 %) используется в промышленности и сельском хозяйстве. Рациональное использование этих водных запасов может значительно увеличить объемы производства радужной форели. В аквакультуре, наряду с традиционными методами выращивания, важное место занимают интенсивные технологии, где ключевым аспектом является организация полноценного кормления (Гатаулина Е.А. и Шишкина Е.А., 2025; Иньшин О.В. и др., 2024).

При интенсивном выращивании полноценное и сбалансированное кормление рыб приобретает первостепенное значение. Несбалансированность рационов кормления радужной форели по белку приводит к значительному перерасходу кормов, недобору рыбоводческой продукции, ее удорожанию, повышению себестоимости и снижению рентабельности производства (Щербина М.А., 1983; Урсу Р.В. и др., 2022; Мингазова М.С. и др., 2025).

В течение последних десяти лет отмечается тенденция к удорожанию традиционных компонентов, используемых в производстве кормов для форели, а также усиление зависимости от импортных поставок сои. Наиболее ощутимо дорожают компоненты с высоким содержанием белка. С целью уменьшения затрат на производство кормов, предлагается частично заменять основные и дорогостоящие составляющие (например, рыбную муку и животные жиры) на альтернативные протеины, полученные из растений. В связи с этим все более актуальным становится увеличение производства высококачественного фуражного зерна, характеризующегося повышенным содержанием белка и оптимальным аминокислотным составом. С экономической и хозяйственной точек зрения, зерно люпина узколистного (*Lupinus angustifolius L.*) в наибольшей степени отвечает этим требованиям, так как в зависимости от сорта содержит 32-40 % белка с оптимальным набором аминокислот. Помимо высокого содержания протеина, узколистный люпин без оболочки отличается наличием жира (6-8 %), а также низким содержанием крахмала и клетчатки (3 %). Благодаря этим свойствам, очищенный от оболочки люпин может успешно применяться в производстве комбикормов для аквакультуры, способствуя получению высококачественной продукции (Агеева П.А. и Почутина Н.А., 2025; Shitikova AV et al., 2024).

Растительные протеины, содержащиеся в декортикованном люпине узколистном, могут служить экономически целесообразной альтернативой животному белку, несмотря на то, что не являются естественным кормом для радужной форели. Однако эффективность рыбоводства напрямую связана с использованием экономически выгодных кормов для всех возрастных групп радужной форели, а также с решением технических вопросов, связанных с удалением оболочки люпина и предварительной баротермической обработкой кормов, созданных на его основе. Исследования на различных видах животных показали, что использование экструдированных компонентов в комби-кормах способствует увеличению среднесуточного прироста у моногастрических животных на 18.6 % (Агеева П.А. и др., 2023; Гатаулина Г.Г. и др., 2023; Агеева П.А. и др., 2024;).

Производство экструдированных кормов обеспечивает их ячеистой структурой, формирующейся в результате быстрого удаления влаги из подготовленной смеси. Благодаря обработке под давлением и воздействию высоких температур белки подвергаются денатурации, крахмал трансформируется в декстрины, происходит разрушение клетчатки, а также полная стерилизация экструдата. Экструдированные частицы отличаются повышенной прочностью, превосходя гранулы, что существенно снижает их склонность к крошению и образованию отходов (менее 1 %). Для сравнения у гранулированных аналогов этот показатель варьируется от 5 до 8 %, а в российских условиях может превышать 10 %. Использование экструдированных кормов позволяет сократить количество мелкодисперсных частиц, попадающих в водную среду при кормлении рыб, на 75 %, тем самым минимизируя загрязнение. Кроме того, они демонстрируют улучшенную устойчивость к воде, сохраняя свою целостность и структуру на протяжении суток, в то время как гранулированные корма теряют свои свойства уже через 4 часа (Гапонов Н.В., 2025а,б; Щербина М.А. и др., 1996).

Цель исследования.

Определить влияние экструдированного люпина узколистного (*Lupinus angustifolius L.*) с оболочкой и без нее в составе полнорационного комбикурма на характеристики крови (биомаркеры и биохимические показатели), рыбоводные параметры продуктивности и рентабельность выращивания радужной форели.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Особи радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) породы Адлер.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями нормативных актов: протоколы Женевской конвенции и принципы надлежащей лабораторной практики (Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 53434-2009). При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов.

Схема эксперимента. В 2025 году на территории Очамчирского района, Республика Абхазия, на базе ООО «Эко Вера» было проведено научное исследование, целью которого являлось оценка влияния узколистного люпина (*Lupinus angustifolius L.*) в различных формах (нативный и без оболочки) на биохимические показатели крови, динамику роста и экономические показатели производства радужной форели.

Для постановки научно-хозяйственного эксперимента отобрали молодь радужной форели средней массы (около 65 грамм) и разделили на четыре группы: контрольную и три экспериментальные, насчитывавшие по 150 особей в каждой.

Контрольной группе применяли экструдированный полнорационный комбикурм, используемый в форелеводческом хозяйстве для промышленного разведения рыбы, а в рационы экспериментальных групп включали люпин узколистный как с оболочкой, так и без оболочки, с целью замещения частично или в полном объеме высокобелковых компонентов животного и растительного происхождения. Период проведения эксперимента составил 16 недель. В течение всего периода исследования радужную форель кормили четырежды в день, в светлое время суток, соблюдая одинаковые промежутки между приемами пищи. Для кормления использовали полноценный экструд-

дированный комбикорм с гранулами, соответствующими размеру рыбы. Состав и питательная ценность корма были адаптированы к возрасту выращиваемой рыбы. Суточная норма корма определялась по общепринятой методике, с учетом температуры воды и веса рыбы (Пономарев С.В., 2013).

Затраты корма рассчитывали в целом за опыт, как отношение количества корма, внесенного в рыбоводную емкость к единице прироста массы (Щербина М.А. и Гамыгин Е.А., 2006).

$$3 = \frac{E_b}{R} \quad (1),$$

где E_b – количество вносимого корма, кг;

R – полученная продукция, кг.

Еженедельно проводили исследования темпов роста и развития радужной форели на основании результатов контрольных обловов. Не менее 10 экземпляров подвергали взвешиванию на электронных весах.

Для характеристики интенсивности роста использовались показатели абсолютного, относительного и среднесуточного приростов (Щербина М.А. и Гамыгин Е.А., 2006).

Абсолютный прирост рассчитывался по разности между начальной и конечной массой рыбы за период.

Относительный прирост рассчитывался по формуле:

$$M = \frac{M_n - M_0}{M_0} \cdot 100 \% \quad (2),$$

где M_0, M_n – средняя масса рыбы в начале и конце периода соответственно.

Среднесуточный прирост или удельная скорость роста (C_w) рассчитывалась по формуле:

$$C_w = \frac{2(M_n - M_0)}{(M_0 + M_n)t} \cdot 100 \% \quad (3),$$

где t – продолжительность периода в сутках.

Коэффициент упитанности определялся по формуле Т. Фультона:

$$K_y = \frac{M}{L^3} \cdot 100 \% \quad (4),$$

где M – масса рыбы, г;

L – длина рыбы по Смитту Ф.А. (Smitt FA, 1886).

Ежедневно контролировали, как поедается корм и выживаемость рыбы. Объем корма, который давали форели, корректировали каждые две недели. Это было нужно, потому что на объем подачи корма и, следовательно, на то, сколько рыба потребляет комбикорма, влияли факторы, такие как температура воды, уровень кислорода в ней и плотность посадки радужной форели. Таким образом, изменения в рационе происходили с учетом изменяющихся условий, в которых содержалась экспериментальная форель.

В качестве контроля использовался стандартный полнорационный тонущий экструдированный полнорационный комбикорм. Мальки из 3 экспериментальных групп получали аналогичный корм, однако с заменой части высокобелковых ингредиентов, как растительного, так и животного происхождения, на люпин узколистный нативный и без оболочки (декортинированный) (табл. 1).

В начале и по завершении опытов были выполнены гидрохимические анализы, опираясь на стандартные для аквакультуры методы. Забор образцов воды осуществлялся с поверхности. Анализ характеристик и компонентов воды был произведен в аккредитованной лаборатории ООО «МГУЛАБ» (г. Москва).

Сопоставление полученных данных анализа воды с рыбохозяйственными предельно допустимыми концентрациями (ПДК) осуществлялось согласно общепринятому стандарту ОСТ 15.312.87.

Таблица 1. Схема научного опыта
Table 1. Experimental design

Группа / Group	Количество особей в опыте / Number of fish in the experiment	Условия кормления / Feeding conditions
1 контрольная / 1 control	150	Основной рацион (ОР) / Basic ration (BR).
2 опытная / 2 experimental	150	ОР – содержание люпина 9 %. Замещены на нативный люпин: мука рыбная – на 5%, жмых соевый – на 2 %, жмых подсолнечника – на 1 %, кукуруза – на 1 %. / (BR) – lupin is native to 9%. Replaced with native lupine: fish meal by 5%, soybean meal by 2%, sunflower meal by 1%, corn by 1%.
3 опытная / 3 experimental	150	ОР – содержание люпина 21 %. Замещены на люпин без оболочки: мука рыбная – на 9 %, жмых соевый – на 6 %, кукуруза – на 4 % и жмых подсолнечника – на 2 %. / (BR) – the content of lupine is 21%. They were replaced with lupine without a shell: fish meal by 9%, soy cake by 6%, corn by 4% and sunflower cake by 2%.
4 опытная / 4 experimental	150	ОР – содержание люпина 26 %. Замещены на люпин без оболочки: рыбная мука – на 14 %, соевый жмых – на 8 %, жмых подсолнечника – на 2 %, кукуруза – на 5 %. / (BR) – the lupine content is 26%. Replaced with lupine without shell: fish meal by 14%, soy cake by 8%, sunflower cake by 2%, corn by 5%.

В конце эксперимента кровь для анализа у форели брали из сердца у 10 особей из каждой группы. Биохимические параметры крови определялись в лаборатории в конце исследования на автоматическом биохимическом и иммуноферментном анализаторе ChemWell 2910V (Combi).

Оборудование и технические средства. Биохимический анализ состава люпина узколистного сорта Витязь, компонентов рациона и комбикорма проводился на начальном этапе исследования с использованием методик зоотехнического анализа в Всероссийском НИИ люпина-филиал ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса», п. Мичуринский.

Первоначальную влагу определяли по ГОСТ Р 57059-2016, сырую клетчатку – по ГОСТ 31675-2012, сырую золу – по ГОСТ 26226-95, сырой жир – по обезжиренному остатку ГОСТ 13496.15-2016, протеин – по ГОСТ 13496.4-2019, кальций – оксалатным методом ГОСТ 26570-95, фосфор – колориметрическим методом – по ГОСТ 26657-97, безазотистые экстрактивные вещества (БЭВ) – расчетным методом.

Определение остальных макро- и микроэлементов, аминокислот и витаминов, не поддающихся определению стандартными методами, выполнялось в Всероссийском НИИ люпина-филиал ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса», п. Мичуринский, на автоматизированном жидкостном хроматографе Agilent 1100 (США) и спектральном анализаторе ИНФРАСКАН-М, модификация 4200 (ООО «ЭКАН», Санкт-Петербург).

Содержание алкалоидов в люпине узколистном (*Lupinus angustifolius L.*) определялось в лаборатории физиологии растений ВНИИ люпина - филиала ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса» (г. Брянск).

Чтобы уменьшить содержание клетчатки в узколистном люпине, была применена процедура декортиказии (снятия внешней оболочки) на дисковой центробежной шелушильной установке ДШЛ-500д, изготовленной компанией ООО «Агропродмаш».

Статистическая обработка. Полученные результаты обрабатывались статистически с использованием программы «GraphPad Prism 8.0» (США) и представлялись в виде средних арифметических значений и их стандартных ошибок. Статистическая значимость различий оценивалась с помощью однофакторного дисперсионного анализа с последующими апостериорными поправками на множественные сравнения по методам Тьюки и Сидака. Уровень статистической значимости был установлен на $P \leq 0,05$.

Результаты исследования.

При разработке рецептов полнорационных комбикормов, сбалансированных по основным питательным веществам органической и неорганической природы, были выполнены и соблюдены требования физиолого-биохимических исследований и норм кормления. Оптимизация рациона с учетом биологических потребностей форели обеспечивает наилучшие показатели роста при экономическом расходовании кормов и высокой выживаемости, что в свою очередь раскрывает заложенный в ней генетический потенциал продуктивности в полной мере. Таким образом, были созданы опытные полнорационные комбикорма, более сбалансированные и питательно полноценные. Питательность полнорационных комбикормов для форели представлена в таблице 2.

Таблица 2. Питательность полнорационных комбикормов для форели
Table 2. Nutritional value of complete feed for trout

Показатели/ Indicators	1 контрольная Полнорационный комби- корм, (ПК) / 1 control Complete food, (CF)	2 опытная ПК Люпин с оболочкой - 9 % / 2 experi- mental (CF) Lupin with- Shell - 9%	3 опытная ПК Люпин без обо- лочки - 21 % / 3 experimental (CF) Lupin with- out shell - 21%	4 опытная ПК Люпин без обо- лочки - 26 % / 4 experimental (CF) Lupin with- out shell - 26%
	1	2	3	4
ЭКЕ/ EFU	1,33	1,31	1,32	1,32
ОЭ, МДж/ ME, MJ	13,32	13,10	13,27	13,24
Сухое вещество, г/ Dry matter, g	869,50	871,00	871,50	870,0
Сырой протеин, г/ Crude protein, g	418,53	408,01	420,54	413,53
Лизин, г/ Lysin, g	42,42	37,73	25,17	22,82
Метионин+цистин, г/ <i>Methionine+cystine, g</i>	15,84	14,30	15,27	14,40
Триптофан, г/ Tryptophan, g	5,27	4,90	4,90	4,72
Сырой жир г/ Crude fat, g	38,24	36,22	34,71	32,90
Сырая клетчатка, г/ Crude fiber, g	34,69	32,15	28,17	27,94
Крахмал, г/ Starch, g	158,82	160,98	214,42	250,06
Сахар, г/ Sugar, g	89,16	78,79	89,21	109,01
Кальций, г/ Calcium, g	32,79	28,99	26,68	24,12
Фосфор, г/ Phosphorus, g	19,28	17,24	15,98	14,20
Магний, г/ Magnesium, g	3,70	3,71	3,24	3,15
Калий, г/ Potassium, g	11,85	11,10	11,38	10,64
Сера, г/ Sulfur, g	3,69	3,42	3,03	2,89

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5
Железо, мг/ Iron, mg	118,78	111,16	102,50	94,56
Медь, мг/ Copper, mg	17,20	15,41	15,05	15,66
Цинк, мг/ Zinc, mg	61,39	57,72	56,58	52,17
Марганец, мг/ Manganese, mg	24,92	25,49	21,86	21,27
Кобальт, мг/ Cobalt, mg	5,67	5,30	5,67	7,52
Йод, мг/ Iodine, mg	1,25	1,12	1,03	0,90
Каротин, мг/ Carotene, mg	0,66	0,64	0,70	0,70
Витамин А, МЕ/ Vitamin A, IU	0,13	0,11	0,13	0,17
Витамин Д, МЕ/ Vitamin D, IU	34,47	30,76	27,14	23,20
Витамин Е, мг/ Vitamin E, mg	13,55	12,33	15,59	15,25
B1, мг/ B1, mg	4,21	3,82	4,50	4,96
B2, мг/ B2, mg	4,06	3,64	3,78	3,71
B3, мг/ B3, mg	11,47	10,49	11,64	11,17
B4, мг/ B4, mg	502,44	442,07	740,11	793,31
B5, мг/ B5, mg	185,99	156,53	173,85	209,17
B12, мкг/ B12, mg	118,10	104,05	94,70	83,80

В комбикорме 1 контрольной группы входили корма с высоким содержанием протеина как растительного, так и животного происхождения. Содержание соевого жмыха составляло 18 %, подсолнечного – 12 %, кукурузы – 13 %, пшеницы – 12 %. Рыбная мука (с содержанием белка 60-65 %) применялась как источник животного белка в количестве 43 %. Содержание витаминов, микро- и макроэлементов, а также кальция и фосфора было сбалансировано путем добавления трикальцийфосфата (1 %) и премикса П-5-1 (1 %) в соответствии с рекомендациями.

При разработке экспериментальных комбикормов с использованием узколистного люпина применялись те же компоненты, что и в контрольном образце: соевый жмых, подсолнечный жмых, кукуруза, пшеница, рыбная мука, премикс П-5-1 и трикальцийфосфат. Рецептуры экспериментальных и контрольного комбикормов были сбалансированы по основным питательным веществам, общей питательности, минералам, протеину и обменной энергии. Учитывался аминокислотный состав кормов. Для балансировки рецептур по макро- и микроэлементам, а также витаминам использовались премикс П-5-1 и трикальцийфосфат. При создании экспериментальных рецептов внимание уделялось частичной замене наиболее дорогостоящих высокопротеиновых кормов (рыбной муки и соевого жмыха) на узколистный люпин.

В рационе 2 экспериментальной группы присутствовало: 9 % люпина узколистного в оболочке, 38 % рыбной муки, 16 % соевого жмыха, 11 % подсолнечного жмыха, 12 % кукурузы, 12 % пшеницы, 1 % трикальцийфосфата и 1 % витаминно-минеральной добавки. Включение люпина с оболочкой незначительно увеличило долю клетчатки, однако её уровень оставался в допустимых пределах (не более 3 %).

Рацион 3 группы включал 21 % люпина узколистного без оболочки, 34 % рыбной муки, 12 % соевого жмыха, 10 % подсолнечного жмыха, 9 % кукурузы, 12 % пшеницы, 1 % трикальцийфосфата и 1 % премикса. Уровень клетчатки в данном корме также не превышал установленных норм.

В составе рациона 4 экспериментальной группы было: 26 % люпина без оболочки. Помимо этого, в состав входили: 29 % рыбной муки, 10 % соевого жмыха, 10 % подсолнечного жмыха, 7 % кукурузы, 16 % пшеницы, 1 % трикальцийфосфата и 1 % премикса. Низкое содержание клетчатки в люпине без оболочки позволило увеличить долю пшеницы, что положительно сказалось на себестоимости комбикорма, не снижая его питательную ценность, поскольку фуражная пшеница является самым дешевым компонентом комбикорма.

Физико-химические параметры водной среды играют решающую роль в эффективности разведения рыб, поскольку все их жизненно важные процессы напрямую зависят от состояния воды. Поэтому состав воды должен соответствовать требованиям ОСТ 15.372.87 «Охрана природы. Гидросфера. Вода для рыбоводных хозяйств. Общие требования и нормы», обеспечивающим поддержание физиологического статуса, способность к размножению, здоровье потомства, раскрытие продуктивного потенциала и предупреждение возникновения инфекций.

Температурный режим воды играет важную роль в развитии рыбы. Оптимальной для усвоения корма радужной форелью является температура от +10 до +14 °C, в то время как наиболее быстрый прирост массы достигается в диапазоне +16...+18 °C. Однако при этом эффективность использования питательных веществ снижается. Оптимальной средой для обитания форели считается вода с нейтральной или слабощелочной реакцией (pH 78). Форель может выживать в диапазоне pH от 5,5 до 9,2 и даже при pH 4,7, но при pH ниже 5,6 нормальное размножение, как правило, невозможно. Кислая среда негативно влияет на молодь, а среда с pH 9 и выше приводит к гибели рыбы. Среди других важных показателей качества воды, влияющих на жизнедеятельность форели, следует выделить уровень углекислоты, хлоридов, нитритов и жесткость воды. Оптимальная концентрация углекислоты в воде для форели составляет 40-60 мг/л. При ее снижении наблюдается угнетение дыхания (аритмия), а при повышении – нарушение координации и плавание на боку. Содержание солей аммония (NH_4^+) не должно превышать 5,0 мг/л. Хлорид аммония безопасен для рыб. Считается, что избыток хлоридов в воде способен объединяться с нитритами – соединениями, образующимися в процессе обмена веществ и негативно влияющими на рост и жизнеспособность рыбы. Уровень нитритов и азота в 0,55 мг/л, в обычных условиях приводит к гибели рыбы (табл. 3).

Таблица 3. Результаты гидрохимического анализа вод ($X \pm Se$)
Table 3. Results of hydrochemical analysis of water ($X \pm Se$)

Показатели качества воды/ <i>Water quality indicators</i>	Результат анализа/ <i>The result of the analysis</i>	Норматив по ОСТ 15 372-87/ <i>Standard for OST 15 372-87</i>
Жесткость Водородный показатель, pH/ <i>Hardness Hydrogen index, pH</i>	6,16±0,20	6,5-9,0
Азот аммонийный, мг NH_4^+ /л/ <i>Ammonium nitrogen, mg NH4+ /l</i>	0,1±0,01	0,5
Нитриты, мг NO_2^- /л/ <i>Nitrates, mg NO2 -/l</i>	0,01±0,002	0,02
Нитраты, мг NO_3^- /л/ <i>Nitrates, mg NO3 -/l</i>	2,0±0,34	2,0
Фосфаты, мг Р/л/ <i>Phosphates, mg R/l</i>	<0,10	0,15
Перманганатная окисл., мг/л/ <i>Permanganate acid, mg/l</i>	4,0± 0,12	до 15,0
Хлориды, мг/л/ <i>Chlorides, mg/l</i>	181±24	300,0
Сульфаты, мг/л/ <i>Sulfates, mg/l</i>	12,4±1,60	100,0
Железо общее, мг/л/ <i>Total iron, mg/l</i>	<0,05	0,5
СПАВ*, мг/л/ <i>SPAV*, mg/l</i>	0,02±0,007	0,5
Жесткость, мг-экв/л/ <i>Hardness, mg-eq/l</i>	3,0±0,17	< 2,5

Примечание: * – поверхностно-активные вещества

Note: * – surfactants

Согласно результатам гидрохимического исследования воды (табл. 3), содержание растворенных компонентов соответствует допустимым значениям, подтверждая возможность ее использования в рыбоводстве и обосновывая необходимость проведения дополнительных работ. Это, в свою очередь, благоприятно отразилось на состоянии и продуктивности радужной форели.

Очевидно, что развивающийся организм быстро реагирует на особенности кормления, прежде увеличением скорости набора веса. Следовательно, одним из ключевых параметров, свидетельствующих о благоприятном воздействии рационов с добавлением узколистного липина, является величина абсолютного прироста живой массы за период исследования (табл. 4).

Таблица 4. Рыбоводные показатели ($X \pm Se$)
 Table 4. Fish farming indicators ($X \pm Se$)

Показатели / Indicators	Группа / Group			
	1 контрольная / 1 control	2 опытная / 2 experimental	3 опытная / 3 experimental	4 опытная / 4 experimental
Средняя ихтиомасса в начале, кг/ Average ichthyomass at the beginning, kg	9,84±1,12	9,78±1,08	9,77±0,97	9,80±1,17*
Средняя ихтиомасса в конце, кг/ Average ichthyomass at the end, kg	19,82±2,11	20,32±2,34	20,85±1,97	21,86±2,06*
Прирост, кг/ Weight gain, kg	9,98±0,82	10,54±0,27	11,08±0,19*	12,07±0,79
Прирост в % к контролю/ As a % of the control	100	105,54	110,98	120,88
Сохранность, %/ Safety, %	97	97	98	98
Среднесуточная, удельная скорость роста по И.И. Шмальгаузен, г/ Average daily, specific growth rate according to II Schmalhausen, g	1,08±0,87	1,11±0,72	1,14±0,49	1,19±0,55
Кормовой коэффициент/ Feed ratio	0,87±0,04	0,86±0,02	0,84±0,03	0,82±0,01*
Относительный прирост, %/ Relative gain, %	201,46±3,01	207,75±3,24	213,47±2,94	223,22±2,41
В % к контролю/ As a % of the control	-	6,29	12,01	21,76
Затраты корма, кг/кг/ Feed costs, kg/kg	2,55±1,36	2,51±1,11	2,50±0,92*	2,37±0,87*
В % к контролю/ As a % of the control	100	98,43	98,04	92,94
Затраты ОЭ, мДж/кг/ Cost of OE, MJ/kg	34,02±2,61	33,38±2,10	33,02±2,11	32,29±1,99
В % к контролю/ As a % of the control	100	98,12	97,06	94,91
Затраты протеина г/кг/ Protein consumption g/kg	1068,03±7,23	1053,44±6,82	1051,56±7,11	1017,94±5,98
В % к контролю/ As a % of the control	100	98,63	98,46	95,31

Примечание: данные приведены в виде среднего значения и стандартной ошибки

* – $P \leq 0,05$ по сравнению с контрольной группой

Note: The data are presented as an average value and a standard error of * – $P \leq 0,05$ compared with the control group

Для более точной и объективной оценки динамики роста радужной форели использовался показатель абсолютного увеличения её живого веса. Результаты эксперимента показали более выраженный прирост живой массы у форели в опытных группах. Темпы увеличения массы различались: во 2 опытной группе прирост превосходил контрольную на 5,54 %, в 3 – на 10,98 %, а в 4 – на 20,88 %. При этом процент выживших особей в каждой из экспериментальных групп был почти идентичным. Для адекватного сравнения динамики необходимо учитывать относительный прирост, представляющий собой относительную скорость роста. Использование относительных показателей вместо абсолютных позволяет оценить интенсивность развития. Во 2 экспериментальной группе зафиксирован ощутимый относительный прирост, превышающий контрольный показатель на 3,12 %. В 3 группе это значение выше на 5,96 %, а в 4 – на 10,8 %. Эти результаты демонстрируют активный рост на протяжении всего эксперимента.

Удельная скорость роста, вычисленная как среднесуточное изменение массы, показывает процентное изменение веса рыбы за сутки. Экспериментальные данные демонстрируют, что максимальный среднесуточный прирост наблюдался в опытных группах в сравнении с контрольной: во 2 – на 2,49 %, в 3 – на 5,15 % и в 4 группе – на 10,29 %.

Частичная замена высокопротеиновых кормов растительного и животного происхождения на люпин узколистный привела к тенденции снижения затрат корма и питательных веществ на производство икропродукции. В экспериментальных группах зафиксированы наименьшие затраты корма: во 2 группе – на 1,67 % ниже, чем в контрольной, в 3 – на 1,92 % и в 4 группе – на 7,17 %. Аналогичная тенденция наблюдается и в затратах обменной энергии: во 2 группе показатель был ниже на 1,89 %, в 3 – на 1,92 % и в 4 – на 7,17 %. Также отмечено снижение расхода протеина в опытных группах: во 2 группе на 1,37 %, в 3 – на 1,54 % и в 4 – на 4,69 %.

Физиологическое состояние форели наиболее точно отражается в биохимических показателях крови, которые быстро меняются под воздействием различных факторов, включая изменения в составе и качестве корма. Биохимический анализ крови радужной форели позволяет контролировать состояние обменных процессов, таких как белковый, углеводный, жировой и водно-электролитный обмен, и своевременно выявлять дисбаланс необходимых нутриентов в рационе кормления, а также оценивать работу внутренних органов и систем. Несбалансированность рационов радужной форели по питательным веществам – как дефицит, так и избыток – негативно сказывается на метаболических процессах в тканях, что неизбежно находит отражение в биохимических параметрах крови (табл. 5).

Таблица 5. Биохимические показатели крови радужной форели ($X \pm Se$, n=10)
Table 5. Biochemical parameters of rainbow trout blood ($X \pm Se$, n=10)

Показатели / Indicators	Группа / Groups			
	1 контрольная / 1 control	2 опытная / 2 experimental	3 опытная / 3 experimental	4 опытная / 4 experimental
АЛП (Ед/л)/ ALP (u/l)	80,1±4,3	82,7±4,7	82,9±4,1	83,3±3,8
АЛТ (Ед/л)/ ALT (u/l)	51,2±2,7	51,7±2,1	52,4±2,2	52,9±2,0
АСТ (Ед/л)/ AST (u/l)	79,8±2,9	83,6±2,1*	84,1±3,4	84,6±4,6
Мочевина (ммоль/л)/ Urea (mmol/l)	4,9±0,3	4,8±0,2	4,7±0,1**	4,6±0,1
Креатинин (мкмоль/л)/ Creatinine (mmol/L)	89,1±4,1	87,9±4,0	86,90±4,7	85,7±3,7
Билирубин (мкмоль/л)/ Bilirubin (mmol/l)	9,5±1,5	9,1±1,2	8,9±0,9	8,4±1,0
Общий белок (г/л)/ Total protein (g/l)	59,4±5,3	59,8±5,1	61,2±4,1	62,5±5,0*
Альбумин (г/л)/ Albumin (g/l)	26,73±2,3	26,91±2,1	27,54±2,0	28,13±1,9*
Глобулин(г/л)/ Globulin(g/l)	32,67±3,0	32,89±2,9*	33,66±2,4	34,38±2,8
Са (ммоль/л)/ Ca (mmol/L)	2,71±1,08	2,92±1,27	2,95±1,31	3,01±0,97
Р (ммоль/л)/ P (mmol/L)	5,70±1,79	5,94±1,13	6,03±1,01	6,24±0,99*

Примечание: данные приведены в виде среднего значения и стандартной ошибки, n=10 для всех групп. ** – $P \leq 0,01$, * – $P \leq 0,05$ по сравнению с контрольной группой. Референтные данные приведены по Naveed N et al. (2022), Pizzagalli MD et al. (2021), Seibel H et al. (2021), Мингазова М.С. и др. (2025). АЛТ – Аланинаминотрансфераза. АСТ – Аспартатаминотрансфераза. АЛП – щелочная фосфатаза

Note: The data are presented as an average and standard error, n=10 for all groups. ** – $P \leq 0,01$, * – $P \leq 0,05$ compared with the control group. Reference data are provided by Naveed N et al. (2022), Pizzagalli MD et al. (2021), Seibel H et al. (2021), Mingazova MS et al. (2025). ALT – Alanine Aminotransferase. AST – Aspartate Aminotransferase. ALP – Alkaline phosphatase

Мониторинг активности биомаркеров является важным аспектом биохимических исследований, так как он позволяет выявить состояние окислительного стресса в организме и его возможные последствия на клеточном уровне. Аминотрансферазы, такие как аспартатаминотрансфераза (АСТ) и аланинаминотрансфераза (АЛТ), играют ключевую роль в метаболических процессах,

особенно в обмене аминокислот. АСТ и АЛТ участвуют в переаминировании аминокислот. Таким образом, АЛТ в основном принимает участие в обмене аланина и превращении его в пируват, тогда как АСТ преимущественно катализирует реакции, связанные с аспартатом. Эти ферменты также участвуют в метаболизме белков, углеводов и жиров. Все эти процессы критически важны для поддержания гомеостаза и обеспечения клеток энергией. В ходе исследования отмечено небольшое повышение активности фермента АЛТ в экспериментальных группах: во 2 группе – на 3,25 %, в 3 – на 3,5 % и в 4 – на 4 %. Помимо этого, наблюдался рост активности биомаркера АСТ: во 2 опытной группе по сравнению с контрольной составил 0,98 %, в 3 – 2,34 % и в 4 – 3,32 %. Подобная тенденция отразилась и в показателях АЛП, активность которого была выше в экспериментальных группах: по сравнению с контролем во 2 группе – на 4,76 %, в 3 – на 5,39 % и в 4 – на 6,02 %. Данное увеличение активности ферментов крови находилось в пределах физиологической нормы и указывает на напряженность соматического роста форели, а также на достаточное количество аминокислот, поступающих с рационом. Таким образом, мониторинг активности АСТ, АЛТ и АЛП может способствовать ранней диагностике различных патологических отклонений, а также оценке эффективности и сбалансированности рационов кормления. Это подчеркивает важность интеграции данных о биомаркерах в практику контроля качества кормления радужной форели.

Уровни мочевины и креатинина служат индикаторами процессов распада аминокислот, протекающих в печени. Эти метаболиты белкового обмена демонстрируют баланс между производством собственных белков организма и выведением продуктов их распада. В ходе нашего исследования концентрация мочевины в экспериментальных группах уменьшалась относительно контрольной группы пропорционально увеличению доли узколистного люпина в рационе форели: во 2 группе снижение составило 2,04 %, в 3 – 4,08 %, а в 4 – 6,12 %. Уменьшение концентрации мочевины в крови подопытных групп в сравнении с контрольной группой может указывать на более активное накопление белка в теле радужной форели. Аналогичная тенденция наблюдается и в отношении креатинина, уровень которого также снижался в экспериментальных группах: во 2 группе – на 1,35 %, в 3 – на 2,47 %, а в 4 группе – на 3,82 %. Это снижение, оставаясь в пределах физиологических значений, свидетельствует о преобладании синтеза белка над его распадом в опытных группах, то есть анаболизм доминирует над катаболизмом.

Изменение концентрации билирубина дало возможность оценить состояние гепатоцитов печени и выявить возможные дистрофические изменения. В экспериментальных группах уровень билирубина по сравнению с контрольной группой уменьшался в пределах физиологической нормы: во 2 группе – на 4,21 %, в 3 – на 6,32 %, а в 4 – на 11,58 %. Это указывает на отсутствие нарушений в экскреции и конъюгации билирубина.

Белки крови представляют собой динамичную систему, отражающую состояние различных органов и систем, поскольку процессы роста, развития и продуктивности всегда оказывают влияние на белковый состав крови. Отслеживание уровней общего белка и его фракций является эффективным методом оценки физиологического состояния радужной форели. Результаты нашего исследования показали, что концентрация общего белка была выше в экспериментальных группах: во 2 опытной группе – на 0,67 %, в 3 – на 3,03 %, а в 4 – на 5,22 %. Подобная вариабельность наблюдалась и в отношении белковых фракций крови. Следовательно, увеличение концентрации белка и его фракций в крови радужной форели опытных групп свидетельствует об интенсивности и направленности белкового обмена и более активных окислительно-восстановительных процессах в организмах опытных групп форели, получавших в составе рациона люпин узколистный.

Кальций и фосфор являются важными макроэлементами в организме. Большая их часть, около 98 %, сосредоточена в костях, а оставшаяся часть циркулирует в крови. В связи с этим оценка фосфорно-кальциевого равновесия имеет важное значение при разработке сбалансированных рецептур комбикормов. У экспериментальных групп радужной форели было установлено превышение содержания кальция и фосфора в крови относительно контрольной группы, однако данные показатели не выходили за границы нормальных значений. Отмечено, что во 2 опытной группе уровень кальция вырос на 7,75 %, в 3 – на 8,86 %, а в 4 – на 10,7 %. Концентрация фосфора также

продемонстрировала рост: во 2 группе – на 4,21 %, в 3 – на 5,79 % и в 4 группе – на 8,77 %. Полученные данные свидетельствуют об отсутствии нарушений в обмене кальция (как недостатка, так и избытка) и фосфора (включая пониженные или повышенные уровни). Это указывает на то, что в костной ткани не обнаружено каких-либо отклонений от нормы и о сбалансированности рациона по содержанию данных макроэлементов. Подтверждением этому служат результаты анализа на щелочную фосфатазу (ALP), которая играет важную роль в обмене кальция и фосфора, в частности, в процессе гидролиза фосфорной кислоты.

Завершающим этапом в изучении влияния включения узколистного люпина в рецептуры полнорационных комбикормов для радужной форели стала оценка экономической целесообразности выращивания товарной рыбы на экспериментальных рационах. Данные, демонстрирующие финансовую выгоду разведения радужной форели, представлены в таблице 6.

Таблица 6. Экономическая эффективность
Table 6. Economic efficiency

Показатели / Indicators	Группа / Groups			
	1 контроль-ная / 1 control	2 опытная / 2 experimental	3 опытная / 3 experimental	4 опытная/ 4 experimental
Масса в начале опыта, кг/ <i>Weight at the beginning of the experiment, kg</i>	9,84±1,12	9,78±1,08	9,77±0,97	9,80±1,17*
Масса в конце, кг/ <i>Weight at the end, kg</i>	19,82±2,11	20,32±2,34	20,85±1,97	21,86±2,06
Прирост, кг/ <i>Weight gain, kg</i>	9,98±0,82	10,54±0,27	11,08±0,19*	12,07±0,79
Стоимость посадочного материала, руб./ <i>The cost of planting material, thousand rubles.</i>	5 314,00	5 281,00	5 273,00	5 289,00
Стоимость комбикорма, руб./ <i>The cost of compound feed, rub.</i>	4 471,00	4 231,00	4 101,00	3 757,00
Всего затрат, руб./ <i>Total cost, rub.</i>	9 785,00	9 512,00	9 374,00	9 046,00
Выручка от реализации рыбы, руб./ <i>Revenue from the sale of fish, rub.</i>	13 978,00	14 753,00	15 513,00	16 897,00
Себестоимость, кг/руб./ <i>Cost, kg/rub.</i>	980,00	903,00	846,00	750,00
Прибыль от реализации рыбы, руб./ <i>Profit from the sale of fish, rub.</i>	4 193,00	5 240,00	6 138,00	7 850,00
Дополнительно полученная прибыль от реализации, руб./ <i>Additional profit from sales, rub.</i>	-	1 047,00	1 945,00	3 657,00
Рентабельность, %/ <i>Profitability, %</i>	42,85	55,09	65,48	86,78

Примечание: * – Расчеты выполнены в ценах по состоянию на 2024 г.

Note: * – Calculations are made in prices as of 2024

Включение в состав рецептуры комбикорма для радужной форели люпина узколистного способствовало снижению расходов на его производство за счет повышения экономической эффективности производства и конкурентоспособности люпина по отношению к другим высокобелковым компонентам рецепта. Результаты экспериментов продемонстрировали, что наименьшая конкурентная цена за килограмм полученной форели наблюдалась в экспериментальных группах: во 2 группе она была на 8,0 % ниже контрольной, в 3 – на 14 %, а в 4 – на 24 %. Подобные изменения наблюдались и в снижении общих расходов: во 2 опытной группе – на 3,0 %, в 3 – на 4,0 %, а в 4 – на 8,0 %. Использование люпина узколистного в рецептуре для форели привело к росту прибыли от продажи продукции в опытных группах: во 2 – на 25 %, в 3 – на 46 %, а в 4 – на 87 % по от-

ношению к контрольной. В результате дополнительная прибыль от реализации в экспериментальных группах составила во 2 группе 1047 рублей, в 3 – 1945 рублей и в 4 – 3657 рублей. Рентабельность выращивания форели также возросла: во 2 опытной группе – на 12 %, в 3 – на 23 %, а в 4 – на 44 %. Исследование экономических параметров выращивания радужной форели показало, что добавление люпина узколистного как с оболочкой, так и без нее в состав комбикормов дает возможность не только сократить затраты на изготовление 1 кг полнорационного комбикорма и уменьшить стоимость готовой форели, но и увеличить прибыль, дополнительный доход, а также повысить эффективность производства в форелеводстве.

Обсуждение полученных результатов.

Результаты исследования показали, что физико-химический состав воды, использованной в ходе эксперимента, полностью соответствовал стандартам, изложенным в ОСТ 15.372.87 «Охрана природы. Гидросфера. Вода для рыбоводных хозяйств. Общие требования и нормы», что обеспечивало поддержание физиологического статуса, раскрытие продуктивного потенциала и предупреждение возникновения инфекций. Включение узколистного люпина в рацион комбикорма дает возможность замещать или заменять из рецептуры ингредиенты, содержащие белок как животного, так и растительного происхождения. Это было сделано во всех опытных группах. В частности, во 2 экспериментальной группе вместо рыбной муки использовали 5 % люпина, соевого жмыха – 2 %, подсолнечного жмыха – 1 %, а кукурузы – 1 %. В 3 группе люпин без оболочки заменил рыбную муку на 9 %, соевый жмых – на 6 %, кукурузу – на 4 % и подсолнечный жмых – на 2 %. В 4 опытной группе люпин без оболочки использовался вместо рыбной муки (14 %), соевого жмыха (8 %), подсолнечного жмыха (2 %) и кукурузы (5 %). Подобные результаты, связанные с замещением высокобелковых кормов люпином, ранее были зафиксированы в работе Н.В. Гапонова (2023). Изменение состава рациона способствовало увеличению среднесуточного прироста радужной форели в экспериментальных группах по сравнению с контрольной: во 2 группе прирост составил 5,54 %, в 3 – 10,98 %, а в 4 – 20,88 %. Кроме того, в экспериментальных группах наблюдалось уменьшение расхода кормов и питательных веществ, необходимых для получения единицы продукции: во 2 группе снижение составило 1,67 %, в 3 – 1,92 %. в 4 группе – на 7,17 % относительно контрольной. Аналогичная тенденция проявилась и в отношении расхода обменной энергии: снижение составило 1,89 %, 1,92 % и 7,17 % соответственно. Содержание протеина снизилось на 1,37 %, 1,54 % и 4,69 % в соответствующих группах. Эти результаты подтверждаются данными других исследований (Кононенко С.И. и др., 2016). Добавление люпина в полнорационный комбикорм улучшило метаболизм белков, что проявилось в увеличении общего количества белка в крови: на 0,67 % – во 2 группе, на 3,03 % – в 3 группе и на 5,22 % – в 4 группе соответственно. Это положительно сказалось на обмене веществ и повысило сопротивляемость рыбы к стрессовым условиям. Исследование биомаркеров показало увеличение активности ферментов аланинаминотрансферазы (АЛТ) и аспартатаминотрансферазы (АСТ) в экспериментальных группах: во 2 опытной группе – на 3,25 % и 0,98 %, в 3 группе – на 3,5 % и 2,34 % и в 4 группе – на 4,0 % и 3,32 %, что не превышало допустимые значения и указывало на активный рост и достаточное снабжение аминокислотами радужной форели из полнорационного комбикорма. Аналогичная закономерность прослеживалась и с ферментом щелочной фосфатазой (АЛП), его уровень был выше в опытных группах: по сравнению с контрольной, во 2 – на 4,76 %, в 3 – на 5,39 % и в 4 – на 6,02 %. Подобные результаты согласуются с предыдущими экспериментальными данными (Карпенко Л.Ю. и др., 2024). Экономический анализ продемонстрировал увеличение прибыли в экспериментальных группах: 1047 рублей – во 2, 1945 рублей – в 3 и 3657 рублей – в 4. Рентабельность производства форели также возросла: на 12 %, 23 % и 44 % соответственно.

Заключение.

Представленные результаты эксперимента наглядно демонстрируют, что включение в рацион радужной форели люпина узколистного (*Lupinus angustifolius L.*) положительно сказалось на

сбалансированности полнорационных рецептов комбикормов. Это дало возможность в составе комбикормов заменять или частично замещать часть высокобелковых компонентов как животного, так и растительного происхождения на люпин узколистный. Использование люпина узколистного как с оболочкой, так и декортинированного, оказывает благоприятное воздействие на развитие радужной форели. В экспериментальных группах среднесуточный прирост оказался заметно выше, чем в контрольной: на 5,54 % – во 2 группе, на 10,98 % – в 3 и на 20,88 % – в 4 группе. Это позволило снизить затраты кормов и питательных веществ на единицу произведенной продукции: во 2 группе потребление кормов сократилось на 1,67 %, в 3 группе – на 1,92 %, а в 4 опытной группе – на 7,17 %. Аналогичные изменения наблюдались и с расходом обменной энергии: во 2 опытной группе она была ниже на 1,89 %, в 3 – на 1,92 %, а в 4 – на 7,17 %. Включение люпина в рацион стимулирует обмен белков и способствует повышению уровня общего белка в крови, а также его фракций: на 0,67 % – во 2 группе, на 3,03 % – в 3 группе и на 5,22 % – в 4 группе. Это активизирует метаболические процессы в организме рыбы и усиливает ее устойчивость к болезням. Анализ биомаркеров не выявил отклонений в работе печени, сердечной мышцы и скелетных мышц, все показатели находились в пределах нормы. Экономический анализ применения люпина в рационе радужной форели показал увеличение дополнительного дохода: во 2 экспериментальной группе – на 1047 руб., в 3 группе – на 1945 руб., и в 4 – на 3657 руб. Отмечался также рост рентабельности производства: во 2 группе – на 12 %, в 3 – на 23 %, и в 4 – на 44 %. Таким образом, частичная и полная замена традиционных кормов животного и растительного происхождения на люпин узколистный в рационе товарной форели позволяет увеличить выход продукции с сохранением нормального физиологического состояния форели и повышением экономических показателей.

Список источников

1. Агеева П.А., Почутина Н.А. Перспективный кормовой сорт люпина Узколистный 53 // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2025. Т. 55. № 1(314). С. 52-59. [Ageeva PA, Potchutina NA. Promising forage lupine variety Uzkolistny 53. Siberian Herald of Agricultural Science. 2025;55(1-314):52-59. (*In Russ.*)]. doi: 10.26898/0370-8799-2025-1-6]
2. Агеева П.А., Почутина Н.А., Коннова Л.В. Агробиологическая оценка сортов и сортоизразцов узколистного кормового люпина // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2024. Т. 54. № 1. С. 71-81. [Ageeva PA, Potchutina NA, Konnova LV. Agrobiological evaluation of the varieties and cultivars of narrow-leaved fodder lupine. Siberian Herald of Agricultural Science. 2024;54(1):71-81. (*In Russ.*)]. doi: 10.26898/0370-8799-2024-1-8]
3. Агеева П.А., Почутина Н.А., Мисникова Н.В. Изучение современного генофонда узколистного люпина по элементам продуктивности и морфобиологическим свойствам // Аграрный вестник Урала. 2023. Т. 23. № 2. С. 41-52. [Ageeva PA, Pochutina NA, Misnikova NV. The study of the modern narrow-leaved lupin genebank for productivity elements and morpho-biological characters. Agrarian Bulletin of the Urals. 2023;23(2):41-52. (*In Russ.*)]. doi: 10.32417/1997-4868-2023-231-02-41-52]
4. Влияние биологически активных кормовых добавок в составе рациона на гематологические параметры рыбы / М.С. Мингазова, Е.П. Мирошникова, Ю.В. Кильякова, А.Е. Аринжанов // Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 1. С. 158-174. [Mingazova MS, Miroshnikova EP, Kilyakova YuV, Arinzhhanov AE. The effect of biologically active feed additives in the diet on the hematological parameters of fish. Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(1):158-174. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-108-1-158]
5. Гапонов Н.В. Использование белого люпина для улучшения продуктивности радужной форели // Зоотехния. 2023. № 2. С. 23-27. [Gaponov NV. The use of white lupine to improve the productivity of rainbow trout. Zootechniya. 2023;2:23-27. (*In Russ.*)]. doi: 10.25708/ZT.2023.95.24.006

6. Гапонов Н.В. Гематологические показатели радужной форели при включении люпина белого в структуру рационов // Сельскохозяйственный журнал. 2025а. № 3(18). С. 89-99. [Gaponov NV. Hematological parameters of rainbow trout when white lupine is included in the structure of diets. Agricultural Journal. 2025a;3(18):89-99. (*In Russ.*)]. doi: 10.48612/FARC/2687-1254/009.3.18.2025
7. Гапонов Н.В. Физиолого-биохимические и гистологические параметры мышц форели при включении белого люпина в структуру рациона // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2025б. № 118. С. 269-276. [Gaponov NV. Physiological, biochemical and histological parameters of trout muscles when white lupine is included in the diet structure. Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2025b;118:269-276. (*In Russ.*)]. doi: 10.21515/1999-1703-118-269-276
8. Гатаулина Г.Г., Шитикова А.В., Медведева Н.В. Формирование плодов, семян и урожайность сортов люпина белого (*Lupinus albus L.*) с детерминантным типом роста // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2023. № 5. С. 51-61. [Gataullina GG, Shitikova AV, Medvedeva NV. Formation of pods, seeds and yield of varieties of white lupin (*Lupinus Albus L.*) with a determinant type of growth. Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. 2023;5:51-61. (*In Russ.*)]. doi: 10.26897/0021-342X-2023-5-51-61
9. Гатаулина Е.А., Шишкина Е.А. Сельская экономика: роль лесоводства и лесозаготовок, рыболовства и рыбоводства в малом и среднем предпринимательстве муниципальных образований // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2025. № 3. С. 45-50. [Gataullina EA, Shishkina EA. Rural economy: the role of forestry and logging, fisheries and fish farming for small and medium entrepreneurship of municipalities. Economy of Agricultural and Processing Enterprises. 2025;3:45-50. (*In Russ.*)]. doi: 10.31442/0235-2494-2025-0-3-45-50
10. ГОСТ 13496.15-2016. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения массовой доли сырого жира. Введ. 2018-01-01. М.: Стандартинформ, 2020. 9 с. [GOST 13496.15-2016. Feeds, mixed feeds, feed raw material. Methods for determining the raw fat content. Vved. 2018-01-01. Moscow: Standartinform; 2020:9 p. (*In Russ.*)].
11. ГОСТ 13496.4-2019. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина. Введ. 2020-08-01. М.: Стандартинформ, 2019. 15 с. [GOST 13496.4-2019. Fodder, mixed fodder and raw mixed fodder. Methods of nitrogen and crude protein determination. Vved. 2020-08-01. Moscow: Standartinform; 2019:15 p. (*In Russ.*)].
12. ГОСТ 26226-95. Корма, комбикорма, комбикормовое сырьё. Методы определения сырой золы. Введ. 1997-01-01. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2003. 6 с. [GOST 26226-95. Fodder, mixed fodder and mixed fodder raw material. Methods for determination of raw ash. Vved. 1997-01-01. Minsk: Mezhgosudarstvennyj sovet po standartizacii, metrologii i sertifikacii; 2003:6 p. (*In Russ.*)].
13. ГОСТ 26570-95. Корма, комбикорма, комбикормовое сырьё. Методы определения кальция. Введ. 1997-01-01. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2003. 13 с. [GOST 26570-95. Fodder, mixed fodder and mixed fodder raw material. Methods for determination of calcium. Vved. 1997-01-01. Minsk: Mezhgosudarstvennyj sovet po standartizacii, metrologii i sertifikacii; 2003:13p. (*In Russ.*)].
14. ГОСТ 26657-97. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания фосфора. Введ. 1999-01-01. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1999. 68 с. [GOST 26657-97. Fodders, mixed fodders, mixed fodder raw materials. Methods for determination of phosphorus content. Vved. 1999-01-01. Minsk: Mezhgosudarstvennyj sovet po standartizacii, metrologii i sertifikacii; 1999:68 p. (*In Russ.*)].
15. ГОСТ 31675-2012. Корма. Методы определения содержания сырой клетчатки с применением промежуточной фильтрации. Введ. 2013-07-01. М.: Стандартинформ, 2014. 9 с. [GOST 31675-2012. Feeds. Methods for determination of crude fibre content with intermediate filtration. Vved. 2013-07-01. Moscow: Standartinform; 2014:9 p. (*In Russ.*)].
16. ГОСТ 57059-2016. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Экспресс-метод определения влаги. Введ. 2017-07-01. М.: Стандартинформ, 2016. 5 с. [GOST 57059-2016. Feeds, compound feeds, feed raw materials. Express-method for determination of moisture. Vved. 2017-07-01. Moscow: Standartinform; 2016:5 p. (*In Russ.*)].

17. Инновационные кормовые добавки при выращивании молоди рыб / С.И. Кононенко, Н.А. Юрина, Е.А. Максим, Е.В. Чернышов // Известия Горского государственного аграрного университета. 2016. Т. (53). № 1. С. 30-34. [Kononenko SI, Yurina NA, Maxim EA, EV Chernyshov. Innovative feed additives for growing fish fry. Proceedings of Gorsky State Agrarian University. 2017;53(1):30-34. (*In Russ.*)].
18. Иньшин О.В., Мирошникова Е.П., Аринжанов А.Е. Биологическое действие активированного угля в качестве кормовой добавки на организм радужной форели // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 1. С. 147-160. [Inshin OV, Miroshnikova EP, Arinzhakov AE. Biological effect of activated carbon as a feed additive on the organism of rainbow trout. Animal Husbandry and Fodder Production. 2024;107(1):147-160. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-107-1-147
19. Количественный и качественный аминокислотный анализ альтернативных источников протеина в комбикормах / Р.В. Урсу, Ю.А. Гусева, С.Ю. Пигина и др. // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 4(68). С. 362-369. [Ursu RV, Guseva YuA, Pigina SYu et al. Quantitative and qualitative amino acid analysis of alternative protein sources in compound feeds. Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education. 2022;4(68):362-369. (*In Russ.*)]. doi: 10.32786/2071-9485-202204-44
20. ОСТ 15.372-87 Вода для рыбоводных хозяйств. Общие требования и нормы. Введ. 1988-01-04. М., 1987. 19 с. [OST 15.372-87. Voda dlja rybovodnyh hozjajstv. Obshchie trebovaniya i normy. Vved. 1988-01-04. Moscow; 1987:19 p. (*In Russ.*)].
21. Пономарев С.В., Грозеску Ю.Н., Бахарева А.А. Корма и кормление рыб в аквакультуре. М: МОРКНИГА, 2013. 417 с. [Ponomarev SV, Grozescu YuN, Bakhareva AA. Korma i kormlenie ryb v akvakul'ture. Moscow: MORKNIGA; 2013:417 p. (*In Russ.*)].
22. Сравнительный анализ биохимического состава сыворотки крови радужной форели при различных рационах кормления / Л.Ю. Карпенко, Н.А. Сидорова, П.А. Полистовская, А.А. Бахта, А.И. Савушкин, И.Н.Никонов // Международный вестник ветеринарии. 2024. №. 3. С. 301-312. [Karpenko LYu, Sidorova NA, Politkovskaya PA, Bakhta AA, Savushkin AI, Nikonov IN. Comparative analysis of the biochemical composition of rainbow trout blood serum under different feeding diets. International Journal of Veterinary Medicine. 2024;3:301-312. (*In Russ.*)]. doi: 10.52419/issn2072-2419.2024.3.301
23. Щербина М.А. Методические указания по физиологической оценке питательности кормов для рыб. М.: ВАСХНИЛ, 1983. 83 с. [Shcherbina MA. Metodicheskie ukazanija po fiziologicheskoi ocenke pitatel'nosti kormov dlja ryb. Moscow: VASHNIL. 1983;83 p. (*In Russ.*)].
24. Щербина М.А., Гамыгин Е.А. Кормление рыб в пресноводной аквакультуре. М.: Издательство ВНИРО, 2006. 360 с. [Shcherbina MA, Gamigin EA. Fish feeding in freshwater aquaculture. Moscow: Izdatel'stvo VNIRO; 2006:360 p. (*In Russ.*)].
25. Щербина М.А., Гамыгин Е.А., Салтыкова И.А. Влияние экструзии на питательную ценность кормового сырья для рыб // Рыбное хозяйство. Серия: Аквакультура. Корма и кормление рыб. ВНИЭРХ. 1996. Вып. 2. С. 1-11. [Shcherbina MA, Gamigin EA, Saltykova IA. Vlijanie jekstruzii na pitatel'nuju cennost' kormovogo syr'ja dlja ryb. Rybnoe hozjajstvo. Serija: Akvakul'tura. Korma i kormlenie ryb. VNIJeRH. 1996;2:1-11. (*In Russ.*)].
26. Naveed N, Imtiaz A, Gohar BW. Hematological and serum biochemical reference intervals of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* cultured in Himalayan aquaculture: Morphology, morphometrics and quantification of peripheral blood cells. Saudi Journal of Biological Sciences. 2022;29(4):2942-2957. doi: 10.1016/j.sjbs.2022.01.019
27. Pizzagalli MD, Bensimon AD, SupertiFurga GA. Guide to plasma membrane solute carrier proteins. FEBS J. 2021;288:2784-2835. doi: 10.1111/febs.15531.
28. Seibel H, Babmann B, Rebl A. Blood will tell: What hematological analyses can reveal about fish welfare. Front. Vet. Sci. 2021;8:616955. doi: 10.3389/fvets.2021.616955
29. Shitikova AV, Gataulina GG, Konstantinovich AV. Growth reactions at the initial stages of the ontogenesis of white lupin with the use of growth-regulating compounds. BIO Web of Conferences. 2024;139:05014. doi: 10.1051/bioconf/202413905014

30. Smitt FA. Kritisk förteckning öfver de i Riksmuseum befintliga salmonider. Stockholm, Kongliga Svenska Vetenskaps-Akademien; 1886:290 p.

References

1. Ageeva PA, Potchutina NA. Promising forage lupine variety Uzkolistny 53. Siberian Herald of Agricultural Science. 2025;55(1-314):52-59. doi: 10.26898/0370-8799-2025-1-6
2. Ageeva PA, Potchutina NA, Konnova LV. Agrobiological evaluation of the varieties and cultivars of narrow-leaved fodder lupine. Siberian Herald of Agricultural Science. 2024;54(1):71-81. doi: 10.26898/0370-8799-2024-1-8
3. Ageeva PA, Pochutina NA, Misnikova NV. The study of the modern narrow-leaved lupin genebank for productivity elements and morpho-biological characters. Agrarian Bulletin of the Urals. 2023;23(2):41-52. doi: 10.32417/1997-4868-2023-231-02-41-52
4. Mingazova MS, Miroshnikova EP, Kilyakova YuV, Arinzhakov AE. The effect of biologically active feed additives in the diet on the hematological parameters of fish. Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(1):158-174. doi: 10.33284/2658-3135-108-1-158
5. Gaponov NV. The use of white lupine to improve the productivity of rainbow trout. Zootekhnika. 2023;2:23-27. doi: 10.25708/ZT.2023.95.24.006
6. Gaponov NV. Hematological parameters of rainbow trout when white lupine is included in the structure of diets. Agricultural Journal. 2025a;3(18):89-99. doi: 10.48612/FARC/2687-1254/009.3.18.2025
7. Gaponov NV. Physiological, biochemical and histological parameters of trout muscles when white lupine is included in the diet structure. Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2025b;118:269-276. doi: 10.21515/1999-1703-118-269-276
8. Gataullina GG, Shitikova AV, Medvedeva NV. Formation of pods, seeds and yield of varieties of white lupin (*Lupinus Albus L.*) with a determinant type of growth. Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. 2023;5:51-61. doi: 10.26897/0021-342X-2023-5-51-61
9. Gataullina EA, Shishkina EA. Rural economy: the role of forestry and logging, fisheries and fish farming for small and medium entrepreneurship of municipalities. Economy of agricultural and processing enterprises. 2025;3:45-50. doi: 10.31442/0235-2494-2025-0-3-45-50
10. GOST 13496.152016. Feeds, mixed feeds, feed raw material. Methods for determining the raw fat content. Implementation date 2018-01-01. Moscow: Standartinform; 2020:9 p.
11. GOST 13496.4-2019. Fodder, mixed fodder and raw mixed fodder. Methods of nitrogen and crude protein determination. Implementation date 2020-08-01. Moscow: Standartinform; 2019:15 p.
12. GOST 26226-95. Fodder, mixed fodder and mixed fodder raw material. Methods for determination of raw ash. Implementation date 1997-01-01. Minsk: Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification; 2003:6 p.
13. GOST 26570-95. Fodder, mixed fodder and mixed fodder raw material. Methods for determination of calcium. Implementation date 1997-01-01. Minsk: Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification; 2003:13p.
14. GOST 26657-97. Fodders, mixed fodders, mixed fodder raw materials. Methods for determination of phosphorus content. Implementation date 1999-01-01. Minsk: Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification; 1999:68 p.
15. GOST 31675-2012. Feeds. Methods for determination of crude fibre content with intermediate filtration. Implementation date 2013-07-01. Moscow: Standartinform; 2014:9 p.
16. GOST 57059-2016. Feeds, compound feeds, feed raw materials. Express-method for determination of moisture. Implementation date 2017-07-01. Moscow: Standartinform; 2016:5 p.
17. Kononenko SI, Yurina NA, Maxim EA, EV Chernyshov. Innovative feed additives for growing fish fry. Proceedings of Gorsky State Agrarian University. 2017;53(1):30-34.
18. Inshin OV, Miroshnikova EP, Arinzhakov AE. Biological effect of activated carbon as a feed additive on the organism of rainbow trout. Animal Husbandry and Fodder Production. 2024;107(1):147-160. doi: 10.33284/2658-3135-107-1-147

19. Ursu RV, Guseva YuA, Pigina SYu et al. Quantitative and qualitative amino acid analysis of alternative protein sources in compound feeds. Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education. 2022;4(68):362-369. doi: 10.32786/2071-9485-202204-44
20. OST 15.372-87. Water for Fish Farms. General Requirements and Standards. Introduced Implementation date 04/01/1988. Moscow; 1987:19 p.
21. Ponomarev SV, Grozescu YuN, Bakhareva AA. Fish Feed and Feeding in Aquaculture. Moscow: MORKNIGA; 2013:417 p.
22. Karpenko LYu, Sidorova NA, Politkovskaya PA, Bakhta AA, Savushkin AI, Nikonov IN. Comparative analysis of the biochemical composition of rainbow trout blood serum under different feeding diets. International Journal of Veterinary Medicine. 2024;3:301-312. doi: 10.52419/issn2072-2419.2024.3.301
23. Shcherbina MA. Methodical Guidelines for the Physiological Assessment of Fish Feed Nutrition. Moscow: VASHNIL. 1983;83 p.
24. Shcherbina MA, Gamygin EA. Fish feeding in freshwater aquaculture. Moscow: VNIRO Publishing House; 2006:360 p.
25. Shcherbina MA, Gamygin EA, Saltykova IA. Effect of extrusion on the nutritional value of fish feed raw materials. Fish industry. Series: Aquaculture. Fish feed and feeding. VNIERKH. 1996;2:1-11.
26. Naveed N, Imtiaz A, Gohar BW. Hematological and serum biochemical reference intervals of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* cultured in Himalayan aquaculture: Morphology, morphometrics and quantification of peripheral blood cells. Saudi Journal of Biological Sciences. 2022;29(4):2942-2957. doi: 10.1016/j.sjbs.2022.01.019
27. Pizzagalli MD, Bensimon AD, SupertiFurga GA. Guide to plasma membrane solute carrier proteins. FEBS J. 2021;288:2784-2835. doi: 10.1111/febs.15531.
28. Seibel H, Babmann B, Rebl A. Blood will tell: What hematological analyses can reveal about fish welfare. Front. Vet. Sci. 2021;8:616955. doi: 10.3389/fvets.2021.616955
29. Shitikova AV, Gataulina GG, Konstantinovich AV. Growth reactions at the initial stages of the ontogenesis of white lupin with the use of growth-regulating compounds. BIO Web of Conferences. 2024;139:05014. doi: 10.1051/bioconf/202413905014
30. Smitt FA. Kritisk förteckning öfver de i Riksmuseum befintliga salmonider. Stockholm, Kongliga Svenska Vetenskaps-Akademien; 1886:290 p.

Информация об авторах:

Николай Васильевич Гапонов, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела переработки и пищевого использования люпина, Всероссийский НИИ люпина – филиал Федерального научного центра «ВИК им. В.Р. Вильямса», 241524, Россия, Брянская область, Брянский район, пос. Мичуринский, ул. Берёзовая, 2.

Information about the authors:

Nikolay V Gaponov, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Department of Lupine Processing and Food Use, All-Russian Lupine Research Institute – Branch of the Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology, Bryansk region, Bryansk district, Michutinskiy village, st. Beryozovaya, 2 Russia, 241524.

Статья поступила в редакцию 01.07.2025; одобрена после рецензирования 26.09.2025; принята к публикации 15.12.2025.

The article was submitted 01.07.2025; approved after reviewing 26.09.2025; accepted for publication 15.12.2025.