

DOI 10.25741/2413-287X-2019-10-3-087

УДК: 639.312

АНАЛИЗ ЖИРНОКИСЛОТНОГО СОСТАВА КОМБИКОРМОВ ДЛЯ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ

М. НАЗАРОВА, канд. биол. наук, Вологодский государственный университет

О. ВАСИЛЬЕВА, канд. биол. наук, **Н. НЕМОВА**, д-р биол. наук, член-корр. РАН, Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН»

E-mail: marinamarina35@yandex.ru

Проведен анализ жирнокислотного состава комбикормов для радужной форели одной фракции, но разных производителей. Установлено, что корма значительно различаются уровнем жирных кислот, что сказывается на росте и развитии выращиваемых рыб.

Ключевые слова: радужная форель, комбикорма, полиненасыщенные жирные кислоты.

The fatty acid profiles of the compound feeds for rainbow trout with similar granulometry produced by different manufacturers were studied. It was found that the fatty acid profiles of the feeds can significantly differ and affect growth and development in fish.

Keywords: rainbow trout, compound feeds, polyunsaturated fatty acids.

Анализ жирнокислотного состава, зависящего от используемых в комбикормах источников липидов, позволяет оценить качество корма. Жирные кислоты (ЖК), как известно, влияют на процессы жизнедеятельности рыбы [1, 4], поскольку в составе фосфолипидов определяют жидкость биомембран и, как следствие, клеточный метаболизм [8]. Депонируясь в составе триацилглицеринов в мышцах радужной форели, ЖК влияют на вкусовые особенности и качество получаемой продукции [3].

Объектом исследования послужили комбикорма четырех торговых марок (1, 2, 3 и 4), в которых определяли содержание жирных кислот. Для этого выделяли общие липиды с применением смеси хлороформа и метанола в объемном соотношении 2 : 1; общие липиды подвергали прямому метилированию; полученные метиловые эфиры ЖК разделяли на хроматографе «Кристалл 5000» («Хромотек»); идентификацию ЖК проводили с помощью сравнения времени выхода эфиров жирных кислот с временем выхода стандартных образцов метиловых эфиров Supelco 37.

Обработку данных осуществляли общепринятым методом вариационной статистики [2].

Исследования выполнены на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук».

Результаты анализа жирных кислот, содержащихся в общих липидах комбикормов, показали их одинаковый качественный состав, однако количественное содержание ЖК в кормах и между фракциями одного корма различалось (таблица).

Содержание жирных кислот в составе общих липидов, % от суммы

Жирная кислота	Формула IUPAC	Корм 1	Корм 2	Корм 3	Корм 4
Насыщенные кислоты		23,60	23,43	26,06	36,31
пальмитиновая	16:0	13,23	12,49	16,04	21,88
Мононенасыщенные кислоты		43,18	42,35	26,02	33,74
олеиновая	18:1 ω 9	25,08	24,72	14,14	16,48
эруковая	22:1 ω 9	4,56	4,48	0,93	0,49
Полиненасыщенные кислоты		33,22	34,22	49,92	29,96
ω 6		10,42	10,44	31,56	8,12
линолевая	18:2 ω 6	8,44	8,14	30,00	5,77
арахидоновая	20:4 ω 6	0,61	0,58	0,42	0,49
ω 3		20,18	20,75	13,60	16,56
линоленовая	18:3 ω 3	3,70	3,61	1,32	1,99
эйкозапентаеновая	20:5 ω 3	6,09	6,38	5,63	6,17
докозагексаеновая	22:6 ω 3	6,13	6,29	3,61	3,56

Основной компонент корма для форели — рыбная мука, для производства которой используются морские промысловые рыбы. Таким образом, состав жирных кислот в корме должен соответствовать распределению жирных кислот в тканях этих рыб [5]. Однако количественное распределение жирных кислот в корме варьировало в зависимости от технологии его производства и ввода различных компонентов. Следует учитывать, что замена рыбьего жира растительными маслами приводит к изменению жирнокислотного состава мышц рыб, что влияет на органолептические качества конечного продукта и уменьшает его полезные для здоровья человека характеристики [9].

В наших исследованиях наибольший уровень **насыщенных жирных кислот** (НЖК) установлен для корма 4. Предельные жирные кислоты — одни из основных энергетических субстратов в метаболизме рыб [7]. Показано, что во всех исследованных комбикормах среди насыщенных жирных кислот доля пальмитиновой кислоты (16:0) составляла более 60% от суммы НЖК. Второй и третьей по содержанию среди НЖК были миристиновая (14:0) и стеариновая (18:0) кислоты соответственно. Уровни других НЖК составляли менее 1%.

Содержание **мононенасыщенных жирных кислот** (МНЖК) оказалось выше в кормах 1 и 2. МНЖК активно подвергаются окислению, имеют в основном экзогенное происхождение, депонируются в мышцах и влияют на вкусовые качества товарной продукции [8]. Около 50% суммы МНЖК в комбикормах 1, 2, 3 и 4 занимала олеиновая кислота (18:1 ω 9). На долю пальмитолеиновой (16:1 ω 7), вакценовой (18:1 ω 7) и гондоиновой (20:1 ω 9) кислот приходилось более 40% суммы МНЖК. Содержание остальных исследованных МНЖК было менее 1% от суммы ЖК. При исследовании липидного состава кормов 1 и 2 показана высокая концентрация эруковой (22:1 ω 9) и цис-11-докозеновой (22:1 ω 11) кислот. Согласно литературным данным [7] высокий уровень эруковой кислоты характерен для ракообразных и рапсового масла, поэтому при производстве корма, скорее всего, использовались источники, богатые данными компонентами.

Полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК) исследованных комбикормов представлены семействами ω 3 и ω 6. Превалирующим компонентом среди ω 6 ПНЖК во всех изученных комбикормах была линолевая кислота (18:2 ω 6), доля которой среди ω 6 ПНЖК достигала 65%. Уровень арахидоновой кислоты (20:4 ω 6) составлял около 1% суммы ЖК. Арахидоновая кислота, наряду с эйкозапентаеновой, является предшественником простагландинов. Данные кислоты синтезируются во многих тканях в ответ на различные внеклеточные сигналы и участвуют в функционировании печени, нервной ткани, свертывании крови, иммунных и воспалительных реакциях [7, 8]. В составе корма 3 обнаружено значительное преобладание (более 30% суммы жирных кислот) ω 6 полиненасыщенных жирных кислот. В кормах 1 и 2, в отличие от кормов 3 и 4, содержание физиологиче-

ски важных жирных кислот линоленового ряда, таких как эйкозапентаеновая (20:5 ω 3), докозапентаеновая (22:5 ω 3) и докозагексаеновая (22:6 ω 3) кислоты, соответствовало рекомендованному разработчиками кормов уровню [5], что свидетельствует о высоком качестве исследованных комбикормов. Вероятно, при их производстве в качестве источника липидной составляющей использовался преимущественно рыбий жир, как известно, богатый этими кислотами. Согласно ряду исследований (López и др., 2009) высокий уровень ω 3 ПНЖК способствует эффективному росту и развитию рыб. Среди незаменимых ЖК, которые поступают в организм рыб исключительно в составе пищи [8], установлен наибольший уровень для линолевой кислоты в корме 3, для линоленовой — в кормах 1 и 2. Полиненасыщенные жирные кислоты участвуют в основных физиологических процессах и адаптациях рыб, влияя на жидкость биомембран и активность белков, в том числе ферментов [7].

Физиологическая потребность в незаменимых ω 3 ПНЖК и ω 6 ПНЖК у радужной форели может быть удовлетворена, если в составе корма присутствуют линоленовая и линолевая кислоты в достаточном количестве. Данный вид рыб является пресноводным, и их организм способен трансформировать (элангировать и десатурировать) представленные кислоты до длинноцепочечных с четырьмя–шестью двойными связями (эйкозапентаеновая, докозагексаеновая, арахидоновая и др.) [8]. По сообщению Ватанабе (1982), с увеличением уровня липидов в корме потребность в незаменимых жирных кислотах повышается (для форели составляет 20% суммы всех липидов корма). Дисбаланс в соотношении незаменимых жирных кислот — одна из главных причин снижения скорости роста рыб, ухудшения их физиологического состояния, жизнестойкости и адаптационных возможностей. При меньшем количестве ПНЖК в составе корма наблюдаются потеря аппетита, снижение скорости роста, ухудшение усвоения пищи у лососевых. У радужной форели при недостатке ЖК линоленового ряда (ω 3) особенно часто отмечают избыточное накопление липидов в печени и ее жировое перерождение, эрозию хвостового плавника, шоковый синдром, уменьшение числа эритроцитов в крови, снижение уровня гемоглобина, отклонения в развитии почек, сердечной мышцы, поджелудочной железы. У рыб, выращенных на искусственных кормах с добавлением подсолнечного масла, в котором высокое содержание линолевой кислоты, в мышцах и сердце обнаружена высокая концентрация триацилглицеринов и низкая (в том числе в печени) — фосфолипидов по сравнению с дикорастущей рыбой [7].

У радужной форели и телалипии, культивируемых на корме, содержащем растительные масла, активность Δ 6- и Δ 5-десатураз и элонгаз ЖК была выше в кишечнике, печени, красных мышцах и жировой ткани по сравнению с рыбой, выращенной на комбикорме с рыбьим жиром, что приводило к увеличению количества длинноцепочеч-

ных ПНЖК, но прежде всего к возрастанию количества эйкозапентаеновой и докозагексаеновой кислот [8]. Однако, несмотря на повышенную активность десатурации линоленовой кислоты в тканях рыб (печень, мозг, белые мышцы), многими исследователями показана необходимость высокого содержания ПНЖК в корме с 20-ю и более углеродными атомами для успешного роста и развития рыб, а также прямая зависимость уровня данных кислот в тканях рыб от их содержания в комбикорме [4].

Известно, что большое количество эйкозапентаеновой и докозагексаеновой кислот в кормах для радужной форели благоприятно сказывается на темпе их роста [3]. Достаточный уровень докозагексаеновой кислоты в корме необходим на самых ранних этапах постэмбрионального развития форели, когда процессы роста и становления функций организма протекают особенно интенсивно [8]. Негативное влияние на ростовые процессы молоди оказывает не только низкое содержание ω 3 ПНЖК в корме, но и слишком высокая их концентрация: например, четырехкратное превышение потребностей в ω 3 ПНЖК резко замедляет рост радужной форели. При превышении содержания ω 6 ПНЖК над ω 3 ПНЖК в комбикормах отмечаются нарушения в обмене веществ у рыб [4]. Эйкозапентаеновая и докозагексаеновая кислоты входят в состав рыбьего жира, однако в связи с ускоренными темпами развития аквакультуры этот сырьевой ресурс является дефицитным и дорогостоящим, поэтому при производстве комбикормов его часто заменяют растительными маслами и животными жирами. Однако растительные масла не имеют в своем составе арахидоновой, эйкозапентаеновой и докозагексаеновой кислот, они в большом количестве содержат ПНЖК с числом углеродных атомов 18 и менее, с двумя и тремя двойными связями. В жирах наземных млекопитающих эти физиологически важные кислоты находятся в небольших количествах. Данные особенности жирнокислотного состава растительных и животных жиров по сравнению с рыбьим жиром необходимо учитывать при включении их в рацион рыб.

Таким образом, оценивая жирнокислотный состав кормов, можно предположить, что среди основных источников

сырья при производстве кормов 3 и 4, использовались костная мука из атлантических видов рыб и мелких ракообразных, а в качестве источника растительных масел — соя. Корма 1 и 2, вероятно, производились в основном из продуктов животного происхождения — рыбной муки, рыбьего жира, а из растительных компонентов были добавлены пшеница и кукуруза. Анализ жирнокислотного состава позволяет производителю избирательно подходить к выбору богатых липидами источников сырья для оптимизации биотехнологического производства кормов. Потребитель имеет возможность выбрать корм определенной торговой марки, который наилучшим образом способствует накоплению мышечной массы у форели, ускорению ее роста и улучшению вкусовых качеств продукции.

Финансовое обеспечение исследования осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания №0221-2017-0050 № г.р. АААА-А17-117031710039-3.

Литература

1. Влияние комбикормов различного состава на ростовые процессы радужной форели *Parasalmo mykiss* (Walbaum, 1792) / О. Б. Васильева [и др.] // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. — 2015. — № 11. — С. 99–108.
2. Коросов, А. В. Компьютерная обработка биологических данных: метод. пособие / А. В. Коросов, В. В. Горбач. — Петрозаводск: ПетрГУ, 2010. — 84 с.
3. Назарова, М. А. Сезонные изменения липидного состава тканей радужной форели *Parasalmo mykiss* (Walbaum, 1792), выращенной на различных кормах / М. А. Назарова, О. Б. Васильева, Н. Н. Немова // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. — 2017. — № 6 (167). — С. 12–20.
4. Apparent digestion and apparent retention of lipid and fatty acids in Atlantic cod (*Gadus morhua*) fed increasing dietary lipid levels / J. Hansen [et al.] // *Aquaculture*. — 2008. — V. 284. — № 1–4. — P. 159–166.
5. Towards fish lipid nutrigenomics: current state and prospects for fin-fish aquaculture comparative / M. J. Leaver [et al.] // *Biochemistry and physiology a-molecular & integrative physiology*. — 2006. — V. 145. — P. 258–267.
6. Effect of dietary lipid levels on performance, body composition and fatty acid profile of juvenile white seabass, *Atractoscion nobilis* / L. M. López [et al.] // *Aquaculture*. — 2009. — V. 298. — № 1–2. — P. 101–105.
7. Sargent, J. R. The lipids. Fish nutrition / J. R. Sargent, D. R. Tocher, J. G. Bell. — San Diego: Academic Press, 2002. — 260 p.
8. Tocher, D. R. Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish / D. R. Tocher // *Reviews in fisheries science*. — 2003. — V. 11. — № 2. — P. 107–184.
9. Influence of dietary conjugated linoleic acid on growth, fatty acid composition and hepatic lipogenesis in large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea* R.) / Z. Zhao [et al.] // *J Zhejiang Univ Sci B*. — 2008. — V. 9. — P. 691–700. ■