

АККУМУЛЯЦИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ
В МЫШЦАХ И ПЕЧЕНИ ДВУХЛЕТОК КАРПА (*CYPRINUS CARPIO*)
ПРИ КОРМЛЕНИИ РАЗНЫМИ РАЦИОНАМИ

В.П. ПАНОВ¹, С.Б. МУСТАЕВ^{1,2}, А.В. САФОНОВ¹,
С.С. САФОНОВА¹, А.В. ЗОЛотова

(¹ ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева;

² ФГБНУ «ВНИРО» филиал по пресноводному рыбному хозяйству («ВНИИПРХ»)

В статье рассматриваются вопросы о влиянии различных по качеству кормов на химический состав и особенности накопления питательных веществ в соматической мускулатуре и печени двухлеток карпа. Кормление рыб осуществлялось из маятниковых автокормушек по потребности комбикормами К-111 (23% белка и 3,5% жира) и Карп 38/12 (38% белка и 12% жира). В варианте I использовали комбикорм К-111 (в обеих автокормушках), в варианте II – комбикорм Карп-38/12 (в обеих автокормушках), в варианте III – К-111 и Карп-38/12 (в разных автокормушках). Бионический метод позволяет выявить предпочтение рыб к тому или иному виду корма. Независимо от использованных диет содержание воды в органах и тканях в процессе выращивания двухлеток карпа уменьшается, что обусловлено прежде всего накоплением жира. В меньшей степени это связано с количеством сухого обезжиренного вещества (СОВ).

В красной мускулатуре, независимо от рациона, содержится больше жира, чем в белой (в 3,9–4,2 раза). Сходные данные по жирности получены в печени. Гипаксиальная часть белых мышц по содержанию жира в процессе выращивания у рыб, как правило, несколько превосходит эпаксиальную. Количество СОВ изменяется в меньшей степени и не имеет хорошо выраженной связи со строением органов и тканей рыб.

При использовании всех видов кормов и их сочетании к концу выращивания происходит увеличение жира в мышцах двухлеток. Наиболее интенсивное накопление энергетического вещества происходит в окислительных мышцах рыб при комбинированном рационе (в 38,6%). В печени происходят подобные изменения, но интенсивность накопления жира выше у карпа в варианте II (Карп 38/12) ($P \leq 0,05$). У рыб в варианте III (К-111, Карп 38/12) величина этого показателя носит промежуточный характер. Содержание жира в эпаксиальной и гипаксиальной мускулатуре является достаточно близким. В конце выращивания испытываемые рационы фактически не оказывают влияния на жиронакопление в белых мышцах.

В печени рыб, потребляющих корм Карп 38/12, отмечено наиболее высокое содержание жира. Низкокалорийная диета (К-111) не способствует интенсивному жиронакоплению в печени. Содержание жира в ней у карпов варианта I ниже, чем у двухлеток из варианта II и III в 1,9 и 1,5 раза соответственно. При кормлении К-111 основным депо жира является белая мускулатура (50–64%). Важное место складирования энергетических веществ – гипаксиальная часть мышц (52–78%). Роль красных мышц в этом процессе является более скромной (36–41%).

Использование высококалорийного корма приводит к некоторому изменению количественной локализации жировых запасов. Белые мышцы двухлеток в основном постепенно теряют главенствующее положение при жиронакоплении (41–52%). Количество жира в них

по сравнению с вариантом I снижается на 19,4–33,2% ($P \leq 0,05$). Основными местами аккумуляции жировых веществ становятся печень и красные мышцы (56–59%). Результаты исследования свидетельствуют о взаимосвязи энергоемкости корма и химического состава соматической мускулатуры, ее частей и печени. Особого внимания заслуживает возможность удовлетворять трофические потребности рыб при одновременном использовании кормов.

Ключевые слова: двухлетки карпа, корма, автокормление, рост и развитие, белые, красные мышцы.

Комбикорма различного качества оказывают существенное влияние на обменные процессы в организме рыб. Известно, что выращивание рыб в искусственных условиях на коммерческих кормах приводит к изменению биохимического состава мышц [13]. Две мышечные системы (красные и белые мышцы), имеющие важное биологическое значение для гидробионтов, определяют также качество их мяса, которое имеет большое значение в питании человека.

Интенсивность накопления и динамика питательных веществ в различных типах мускулатуры специфичны и связаны с их функциональным значением [8, 14]. При культивировании рыб в условиях аквакультуры используются рационы с различным энергопротеиновым отношением, содержанием белка [1, 7, 16] и других добавок. Наиболее энергоемкими и достаточно изменчивыми в химическом составе органов и тканей животных являются липиды. При этом существует высокая степень корреляции между процессами роста и депонированием липидов у рыб. Липидная составляющая у рыб является весьма вариабельной и наиболее благоприятной для селекции по сравнению с белковым комплексом [18]. В целом количество жира в соматических и висцеральных системах рыб при увеличении доли липидов в рационе повышается [7]. Содержание белка в соматических мышцах изменяется в меньшей степени, чем относительное количество жира [2]. Более значительным колебаниям подвержено содержание жира, которое зависит от многих факторов как биотического, так и абиотического характера. Помимо этого, жировые запасы неравномерно распределяются в организме различных видов рыб [6, 10, 17]. Целью настоящего исследования является определение влияния высоко- и низкокалорийных кормов, их комбинации на накопление и распределение основных питательных веществ (белка и жира) в мышцах и печени двухлеток карпа.

Материал и методы исследований

Работу проводили на базе Всероссийского научно-исследовательского института пресноводного рыбного хозяйства (ныне филиал ВНИРО), в ОСПХ (опытное селекционно-племенное хозяйство) «Якоть» Дмитровского района Московской области. Объекты исследования – годовики и двухлетки карпа.

Схема опыта представлена в таблице 1. Исследования проводили с апреля по октябрь 2019 г. в 6 прудах площадью 0,07 га каждый, в двух повторностях. Плотность посадки годовиков составляла 7000 экз/га. Перед зарыблением в пруды вносили органическое удобрение (коровий навоз) из расчета 4 т/га. Кормление рыб осуществляли из маятниковых автокормушек вместимостью бункера 25 кг комбикормами К-111 и Карп 38/12, реализуя бионический метод кормления [3]. В варианте I использовали комбикорм К-111 (в обеих автокормушках), в варианте II – комбикорм Карп-38/12 (в обеих автокормушках), в варианте III – К-111 и Карп-38/12 (в разных автокормушках). Комбикорм К-111 содержит 23% сырого протеина, 3,5% жира, не более 8% клетчатки, 10 Мдж/кг переваримой энергии. Энерго-протеиновое отношение составляет 10,3. Комбикорм 38/12 содержит 38% протеина, 12% жира, не более 3,5% клетчатки, 17,1 Мдж переваримой энергии. Энергопротеиновое отношение составляет 10,7.

Схема опыта

Показатели	Вариант		
	I	II	III
Средняя начальная масса рыб, г	30	30	30
Плотность посадки, экз/га	7000	7000	7000
Площадь пруда, га	0,07	0,07	0,07
Количество автокормушек, шт.	2	2	2
Вид корма	К-111	Карп 38/12	К-111, Карп 38/12

Отбор проб осуществляли один раз в месяц. Для исследования отбирали по 6–10 рыб с средней массой характерной для каждого варианта опыта. У рыб определяли массу с точностью до 0,1 г и измеряли длину: большую, малую, длину головы и хвоста, а также большую и малую высоту. Образцы для определения химического состава отбирали в трех областях с левой стороны тела рыб: из средних участков эпаксиальной и гипаксиальной частей белой (гликолитической) и всей красной (окислительной) мускулатуры, а также отпрепарированной печени (рис. 1). Пробы высушивали в сушильном шкафу при 105°C. Осуществляли расчеты по содержанию воды и сухого вещества (СВ). Количество жира определяли в аппаратах Сокслета, в процентах от сырого вещества. О содержании белка судили по сухому обезжиренному остатку (СОВ), который на 86–92% состоит из белка [11]. Для изучения аккумуляции жира устанавливали его содержание и соотношение в различных частях мускулатуры и печени рыб. Из брюшной полости двухлеток извлекали висцеральный жир, рассчитывали коэффициент жирности в% от массы рыбы.

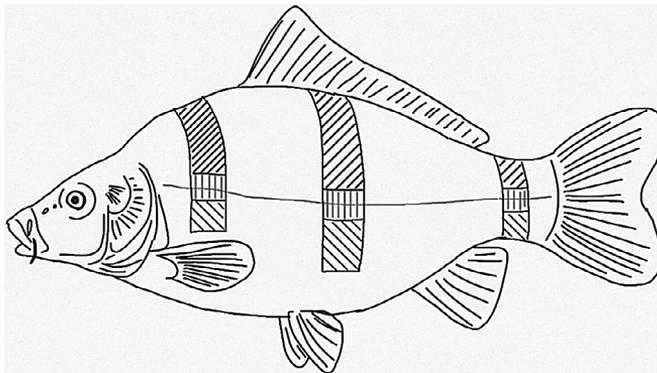


Рис. 1. Места взятия образцов для химического анализа мускулатуры:
 – эпаксиальная мускулатура;  – красная мускулатура;
 – гипаксиальная мускулатура

При изучении скорости накопления белка и жира у рыб применяли формулу простой аллометрии $y = ax^b$ с использованием логарифмического масштаба $\ln y = \ln a + b \ln x$ [5]. В этих формулах x – масса частей мышц и печени; y – масса жира, белка в мышцах и печени; b – аллометрический и степенной коэффициент,

показывающий, во сколько раз быстрее ($b > 1$ положительная аллометрия) или медленнее ($b < 1$ отрицательная аллометрия) накапливается масса питательных веществ относительно массы различных частей мышц или печени. При значении коэффициента $b = 1$ рост массы белка и жира происходит изометрично.

Полученные данные обработаны статистически с использованием программы Microsoft Excel.

Результаты исследования

При пересадке в экспериментальные нагульные пруды у годовиков карпа отмечена высокая оводненность как дорсальных, так и вентральных мышц (85,1 и 84,7% соответственно). Красные мышцы в этот период у рыб слабо развиты и отдельно не рассматривались. Содержание жира в разных частях белых мышц существенно различается. В гипаксиальной части мускулатуры величина этого показателя в 3 раза выше, чем в эпаксиальной (рис. 2). На период начала кормления из автокормушек и при достижении сравнимой массы во всех прудах при использовании естественной кормовой базы содержание воды в белых мышцах рыб уменьшается (разница составляет 2,5–3,1%), а содержание жира незначительно увеличивается. Более существенные изменения наблюдаются по СОВ, доля которого увеличивается на 20,5 (дорсальная часть) и 15,9% (вентральная часть). Содержание воды, жира и СОВ в красных мышцах является близким по своим значениям к дорсальной составляющей белой мускулатуры. При этом печень отличается от мышц более высоким содержанием СВ и жира. Приведенные данные являются стартовыми перед началом кормления рыб различными комбикормами. Независимо от использованных диет содержание воды в органах и тканях в процессе выращивания двухлеток карпа уменьшается, что обусловлено прежде всего накоплением жира. В меньшей степени это связано с количеством СОВ (рис. 2).

В красной мускулатуре, независимо от рациона, содержится больше жира, чем в белой (в 3,9–4,2 раза). Сходные данные по жирности получены в печени (рис. 3). Гипаксиальная часть белых мышц по содержанию жира в процессе выращивания у рыб, как правило, несколько превосходит эпаксиальную. Количество СОВ изменяется в меньшей степени и не имеет хорошо выраженной связи со строением органов и тканей рыб.

При использовании всех видов кормов и их сочетании к концу выращивания происходит увеличение жира в мышцах двухлеток. Наиболее интенсивное накопление энергетического вещества происходит в окислительных мышцах рыб при комбинированном рационе (в 38,6%). В печени происходят подобные изменения, но интенсивность накопления жира выше у карпа в варианте II (Карп 38/12) ($P \leq 0,05$). У рыб в варианте III (К-111, Карп 38/12) величина этого показателя носит промежуточный характер. Содержание жира в эпаксиальной и гипаксиальной мускулатуре является достаточно близким. В конце выращивания испытываемые рационы фактически не оказывают влияния на жиронакопление в белых мышцах.

В печени рыб, потребляющих корм Карп 38/12, отмечено наиболее высокое содержание жира. Низкокалорийная диета (К-111) не способствует интенсивному жиронакоплению в печени. Содержание жира в ней у карпов варианта I ниже, чем у двухлеток из варианта II и III, в 1,9 и 1,5 раза соответственно (рис. 3).

Потребление высококалорийного корма приводит к увеличению СВ в мышцах и печени не только за счет жира, но и благодаря СОВ. В конце опыта содержание белка в мышцах карпов варианта II выше, чем в вариантах I и III. В печени двухлеток содержание СОВ при использовании комбикорма Карп 38/18 и сочетании комбикормов К-111 и Карп 38/12 не различается (рис. 2, 3).

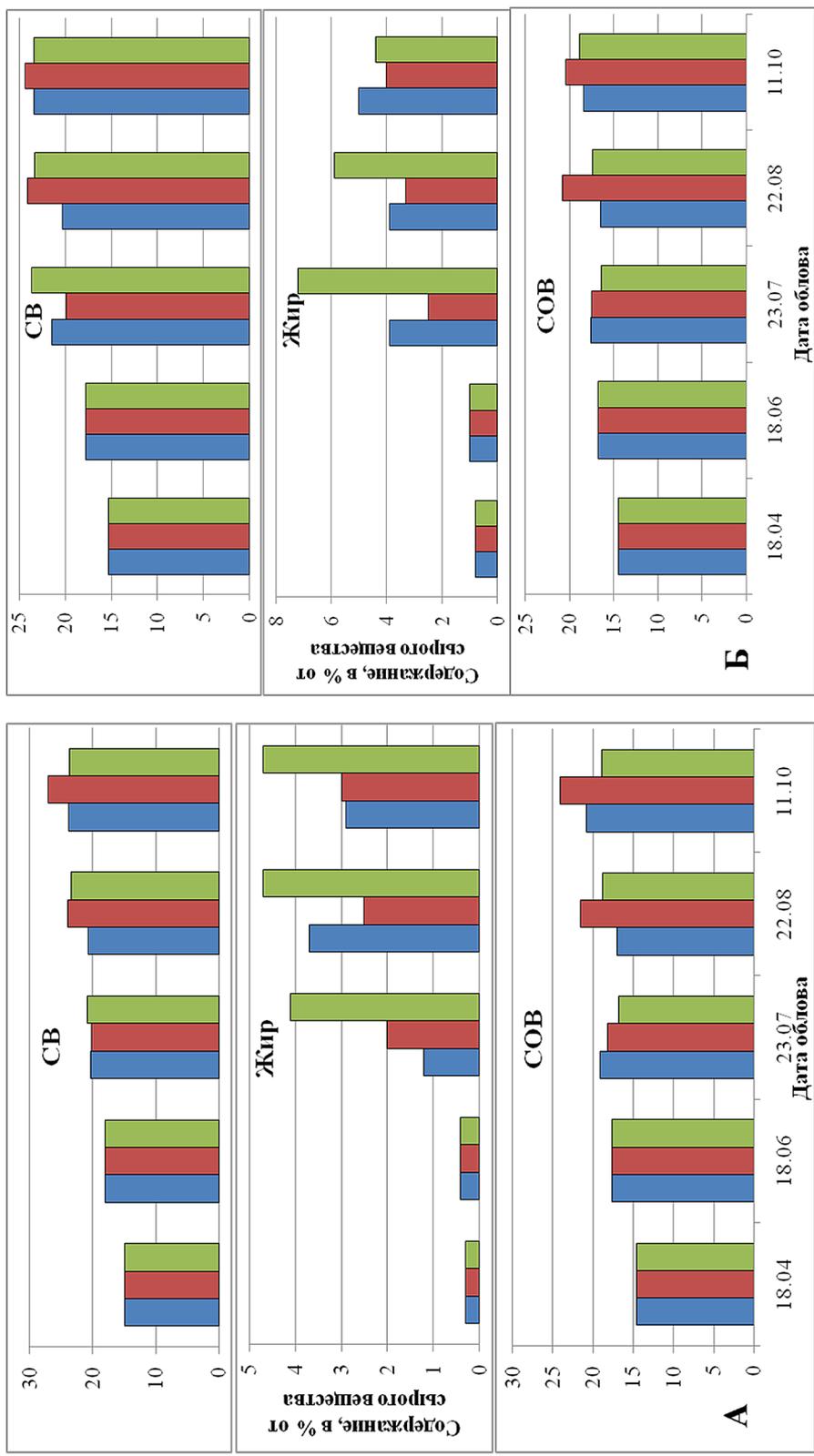


Рис. 2. Содержание веществ в эпаксальной (А) и гипаксальной (Б) мускулатуре, % от сырого вещества: I вариант кормления; II вариант; III вариант

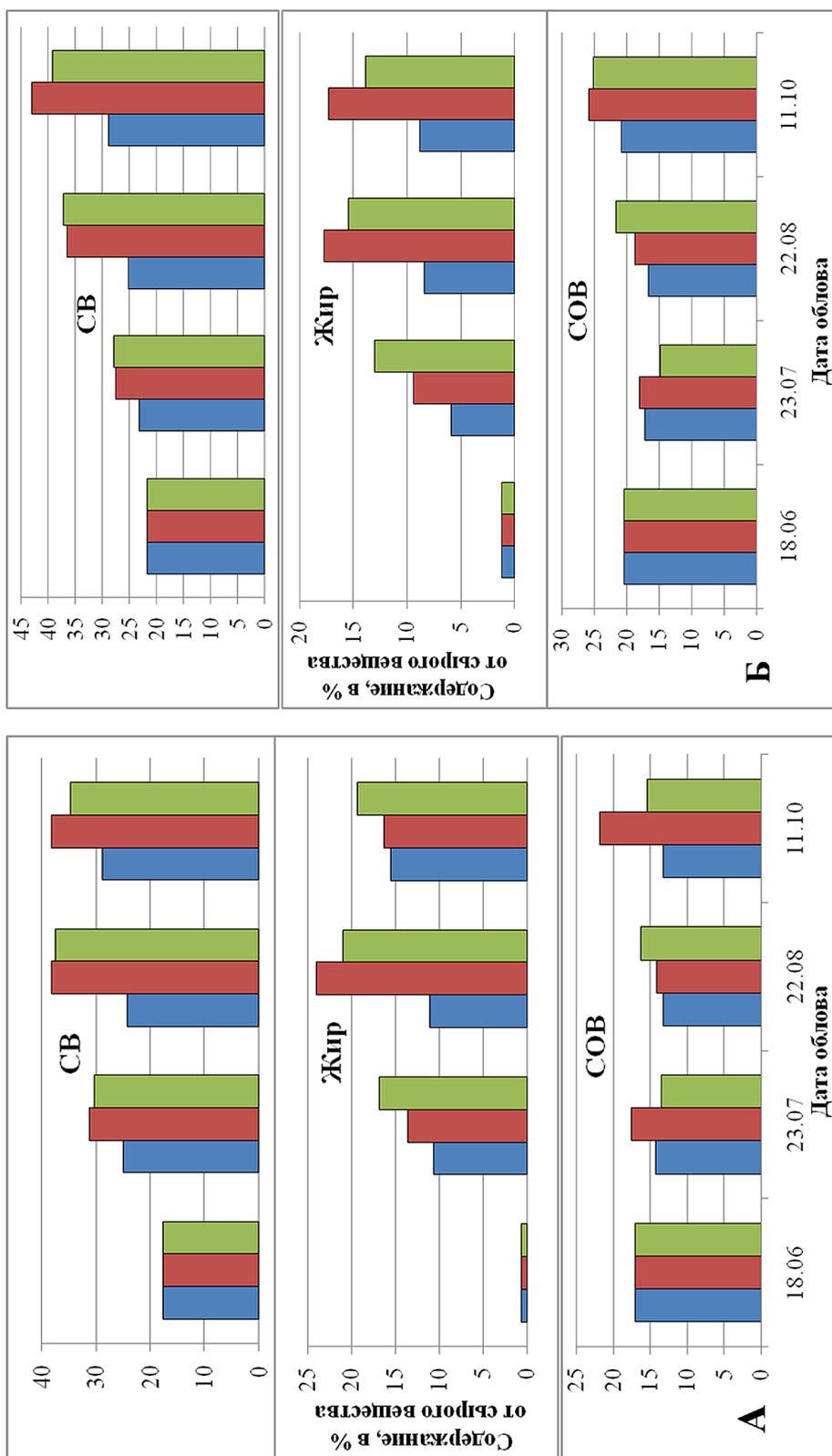


Рис. 3. Содержание веществ в красной мускулатуре (А) и гепатопанкреасе (Б), % от сырого вещества: — I вариант кормления; — II вариант; — III вариант

В начальный период исследования в соматических мышцах (без разделения на типы) основная доля жировой ткани сосредоточена ниже горизонтальной мио-септы (гипоксиально). При дифференцированном подходе рассматриваются части тела и органы, где жировые запасы являются наиболее значимыми. Непосредственно перед началом кормления различными рационами (18.06.2019 г.) основным складом жира является печень (около 70% жира). В дальнейшем происходят процессы, приводящие к перераспределению веществ в организме рыб, и функция основного депо жировой ткани переходит к белым мышцам. При этом приоритет остается за гипаксиальной частью гликолитической белой мускулатуры. Второе место в качестве жирового депо занимает печень. Красные окислительные мышцы ввиду их небольшой массы, несмотря на высокое содержание жира, занимают третье место (табл. 2).

Таблица 2

**Масштабы и распределение жировых запасов
в мышцах и печени двухлеток карпа, %**

Показатель	Дата облова				
	18.04.2019 г.	18.06.2019 г.	23.07.2019 г.	22.08.2019 г.	11.10.2019 г.
К-111					
Белая	-	31.5±1,90	64.0±1,38	58.6±2.01	61.7±2,91
Эпаксиальная	22.4±0,62	9.0±0,57	13.8±1,12	27.7±1.04	18.2±0,97
Гипаксиальная	77.6±0,26	22.4±1,57	50.3±1,34	30.4±1.51	43.5±1,97
Красная	-	0.9±0,09	10.8±1,07	12,7±1.24	13.8±1,31
Печень	-	67.6±1,96	25.2±1,49	28.7±1.69	24.5±2,72
Карп 38/12					
Белая	-	31.4±1,90	51.6±1,43	44.1±2.75	41.2±0.33
Эпаксиальная	22.4±0,62	9.0±0,57	20.5±0,66	18.8±1.07	15.2±0.31
Гипаксиальная	77.6±0,26	22.4±1,57	31.2±1,46	25.3±2.21	25.9±0.22
Красная	-	0.9±0,09	17.2±2,97	23.7±2.61	19.5±0.58
Печень	-	67.6±1,96	31.2±2,19	32.2±4.98	39.3±0.67
К-111, Карп 38/12					
Белая	-	31.4±1,90	48.4±1.66	52.7±0.71	55.2±1.41
Эпаксиальная	22.4±0,62	9.0±0,57	15.3±0.16	22.2±0.85	26.6±0.93
Гипаксиальная	77.6±0,26	22.4±1,57	33.1±1.53	30.5±0.64	28.7±0.49
Красная	-	0.9±0,09	15.1±1.13	20.3±1.57	17.1±0.74
Печень	-	67.6±1,96	36.5±0.63	27.0±1.23	27.7±1.97

При кормлении К-111 основным депо жира является белая мускулатура (50–64%). Важное место складирования энергетических веществ – гипаксиальная часть мышц (52–78%). Роль красных мышц в этом процессе является более скромной (36–41%).

Использование высококалорийного корма приводит к некоторому изменению количественной локализации жировых запасов. Белые мышцы двухлеток в основном постепенно теряют главенствующее положение при жиронакоплении (41–52%). Количество жира в них по сравнению с вариантом I снижается на 19,4–33,2% ($P \leq 0,05$). Основными местами аккумуляции жировых веществ становятся печень и красные мышцы (56–59%).

Отличительной чертой в начальный период комбинированного кормления рыб по сравнению с вариантом II является усиление депонирования жира в печени и ослабление его в мышцах. В дальнейшем направленность этого процесса изменяется в сторону большего накопления жира в белых мышцах (52–55%).

Количество внутривисцерального жира при окончательном облове составляет от 2,1 (К-111) до 4,3% (К-111, Карп 38/12). Возможность использования для питания различных по калорийности кормов усиливает накопление висцерального жира, что в последующем может сказаться на успехе зимовки.

Скорость роста сухого вещества характеризует коэффициент b , значения которого показывают наличие умеренной положительной аллометрии белых (1,11–1,13), красных (1,17–1,25) мышц и печени (1,10–1,22). Интенсивность накопления жира наиболее высока в красных мышцах ($b = 2,21–2,40$), а в белых она минимальна ($b = 1,60–1,64$). Печень по величине этого показателя занимает промежуточное положение. Процессы роста СОВ, особенно в красной мускулатуре, проходят медленно и характеризуются изометрией и отрицательной аллометрией ($b = 0,89–1,00$) (табл. 3).

Таблица 3

Степенной коэффициент b в зависимости от интенсивности накопления питательных веществ, % от массы мышц и печени

Показатель	Вариант		
	I	II	III
Белая мускулатура			
Сухое вещество	1,11	1,13	1,12
Жир	1,64	1,52	1,60
Сухое обезжиренное вещество	1,08	1,10	1,05
Красная мускулатура			
Сухое вещество	1,17	1,25	1,20
Жир	2,40	2,21	2,21
Сухое обезжиренное вещество	0,89	0,97	1,00
Печень			
Сухое вещество	1,10	1,22	1,19
Жир	1,82	1,95	1,78
Сухое обезжиренное вещество	0,97	1,04	1,05

Высокая жирность корма способствует интенсификации процессов накопления сухого вещества, особенно в красных мышцах и печени рыб, и прежде всего – по сравнению с двухлетками из варианта I. Скорость жиронакопления в исследованных органах происходит без ярко выраженных отличий по вариантам опыта. Подобная картина наблюдается и по СОВ.

Автокормление (самокормление) достаточно широко используется при выращивании рыбы в аквакультуре. Этот метод в 70–80-е гг. прошлого столетия был разработан под названием «Бионический метод...» В.В. Лавровским (1981). Использование маятниковых кормушек подобного типа позволяет установить физиологическую потребность рыб (форели, карпа и др.) в пище, то есть их аппетит. Исследования, связанные с этим методом, направлены на изучение объемов потребления корма, ритмики питания, плотности посадки, поведенческих особенностей и продуктивных качеств гидробионтов [3, 4, 9]. При кормлении по потребности радужная форель быстрорастущей линии набирает массу быстрее, чем рыбы медленнорастущей линии (82,6 против 69,3 г) [19].

Рыбы обладают хорошо развитыми органами обоняния и вкуса, поэтому они способны выбирать понравившийся им корм и потреблять его с аппетитом в необходимых количествах, в определенное время суток. При ручной и механической раздаче кормов осуществить это затруднительно. Загружая в автокормушки только один вид корма, мы лишаем рыбу права выбора, и она должна поесть только его и «без аппетита». Это, соответственно, сказывается на обменных процессах, и в итоге – в целом на росте. Об этом свидетельствуют полученные нами результаты опыта. При облове средняя масса карпа при комбинированном кормлении составила 1220 г, что выше в 2,1 и 1,2 раза, чем у рыб из варианта I и II соответственно.

Содержание СВ и жира в печени непосредственно связано с энергоемкостью корма: потребление корма 38/12 стимулирует накопление жира, увеличивая опасность ее перерождения. Однако красные мышцы рыб при комбинированном кормлении становятся более жирными, то есть они являются также депо энергетических веществ. Содержание жира в белых мышцах не связано с качеством корма. При этом они содержат несколько меньше СОВ. Наряду с этим возможность выбора корма рыбами приводит к увеличению доли висцерального жира. У атлантического лосося, выращенного на искусственном корме, содержание жира в мышцах составляет 9,9–12,5%, а у диких рыб – 6,8% [13]. В эпаксиальной части мышц карпа при высоком уровне липидов в корме (23,8%) содержание жира не повышается [16]. С другой стороны, имеется важная особенность, связанная с ограничением норм кормления (25–100%). Снижение количества корма не сказывается на содержании жира в белых и красных мышцах (белые – 2,0%, красные – 11,5–11,7%) [14]. Ограниченное кормление молоди арктического гольца (*Salvelinus alpinus*) не сказывается на содержании жира в теле, во внутриполостных отложениях и печени [15].

Местом депонирования жира при кормлении рыб низкокалорийным рационом становится белая мускулатура, и прежде всего – вентральная ее часть. Высококалорийный корм способствует накоплению жира в красных мышцах и печени. Возможность получать корм с разной жирностью из двух источников (К-111 и Карп 38/12) содействует накоплению энергии в гликолитических мышцах.

Основной фракцией липидов являются нейтральные жирные кислоты (триацилглицериды), содержание которых изменяется даже в пределах одной морфологической структуры. Например, у сериолы (*Seriola quin queradiata*) основное количество триацилглицеридов находится в эпаксиальной части белой мускулатуры. Промежуточное количество находится у головы (9,0%), а в хвостовой части их доля уменьшается (4,8%) [17]. Распределение жировых запасов с учетом всей топографии

имеет свои особенности, что, безусловно, связано с долей той или иной части организма рыб в общей их массе. У атлантического лосося с относительной массой мышц 56,3% депонируется 34,5% жировых запасов, а в печени – всего 0,4%. Жир белых мышц на 93,3% состоит из триацилглицеридов, красных – на 96%, а внутритропостной мышцы – на 93,1% [10].

Использование уравнения регрессии позволяет подтвердить некоторые данные, связанные с динамикой химического состава органов и тканей. Накопление питательных вещества благодаря удовлетворению их трофических потребностей свидетельствует об интенсивности физиологических процессов в организме рыб. В красных мышцах это корректно можно отнести к обмену жира, где величина степенного коэффициента достаточно велика ($b = 2,21-2,40$). За необходимость подобных методов при изучении роста животных высказываются и другие исследователи [20].

Результаты исследования свидетельствуют о взаимосвязи энергоемкости корма и химического состава соматической мускулатуры, ее частей и печени. Особого внимания заслуживает возможность удовлетворять трофические потребности рыб при комбинированной схеме опыта. Это выражается не только в количестве съеденного корма, но и в ольфакторном и вкусовом предпочтении двухлетками того или иного корма. В свою очередь это сказывается на аппетите рыб, имеющем физиологическую основу [12], чем, по-видимому, связаны конечная масса и химический состав исследованных органов и тканей у рыб с комбинированным способом кормления. По нашему мнению, в целях получения оптимальных приростов двухлеток карпа исследования по вкусовому предпочтению рыб необходимо продолжить, используя большее разнообразие кормовых средств.

Библиографический список

1. *Есавкин Ю.И.* Рост и рыбоводные показатели годовиков радужной форели при выращивании на кормах с различным уровнем растительных липидов / Ю.И. Есавкин, В.П. Панов, Н.М. Белковский, А.И. Мищенко // Сборник научных трудов. – М.: МСХА, 1991. – С. 123–128.
2. *Лав Р.М.* Химическая биология рыб / Р.М. Лав // Пищевая промышленность, 1976. – 349 с.
3. *Лавровский В.В.* Пути интенсификации форелеводства / В.В. Лавровский. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 167 с.
4. *Лавровский В.В.* Особенности горизонтальных миграций карпа в пруду / В.В. Лавровский, В.П. Панов, Ю.И. Есавкин, С.И. Саранчев, В.А. Полумордвинов // Известия ТСХА. – 1992. – Вып. 3. – С. 167–173.
5. *Мина М.В.* Рост животных / М.В. Мина, Г.А. Клевезаль. – М.: Наука, 1976. – 291 с.
6. *Панов В.П.* Особенности роста соматической мускулатуры и содержание в ней жира / В.П. Панов // Совершенствование технологии и племенной работы в рыбоводстве: Сборник научных трудов. – М., 1986. – С. 119–125.
7. *Панов В.П.* Влияние липидных добавок в корм на морфобиохимические показатели двухлеток радужной форели / В.П. Панов, В.В. Лавровский, Ю.И. Есавкин, В.В. Смирнов // Известия ТСХА, 1994. – Вып. 3. – С. 203–213.
8. *Панов В.П.* Мясная продуктивность рыб. Биологические особенности и основы формирования мясной продуктивности рыб в условиях аквакультуры / В.П. Панов. – Изд-во LAP LAMBERT, 2014. – 331 с.
9. *Alanara A.* The use of self-feeders in rainbow trout (*Oncorhynchus mikiss*) / A. Alanara // Aquaculture. – 1996. – Vol. 145. – P. 1–20.

10. *Aursand M.* Lipid distribution and commercially farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) / M. Aursand, B. Breivik, J.R. Rainuzzo, L. Jorgensen, V. Mohr // *J. Sci.FoodAgr.*, 1994. – Vol. 64. – P. 239–248.
11. *Denton J.E.* Body composition and organ weights rainbow trout, *Salmo gairdneri* / J.E. Denton, M.K. Yousef // *J. Fish Biol.*, 1976. – Vol. 8. – P. 489–499.
12. *Fletcher D.J.* The physiological control of appetite in fish / D.J. Fletcher // *Comp. Biochem. Physiol.*, 1984. – 78A. – P. 617–628.
13. *Johnston I.A.* Muscle and quality traits in wild and farmed Atlantic salmon / I.A. Johnston, X. Li, V.L.A. Vieira D. Nickell, A. Dingwall, R. Alderson, P. Capbell, R. Bickerdike // *Aquaculture*, 2006. – Vol. 256. – P. 323–336.
14. *Kiessling A.* Effect of reduced feed ration levels on fat content and fatty acid composition in white and red muscle from rainbow trout / A. Kiessling, L. Johansson, T. Storebakken // *Aquaculture*, 1989. – Vol. 79. – P. 169–175.
15. *Miglavs I.* The effect of feeding regime on proximate body composition and patterns of energy deposition in juvenile Arctic charr, *Salvelinus alpinus* / I. Miglavs, M. Jobling // *J. Fish Biol.*, 1989. – Vol. 35. – P. 1–11.
16. *Steffens W.* Influence of nutrition on the lipid quality of pond fish: common carp (*Cyprinus carpio*) and tench (*Tinca tinca*) / W. Steffens, M. Wirth // *Aquacult.Int.*, 2007. – Vol. 15. – P. 313–319.
17. *Thakur D.P.* Lipid composition and deposition of cultured yellowtail *Seriola quinqueradiata* muscle at different anatomical locations in relation to meat texture / D.P. Thakur, K. Morioka, Y. Iton, A. Obatake // *Fish.Sci.*, 2003. – Vol. 69. – P. 487–494.
18. *Tobin D.* Fat or lean. The quantitative genetic basis for selection strategies of muscle and body composition traits in breeding schemes of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) / D. Tobin, A. Kause, E.A. Mantyssan, A.M. Martin, D.F. Houlihan, A. Dobly, A. Kiessling, K. Rungruangsak-Torrissen O. Ritola, K. Ruohonen // *Aquaculture*, 2006 – Vol. 261. – P. 510–521.
19. *Valenta L.M.P.* Voluntary feed intake, feed and nutrient utilization in slow and fast growing rainbow trout strains / L.M.P. Valenta B. Fauconnneau E.F.S. Gomes // *Aquat. LivingResour*, 1998. – Vol. 11. – P. 93–99.
20. *Weartherley A.H.* Relative growth of tissues at different somatic growth rates in rainbow trout *Salmo gairdneri* Richardson / A.H. Weartherley, H.S. Gill // *J. Fish Biol.*, 1983. – Vol. 22. – P. 43–60.

ACCUMULATION AND DISTRIBUTION OF NUTRIENTS IN THE MUSCLES
AND HEPATOPANCREAS OF TWO-YEAR-OLD CARP (*CYPRINUS CARPIO*)
FED WITH DIFFERENT RATIONS

V.P. PANOV¹, S.B. MUSTAEV^{1,2}, A.V. SAFONOV¹, S.S. SAFONOVA¹

(¹Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy;
²VNIRO Branch of Freshwater Pond Fish Farming)

The paper deals with the influence of different feed quality on the chemical composition and features of nutrient accumulation in the somatic muscles and hepatopancreas of two-year-old carp species. Fish were fed using pendulum auto-feeders on demand with K-111 compound feeds (23% protein and 3.5% fat) and Karp 38/12 (38% protein and 12% fat). In variant I, K-111 compound feed was used (in both car feeders), in variant II – Karp-38/12 (in both car feeders), in variant III–K-111 and Karp-38/12 (in different car feeders). The bionic method allows identifying

the preference of fish for a particular type of feed. Regardless of the diets used, the water content in organs and tissues decreases during the growing of two-year-old carp species, which is primarily due to the accumulation of fat. To a lesser extent, this is due to the number of dry fat-free substance.

Red muscles, regardless of the diet, contain more fat than the white one (in 3.9–4.2 times). Similar data on fat content were obtained for the liver. As a rule, the hypaxial part of the white muscles slightly exceeds the epaxial one in terms of fat content in the process of fish growing. The number of dry fat-free substance varies to a lesser extent and does not have a well-defined relationship with the structure of fish organs and tissues.

When using all types of feed and their combination by the end of growing, there is an increase in fat in the muscles of two-year-old species. The most intensive accumulation of energy substance occurs in the oxidative muscles of fish fed with a combined diet (38.6%). Similar changes occur in the hepatopancreas, but the intensity of fat accumulation is higher in carp in variant II (Karp 38/12) ($P \leq 0.05$). In fish in variant III (K-111, Karp 38/12), the value of this indicator is intermediate. The fat content in the epaxial and hypaxial muscles is quite similar. At the end of growing, the tested diets actually have no effect on fat accumulation in white muscles.

The hepatopancreas of fish that consume "Karp 38/12" food has the highest fat content. A low-calorie diet (K-111) does not contribute to intensive fat accumulation in the hepatopancreas. The fat content in carp species of variant I is lower than in two-year-old species from variant II and III by 1.9 and 1.5 times, respectively. When feeding K-111, the main depot of fat is white muscle (50–64%). An important place for storing energy substances is the hypaxial part of the muscles (52–78%). The role of red muscles in this process is less significant (36–41%).

The use of high-calorie feed leads to some changes in the quantitative localization of fat reserves. White muscles of two-year-old species tend to gradually lose their dominant position during fat accumulation (41–52%). The amount of fat in them is reduced by 19.4–33.2% ($P \leq 0.05$), as compared with option I. The main places of fat accumulation are the hepatopancreas and red muscles (56–59%). The study results indicate the relationship between the energy intensity of feed and the chemical composition of somatic muscles, their parts and the hepatopancreas. Special attention should be paid to the problems of ensuring the trophic needs of fish when simultaneously using feed products.

Key words: two-year-old carp species, feed products, auto-feeding, growth and development, white and red muscles

References

1. Esavkin Yu.I., Panov V.P., Belkovskiy N.M., Mishchenko A.I. Rost i rybovodnye pokazateli godovikov raduzhnoy foreli pri vyrashchivanii na kormakh s razlichnym urovnem rastitel'nykh lipidov [Growth and fish-breeding indicators of rainbow trout yearlings when grown on feed with different levels of plant lipids] // Sb. nauchn. tr., M.: MSKHA, 1991: 123–128. (In Rus.)
2. Lav R.M. Khimicheskaya biologiya ryb [Chemical biology of fish] // Pishchevaya prom-st', 1976: 349. (In Rus.)
3. Lavrovskiy V.V. Puti intensifikatsii forelevodstva [Ways to intensify trout breeding] // M.: Legk. i pishch. prom-st', 1981: 167. (In Rus.)
4. Lavrovskiy V.V., Panov V.P., Esavkin Yu.I., Saranchev S.I., Polumordvinov V.A. Osobennosti gorizontal'nykh migratsiy karpa v prudu [Features of horizontal migrations of carp in the pond] // Izvestiya TSKHA, 1992; 3: 167–173. (In Rus.)
5. Mina M.V., Klevezal', G.A. Rost zhivotnykh [Animal growth] // M.: Nauka, 1976: 291. (In Rus.)
6. Panov V.P. Osobennosti rosta somaticheskoy muskulatury i sodержanie v ney zhira [Features of the growth of somatic muscles and its content of fat] // Sb. nauchn. tr.

Sovershenstvovanie tekhnologii i plemennoy raboty v rybovodstve – M., 1986: 119–125. (In Rus.)

7. *Panov V.P., Lavrovskiy V.V., Esavkin Yu.I., Smirnov V.V.* Vliyanie lipidnykh dobavok v korm na morfobiokhimicheskie pokazateli dvukhletok raduzhnoy foreli [Effect of lipid additives in feed on the morphobiochemical parameters of two-year-old rainbow trout] // *Izvestiya TSKHA*, 1994; 3: 203–213. (In Rus.)

8. *Panov V.P.* Myasnaya produktivnost' ryb. Biologicheskie osobennosti i osnovy formirovaniya myasnoj produktivnosti ryb v usloviyah akvakul'tury [Fish meat productivity. Biological features and foundations of the formation of fish meat productivity in aquaculture] // *Izd-vo LAPLAMBERT*, 2014: 331. (In Rus.)

9. *Alanara A.* The use of self-feeders in rainbow trout (*Oncorhynchus mikiss*) // *Aquaculture*, 1996; 145: 1–20.

10. *Aursand M., Breivik B., Rainuzzo J.R., Jorgensen L., Mohr V.* Lipid distribution and commercially farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) // *J. Sci. Food Agr.*, 1994; 64: 239–248.

11. *Denton J.E., Yousef M.K.* Body composition and organ weights rainbow trout, *Salmo gairdneri* // *J. Fish Biol.*, 1976; 8: 489–499.

12. *Fletcher D.J.* The physiological control of appetite in fish // *Comp. Biochem. Physiol.*, 1984; 78A: 617–628.

13. *Johnston I.A., Li X., Vieira V.L.A., Nickell D., Dingwall A., Alderson R., Campbell P., Bickerdike R.* Muscle and quality traits in wild and farmed Atlantic salmon // *Aquaculture*, 2006; 256: 323–336.

14. *Kiessling A., Johansson L., Storebakken T.* Effect of reduced feed ration levels on fat content and fatty acid composition in white and red muscle from rainbow trout // *Aquaculture*, 1989; 79: 169–175.

15. *Miglavs I., Jobling M.* The effect of feeding regime on proximate body composition and patterns of energy deposition in juvenile Arctic charr, *Salvelinus alpinus* // *J. Fish Biol.*, 1989; 35: 1–11.

16. *Steffens W., Wirth M.* Influence of nutrition on the lipid quality of pond fish: common carp (*Cyprinus carpio*) and tench (*Tinca tinca*) // *Aquacult. Int.*, 2007; 15: 313–319.

17. *Thakur D.P., Morioka K., Iton Y., Obatake A.* Lipid composition and deposition of cultured yellowtail *Seriola quinqueradiata* muscle at different anatomical locations in relation to meat texture // *Fish. Sci.*, 2003; 69: 487–494.

18. *Tobin D., Kause A., Mantyssan E.A., Martin A.M., Houlihan D.F., Dobby A., Kiessling A., Rungruangsak-Torrissen K., Ritola O., Ruohonen K.* Fat or lean. The quantitative genetic basis for selection strategies of muscle and body composition traits in breeding schemes of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // *Aquaculture*, 2006; 261: 510–521.

19. *Valenta L.M.P., Fauconnneau B., Gomes E.F.S.* Voluntary feed intake, feed and nutrient utilization in slow and fast growing rainbow trout strains // *Aquat. Living Resour.*, 1998; 11: 93–99.

20. *Weartherley A.H., Gill H.S.* Relative growth of tissues at different somatic growth rates in rainbow trout *Salmo gairdneri* Richardson // *J. Fish Biol.*, 1983; 22: 43–60.

Панов Валерий Петрович, доктор биологических наук, профессор кафедры морфологии и ветеринарно-санитарной экспертизы РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 977–14–47; e-mail: panovval@gmail.com).

Мустаев Сергей Борисович, кандидат биологических наук, доцент кафедры аквакультуры и пчеловодства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550,

г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 977–14–47); руководитель группы комплексной интенсификации прудового рыбоводства филиала по пресноводному рыбному хозяйству ФГБНУ «ВНИРО» («ВНИИПРХ») (141821, Российская Федерация, Московская область, Дмитровский р-н, п. Рыбное; тел.: (495) 108–68–56; e-mail: mustaevsb@yandex.ru).

Сафонов Александр Владимирович, аспирант кафедры морфологии и ветеринарно-санитарной экспертизы РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 977–14–47; e-mail: aleks.safonow@yandex.ru).

Сафонова Станислава Сергеевна, магистрант факультета зоотехнии и биологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 977–14–47; e-mail: sfalij@yandex.ru).

Золотова Анастасия Владимировна, кандидат биологических наук, доцент кафедры морфологии и ветеринарно-санитарной экспертиз РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 977–14–47; email: avzolutova@gmail.com).

Valeriy P. Panov, DSc (Bio), Professor, the Department of Morphology and Veterinary Sanitary Examination, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127550, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49; phone: (499) 977–14–47; e-mail: panovval@gmail.com).

Sergey B. Mustaev, PhD (Bio), Associate Professor, the Department of Aquaculture and Bee-Keeping, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127550, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49; phone: (499) 977–14–47; Head of the Group for Complex Intensification of Pond Fish Farming of the Freshwater Fisheries, VNIRO Branch (141821, Moscow region, Dmitrov district, phone: (495) 108–68–56; e-mail: mustaevsb@yandex.ru).

Aleksandr V. Safonov, postgraduate student, the Department of Morphology and Veterinary Sanitary Examination, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127550, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49; phone: (499) 977–14–47; e-mail: aleks.safonow@yandex.ru)

Stanislava S. Safonova, 1st year MSc student, the Faculty of Animal Science and Biology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127550, Moscow, Timiryazevskaya str., 49; phone: (499) 977–14–47; e-mail: sfalij@yandex.ru).

Anastasia V. Zolotova, PhD (Bio), Associate Professor, the Department of Morphology and Veterinary Sanitary Examination, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127550, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49; phone: (499) 977–14–47; e-mail: avzolutova@gmail.com).