

УДК 591.05

## УПИТАННОСТЬ И ЗАПАСЫ ЖИРА: КАКОЙ ИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УПИТАННОСТИ ЛУЧШЕ? ПРОВЕРКА НА ХОМЯЧКЕ РОБОРОВСКОГО (*PHODOPUS ROBOROVSKII*, CRICETIDAE, RODENTIA)

© 2022 г. Н. Ю. Васильева<sup>а</sup>, \*, А. М. Хрущова<sup>а</sup>, \*\*, К. А. Роговин<sup>а</sup>, \*\*\*

<sup>а</sup>Институт проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова РАН,  
Москва, 119071 Россия

\*e-mail: nuy1@yandex.ru

\*\*e-mail: cricetulus@yandex.ru

\*\*\*e-mail: krogovin@yandex.ru

Поступила в редакцию 02.07.2021 г.

После доработки 22.08.2021 г.

Принята к публикации 27.08.2021 г.

В исследованиях млекопитающих, как правило, предполагается, что упитанность находится в прямой зависимости от массы жировых отложений. Однако прямые проверки связи показателей упитанности с реальными запасами жира редки. Мы проверили способность 13 показателей упитанности, применявшихся разными авторами, прогнозировать жировые запасы у одновозрастных самцов хомячка Роборовского (*Phodopus roborovskii* Satunin 1903; Cricetidae, Rodentia), содержащихся в стандартных условиях на долгом световом дне (16D: 8N). Некоторые индексы отношения массы тела к длине тела и ее производным лучше предсказывают запасы жира, чем показатели в виде остатков регрессии массы тела на его длину. Наилучшими предикторами общей массы запасенного жира, общих запасов жира в процентах по отношению к массе тела, массы полостного жира оказались масса тела и некоторые индексы отношения (такие как отношение массы тела к длине тела, отношение логарифма массы к логарифму длины тела, отношение массы тела к квадрату длины, или корень кубический из отношения массы к длине тела). Хорошим инструментом для предсказания запасов жира в организме оказалось использование общих регрессионных моделей (GRM). В целом полученные нами результаты свидетельствуют о важности проверки на опыте возможностей того или иного показателя упитанности до того, как он будет использован в конкретном исследовательском проекте.

**Ключевые слова:** показатели упитанности, моделирование

**DOI:** 10.31857/S0044513422070121

Показатели упитанности, или физического статуса, организма (body condition indices) широко используются в экологических исследованиях как косвенная характеристика приспособленности особей в популяции (Wilson, Nussey, 2010). Эти показатели призваны служить индикаторами энергетического, ресурсного капитала, накопленного организмом, и указывать на состояние его здоровья, жизнеспособность. В разное время предлагались разные показатели, рассчитываемые исходя из простых, легко доступных измерений, – массы животного и внешних размеров тела или его частей. В экологической литературе фигурируют в основном два подхода к оценкам показателей упитанности. Один основан на оценках отношения массы животного к той или иной размерной характеристике и ее производным (далее “индексы отношения”) (Перелешин, 1943;

Lunn, Boyd, 1993; Huot et al., 1995; Hayes, Shonkwiler, 2001; Tierney et al., 2001; Bercovitch et al., 2003 и др.). Другой подход оперирует остатками линейной регрессии массы тела животного на размерную морфометрическую переменную (ниже “остаточные показатели”) (Cavallini, 1996; Jakob et al., 1996; Christe et al., 1998; Hayes, Shonkwiler, 2001; Tella et al., 1997; McElroy et al., 2007; Harris, 2008 и др.). Плюсы и минусы прямых индексов отношения по сравнению с показателями в виде остатков регрессии многократно обсуждались (Green, 2001; Schulte-Hostedde et al., 2005; Peig, Green, 2009; Labocha, Hayes, 2012 и др.). К основным недостаткам индексов отношения относится несвобода от влияния линейного размера тела или его частей и проблематичность экстраполяции на животных другого размерного ряда (Jakob et al., 1996; Hayes, Shonkwiler, 2001). Остатки ре-

грессии массы тела на размерные показатели свободны от влияния размера как такового, однако имеют ряд ограничений, связанных с исходными допущениями, в частности с предположением о линейном увеличении массы по мере увеличения размеров тела (Green, 2001). Использование остатков не позволяет проводить межпопуляционные сравнения (Jakob et al., 1996). Существуют и другие ограничения (Darlington, Smulders, 2001; Garcia-Berthou, 2001; Green, 2001; Hayes, Shonkwiler, 2001; Freckleton, 2002). Отсутствие универсальных решений проблемы показателей упитанности обусловило поиск более адекватных морфометрических переменных, с одной стороны (Labocha et al., 2014), и новых математических решений — с другой. Примером последних может служить индекс “масштабированной массы” (Scaled mass index), теоретически свободный от влияния размера и одновременно приемлемый для межпопуляционных сравнений (Peig, Green, 2009, 2010).

Ограничения, обусловленные методами расчета показателей упитанности, а также морфофизиологические и экологические особенности видов делают крайне желательными прямые проверки эффективности показателей упитанности, накопленных в арсенале экологов, путем анализа их связи непосредственно с энергетическими резервами организма.

В исследованиях, проводимых на млекопитающих, как правило, предполагается, что упитанность (body condition) находится в прямой зависимости от массы жировых отложений (Labocha, Hayes, 2012; Wilder et al., 2016). Однако прямые проверки связи показателей упитанности с реальными запасами жира редки. Среди грызунов такие оценки существуют для желтого соснового бурундука (*Neotamias amoenus*), пенсильванской полевки (*Microtus pennsylvanicus*), пышнохвостого лесного хомяка (*Neotoma cinerea*), восточного оленьего хомячка (*Peromyscus maniculatus*) (Schulte-Hostedde et al., 2001, 2005), морской свинки (*Cavia porcellus*) (Michel, Bonnet, 2012), домовый мыши (*Mus musculus*) (Labocha et al., 2014).

Цель нашего исследования — проверка способности показателей упитанности или физического статуса организма (табл. 1), использовавшихся разными авторами, прогнозировать жировые запасы у хомячка Роборовского (*Phodopus roborovskii* Satunin 1903; Cricetidae, Rodentia). Мы сравнивали одновозрастных взрослых хомячков одного пола, содержащихся в одинаковых условиях. Поэтому в вариации массы тела должен быть велик вес не структурной компоненты массы, связанной с возрастными особенностями развития (роста), а вес именно функциональной со-

ставляющей, которая отражает увеличение массы тела в связи с ростом запаса жировых отложений.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

**Животные.** В работе использованы 62 взрослых одновозрастных (10–11 мес.) самца хомячка Роборовского, выведенных из эксперимента по влиянию продолжительности светового дня на репродуктивные и иммунные функции (Vasilieva et al., 2020). После окончания эксперимента в середине марта 2018 г. 28 хомячков, содержащихся в индивидуальных клетках на коротком дне (8L:16D), были переведены на долгий день (16L:8D). Другие 34 хомячка продолжали жить при долгом дне. К началу июня самцы, содержащиеся на коротком дне, полностью компенсировали различия в массе тела и во внешних морфометрических показателях (размер среднебрюшной железы, аногенитальное расстояние, длина тела) ( $F_{4,53} = 1.5, p = 0.21$ ). 14 июня 2018 г. все самцы были умерщвлены диэтиловым эфиром. Были сделаны указанные выше измерения, после чего тела хомячков упаковали в полиэтиленовые пакеты, поместили в пластиковый контейнер для минимизации испарения, заморозили и хранили при  $-20^{\circ}\text{C}$ . Выборочные оценки массы тела хомячков ( $n = 29$ ) до замораживания и после размораживания составили в среднем  $28.5 \pm 0.9$  и  $28.3 \pm 0.9$  г соответственно. Потеря первоначальной массы в результате хранения была минимальной и не могла значимо повлиять на результат нашего исследования. Животных размораживали непосредственно перед вскрытием при комнатной температуре, взвешивали, после вскрытия оценивали взвешиванием с точностью до 1 мг запасы белого жира (подкожного, ассоциированного с половыми органами, оставшегося нутряного), запас бурого жира. Внутренние органы (семенники, придатки семенников, почки, селезенку и печень) взвешивали с точностью до 1 мг.

**Сравниваемые показатели и статистика.** 13 проверявшихся нами показателей упитанности, формулы для расчета и ссылки на источники информации приведены в табл. 1. Первые шесть показателей — это индексы, представляющие собой отношения массы тела к линейному размеру тела или его производным. Два других представлены частными от деления массы тела на теоретическую (predicted) массу, вычисленную по линейной регрессии массы тела на его длину, и частными от деления логарифма массы на теоретическую массу, рассчитанную по линейной регрессии лог-трансформированной массы тела на лог-трансформированную длину тела. Следующие три показателя упитанности представляют собой остат-

Таблица 1. Сравнимые показатели упитанности

Индекс	Аббревиатура	Источник*
Масса тела, деленная на длину тела	BM/L	Lunn, Boyd, 1993; Huot et al., 1995
Масса тела, деленная на длину тела в квадрате	BM/L <sup>2</sup>	Jelliffe, Jelliffe, 1979; Tierney et al., 2001; Bercovitch et al., 2003
Масса тела, деленная на длину тела в кубе	BM/L <sup>3</sup>	Fulton, 1904; Перелешин, 1943; Huot et al., 1995
Масса тела, деленная на длину тела в степени, эмпирически определенной по нелинейной регрессии массы тела на длину тела	BM/L <sup>x</sup>	Le Cren, 1951; Ricker, 1973
Кубический корень из частного от деления массы тела на его длину	$\sqrt[3]{BM/L}$	Tierney et al., 2001
Логарифм массы тела, деленный на логарифм длины тела	lg BM/lg L	Hayes, Shonkwiler, 2001
Масса тела, деленная на теоретическую массу, вычисленную по линейной регрессии массы тела на его длину	BM/pr BM	Hayes, Shonkwiler, 2001
Логарифм массы тела, деленный на теоретически рассчитанную массу на основе линейной регрессии лог-трансформированной массы тела на лог-трансформированную длину тела	lg BM/pr lg BM	Hayes, Shonkwiler, 2001
Остатки линейной регрессии массы тела на длину тела	resBM/L	Cavallini, 1996; Christe et al., 1998
Остатки линейной регрессии массы тела на длину тела в кубе	resBM/L <sup>3</sup>	Tella et al., 1997; McElroy et al., 2007
Остатки линейной регрессии логарифма массы тела на логарифм длины тела	reslg BM/lg L	Hwang et al., 2005; Harris, 2008
Остатки линейной регрессии массы тела на первую главную компоненту (PC1) внешних размерных признаков (L, MVG, An-Gen)	resBM/PC1 <sub>ext</sub>	Schulte-Hostedde et al., 2001; Labocha et al., 2014
Scaled mass index	SMI	Peig, Green, 2009

Примечания. \* Ссылки не обязательно являются первоисточниками; их следует рассматривать как методические примеры.

ки от линейной регрессии массы тела на длину тела, массы тела на длину тела в кубе и логарифма массы тела на логарифм длины тела. Еще один показатель представлен остатками от регрессии массы тела на первую главную компоненту (PC1), которая образована взаимосвязанными морфометрическими показателями (длина тела, продольный размер среднебрюшной железы, аногенитальное расстояние) и получена в результате анализа предварительно лог-трансформированных морфометрических характеристик методом главных компонент. PC1 объясняет 62% общей дисперсии. Аналогичный прием, но с использованием других размерных показателей, фигурирует в литературе (Schulte-Hostedde et al., 2001; Labocha et al., 2014). Наконец, еще один показатель упитанности, известный как Scaled Mass Index (SMI), вычисляли по формуле:  $SMI = M_i \times$

$\times [L_0/L_i]^{bSMA}$ , где  $M_i$  и  $L_i$  — масса тела и линейный размер тела  $i$ -индивида соответственно;  $bSMA$  — показатель степени, оцениваемый по SMA регрессии (Standardized Major Axis Regression)  $\ln M$  на  $\ln L$ ;  $L_0$  — среднее арифметическое значение для исследуемой выборки (Peig, Green, 2009).

Мы также оценили связи массы тела, внешних морфометрических характеристик и массы внутренних органов (семенники, придатки семенников, селезенка, почки, печень) (табл. 1) с жировыми резервами. В качестве независимой переменной — предиктора запасов жира — использован также результат объединения в одну компоненту весовых характеристик внутренних органов методом главных компонент (61.4% объясненной дисперсии).

**Таблица 2.** Масса жировых отложений, масса тела и внутренних органов, а также внешние размерные признаки в исследованной выборке самцов хомячка Роборовского

Признак	Аббревиатура	<i>n</i>	Среднее	SD	Медиана	Мин–Макс
Жир (весь запас), мг	FM	61	4962	2339	4292	1407–12750
% жира	% FM	61	16.5	4.9	16	7.6–28.5
Нутряной белый жир, мг	IFM	62	618	356	547	20–1610
Бурый жир, мг	BFM	61	356	242	319	36–1540
Белый жир вокруг половых органов, мг	TFM	62	553	159	525	252–1042
Масса тела, г	BM	62	28.9	5.3	27.4	18.5–44.8
Длина тела, мм	L	62	90	4	90	80–102
Длина среднебрюшной железы, мм	MVG	59	19.8	4	20	12–29
Аногенитальное расстояние, мм	An-Gen	59	14.0	1.8	14	10–18
Семенник (среднее), мг	TST	62	442	116	441	147–735
Придаток семенника (среднее), мг	EPD	61	53	16	52	10–85
Селезенка, мг	SPL	56	49	18	46	27–152
Почка (среднее), мг	REN	60	191	38	190	131–318
Печень, мг	HEP	60	1395	264	1400	750–2240

Внешние морфометрические характеристики и масса тела были включены в общие регрессионные модели (General Regression Models, GRM) в качестве независимых переменных (предикторов) для оценки их способности прогнозировать запас жировых резервов организма (зависимая переменная). Выбор оптимальной модели проведен путем пошагового исключения переменных-предикторов. В разных моделях в качестве зависимой переменной использованы общий запас жира, процент жира по отношению к массе тела, запас бурого жира, запас не связанного с половыми органами нутряного белого жира и запас белого жира, ассоциированного с половыми органами – семенниками и их придатками. Расчеты проведены с использованием пакета программ Statistica, v.7. В таблицах уравнения линейной регрессии и значения коэффициента детерминации ( $r^2$ ) приведены для всех распределений, не отличающихся от нормальных по критерию Колмогорова-Смирнова. Для случаев отличия формы распределения от нормального по критерию Шапиро–Уилкса приведены непараметрические корреляции Спирмена. Размеры выборок указаны в таблицах. Небольшие различия в числе данных связаны с отсутствием отдельных измерений. В ряде случаев использована логарифмическая трансформация данных (десятичный логарифм) как способ нормализации распределений.

#### Этические принципы работы с животными

В исследовании мы руководствовались рекомендациями “Guidelines for the treatment of ani-

mals in behavioural research and teaching. ASAB/ABS 2012” (Buchanan et al., 2012) и законодательством РФ. Проект исследования одобрен Комиссией по биоэтике при ИПЭЭ им. А.Н. Северцова РАН, протокол № 23 от 31.01.2018.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ

Общий запас отложений жира у исследованных самцов хомячка Роборовского варьировал от 1.4 до 12.75 г, а по отношению к массе тела – от 7.6 до 28.5%. По отношению к общим жировым запасам отложения белого жира в полости тела, не связанные с половыми органами, составляли в среднем 12.45%, ассоциированные с половыми органами – 11.14%. Запасы бурого жира составляли 7.17%. Остальное приходилось на подкожные отложения (табл. 2). Из всех показателей, оценивающих состояние жировых запасов, наилучшими предикторами оказались масса тела и прямые индексы отношения № 12, 13, 15–17 (табл. 3–6). Отношения массы тела к длине тела или отношение их логарифмов – лучшие предикторы общих запасов жира. Эффект массы тела подтверждается и сильной линейной зависимостью остатков регрессии общей массы жировых отложений на длину тела от остатков регрессии массы тела на длину тела (рис. 1). Индексы, представленные частными от деления массы тела на массу, предсказанную регрессией массы на длину тела (№ 18 и 19), а также показатели, представляющие собой остатки регрессий (№ 20–23), менее показательны. Хуже, чем вышеназванные простые индексы

**Таблица 3.** Сравнение показателей физического состояния организма по их способности предсказывать массу жировых отложений у самцов хомячка Роборовского

№	Предикторы	<i>n</i>	Уравнение регрессии*	$r^2$	<i>p</i>	$R_{Sp}$ *	<i>p</i>
1**	BM	61	$y = 0.14 + 2.41x$	0.84	<0.001		
2**	L	61	$y = -8.95 + 6.45x$	0.44	<0.001		
3**	MVG	58				0.47	<0.001
4**	An-Gen	58	$y = 2.16 + 1.3x$	0.13	<0.01	0.32	<0.05
5**	PC1 <sub>ext: L, MVG, An-Gen</sub>	58	$y = 3.65 + 0.1x$	0.44	<0.001		
6**	TST	61	$y = 1.55 + 0.8x$	0.27	<0.001	0.35	<0.01
7**	EPD	60	$y = 2.49 + 0.68x$	0.35	<0.001	0.46	<0.001
8**	SPL	55	$y = 2.34 + 0.78x$	0.2	<0.001	0.42	0.001
9**	REN	59	$y = -0.17 + 1.68x$	0.45	<0.001		
10**	HEP	59	$y = -0.65 + 1.37x$	0.31	<0.001		
11**	PC1 <sub>int: TST, EPD, SPL, REN, HEP</sub>	53	$y = 3.64 + 0.09x$	0.54	<0.001	0.62	<0.001
12	BM/L	61	$y = -9304.6 + 44703x$	0.86	<0.001	0.87	<0.001
13	BM/L <sup>2</sup>	61	$y = -10248.9 + 4.31E6x$	0.7	<0.001	0.77	<0.001
14	BM/L <sup>3</sup>	61	$y = -6900.73 + 3.03E8x$	0.38	<0.001		
15	BM/L <sup>x</sup>	61				0.87	<0.001
16	$\sqrt[3]{BM/L}$	61				0.87	<0.001
17***	lg BM/lg L	61	$y = -0.39 + 5.44x$	0.83	<0.001	0.87	<0.001
18	BM/pr BM	61	$y = -6349.4 + 391.2x$	0.42	<0.001		
19***	lg BM/pr lg BM	61	$y = 0.21 + 2.36x$	0.44	<0.001	0.57	<0.001
20	resBM/L	61	$y = 4966.7 + 433.7x$	0.47	<0.001		
21	resBM/L <sup>3</sup>	61	$y = 4966.9 + 432.1x$	0.46	<0.001		
22***	reslg BM/lg L	61	$y = 3.6 + 2.5x$	0.41	<0.001		
23***	reslg BM/PC1 <sub>ext: L, MVG, An-Gen</sub>	61	$y = 3.65 + 2.62x$	0.41	<0.001		
24****	SMI	61	$y = 25.47 + x$	0.17	<0.001		

Примечания. \* Уравнения линейной регрессии и значения коэффициента детерминации ( $r^2$ ) приведены для всех распределений, не отличающихся от нормальных по критерию Колмогорова-Смирнова. Для случаев отличия формы распределения от нормального по критерию Шапиро-Уилкса приведены непараметрические корреляции Спирмена ( $R_{Sp}$ ). \*\* Зависимые переменные с 1 по 4, с 6 по 10 были предварительно лог-трансформированы (lg); PC1 рассчитаны по лог-трансформированным данным; параметры регрессий с 1 по 11 рассчитаны для логарифма массы жировых отложений. \*\*\* Параметры регрессий 17, 19, 22, 23 рассчитаны для логарифма массы жировых отложений. \*\*\*\* SMI =  $M_i [L_0/L_i]^{bSMA}$ , где  $M_i$  и  $L_i$  – масса тела и линейный размер *i*-индивида соответственно; bSMA – показатель степени, оцениваемый по SMA регрессии (Standardized Major Axis Regression) ln M по ln L;  $L_0$  – среднее арифметическое значение для исследуемой выборки (Peig, Green, 2009).  
Объяснения аббревиатур см. в табл. 1 и 2.

отношения и масса тела, предсказывает жировые запасы и индекс SMI (№ 24).

Исследованные показатели наилучшим образом предсказывают общий запас жира (FM): для прямых индексов отношения коэффициент детерминации ( $r^2$ ) варьирует от 0.31 до 0.86, для показателей в форме остатков регрессий – от 0.06 до 0.47 (табл. 3). Применительно к процентному содержанию жировых отложений (% FM)  $r^2$  для индексов отношения изменяется от 0.31 до 0.67, для показателей в форме остатков – от 0.05 до 0.35 (табл. 4). Применительно к бурому жиру для индексов отношения  $r^2$  варьирует в пределах 0.08–

0.20 и в пределах 0.01–0.12 для показателей в форме остатков (табл. 5). Применительно к нутряному жиру  $r^2$  для индексов отношения изменяется от 0.16 до 0.46, для показателей в форме остатков регрессий – от 0.003 до 0.200 (табл. 6). Немного более сильные связи с жиром, ассоциированным с половыми органами: для индексов отношения  $r^2$  варьирует от 0.22 до 0.6, для остатков – от 0.04 до 0.29, но относительный эффект показателей сходен с таковым для запасов нутряного жира.

Внешние морфометрические характеристики, включая и массу тела, в совокупности оказываются хорошими предикторами жировых запасов,

**Таблица 4.** Сравнение показателей физического состояния организма по их способности предсказывать процентное содержание жира у самцов хомячка Роборовского

№	Предикторы	<i>n</i>	Уравнение регрессии*	$r^2$	<i>p</i>	$R_{Sp}^*$	<i>p</i>
1**	BM	61	$y = -0.9 + 1.4x$	0.65	<0.001		
2**	L	61	$y = -6.0 + 3.7x$	0.32	<0.001		
3**	MVG	58				0.41	0.001
4**	An-Gen	58	$y = 0.4 + 0.7x$	0.08	<0.05	0.31	<0.05
5**	PC1 <sub>ext</sub> : L, MVG, An-Gen	58	$y = 1.2 + 0.06x$	0.32	<0.001		
6**	TST	61	$y = 0.08 + 0.42x$	0.17	0.001	0.27	<0.05
7**	EPD	60	$y = 0.53 + 0.39x$	0.25	<0.001	0.37	<0.01
8**	SPL	55	$y = 0.47 + 0.43x$	0.14	<0.01	0.39	<0.01
9**	REN	59	$y = -0.83 + 0.89x$	0.27	<0.001		
10**	HEP	59	$y = -1.33 + 0.81x$	0.23	<0.001		
11**	PC1 <sub>int</sub> : TST, EPD, SPL, REN, HEP	53	$y = 1.19 + 0.05x$	0.38	<0.001	0.52	<0.001
12	BM/L	61	$y = -9.96 + 82.93x$	0.67	<0.001	0.79	<0.001
13	BM/L <sup>2</sup>	61	$y = -11.97 + 8062.35x$	0.55	<0.001	0.71	<0.001
14	BM/L <sup>3</sup>	61	$y = -5.95 + 5.73E5x$	0.31	<0.001		
15	BM/L <sup>x</sup>	61				0.8	<0.001
16	$\sqrt[3]{BM/L}$	61				0.79	<0.001
17***	lg BM/lg L	61	$y = -1.2 + 3.2x$	0.65	<0.001	0.8	<0.001
18	BM/pr BM	61	$y = -4.5 + 0.7x$	0.32	<0.001		
19***	lg BM/pr lg BM	61	$y = -0.8 + 1.4x$	0.32	<0.001	0.52	<0.001
20	resBM/L	61	$y = 16.5 + 0.8x$	0.35	<0.001		
21	resBM/L <sup>3</sup>	61	$y = 16.5 + 0.8x$	0.35	<0.001		
22***	reslg BM/lg L	61	$y = 1.2 + 1.5x$	0.33	<0.001		
23***	reslg BM/PC1 <sub>ext</sub> : L, MVG, An-Gen	61	$y = 1.2 + 1.6x$	0.35	<0.001		
24****	SMI	61	$y = 24.07 + 0.28x$	0.14	<0.001		

Объяснения см. в табл. 3.

будучи включенными в общую регрессионную модель в качестве независимых переменных. Однако пошаговый отбор переменных методом исключения (backward stepwise) оставляет в четырех моделях из пяти в качестве значимого предиктора только массу тела и в одной модели — массу тела и аногенитальное расстояние (табл. 7).

## ОБСУЖДЕНИЕ

У исследованных нами одновозрастных взрослых самцов хомячка Роборовского масса тела оказалась одним из лучших индикаторов накопленных жировых запасов. Это подтверждают и общие регрессионные модели, предусматривающие пошаговый отбор методом исключения морфометрических переменных-предикторов. При этом масса тела и длина тела взаимосвязаны, а величина коэффициента корреляции близка к высокой (для лог-трансформированных данных

$r = 0.74$ ,  $p < 0.001$ ,  $n = 62$ ). В нашем случае, поскольку сравнивали одновозрастных взрослых хомячков одного пола, содержащихся в одинаковых условиях, в вариации массы тела должен быть велик вес не структурной, а именно функциональной компоненты, которая отражает увеличение массы в связи с ростом запаса жировых отложений. Высокую величину корреляции массы тела с массой жировых отложений в исследованиях, проводившихся на разных видах птиц, отмечали Лабока и Хайес (Labocha, Hayes, 2012). В своей обзорной статье они пишут, что, хотя масса тела находится под влиянием различных параметров жизненного цикла птицы, тем не менее в некоторых ситуациях масса тела и масса жира могут сильно коррелировать и при этом масса тела может служить хорошим показателем ресурсной обеспеченности организма.

Использование простых индексов, рассчитываемых как отношение массы тела к линейным

**Таблица 5.** Сравнение показателей физического состояния организма по их способности предсказывать массу отложений бурого жира у самцов хомячка Роборовского

№	Предикторы	<i>n</i>	Уравнение регрессии*	<i>r</i> <sup>2</sup>	<i>p</i>	<i>R</i> <sub>Sp</sub> *	<i>p</i>
1**	BM	61	$y = 0.67 + 1.23x$	0.11	<0.01		
2**	L	61	$y = -4.75 + 3.69x$	0.07	<0.05		
3**	MVG	58				0.19	0.14
4**	An-Gen	58	$y = 1.26 + 1.05x$	0.04	0.11	0.17	0.21
5**	PC1 <sub>ext</sub> : L, MVG, An-Gen	58	$y = 2.46 + 0.07x$	0.1	<0.05		
6**	TST	61	$y = 1.78 + 0.26x$	0.01	0.36	0.05	0.72
7**	EPD	60	$y = 1.95 + 0.30x$	0.03	0.16	0.08	0.53
8**	SPL	55	$y = 1.11 + 0.81x$	0.1	<0.05	0.2	0.14
9**	REN	59	$y = -0.17 + 1.68x$	0.06	<0.07		
10**	HEP	59	$y = 1.91 + 0.17x$	0.003	0.71		
11**	PC1 <sub>int</sub> : TST, EPD, SPL, REN, HEP	53	$y = 2.45 + 0.04x$	0.07	0.06	0.19	0.18
12	BM/L	61	$y = -359.1 + 2240.4x$	0.2	<0.001	0.25	0.05
13	BM/L <sup>2</sup>	61	$y = -398.5 + 2.14E5x$	0.16	<0.01	0.21	0.1
14	BM/L <sup>3</sup>	61	$y = -211.9 + 1.45E7x$	0.08	0.02		
15	BM/L <sup>x</sup>	61				0.27	<0.05
16	$\sqrt[3]{BM/L}$	61				0.25	0.05
17***	lg BM/lg L	61	$y = 0.43 + 2.73x$	0.1	<0.05	0.27	<0.05
18	BM/pr BM	61	$y = -196.2 + 19.1x$	0.09	<0.05		
19***	lg BM/pr lg BM	61	$y = 0.5 + 1.4x$	0.07	<0.05	0.19	0.13
20	resBM/L	61	$y = 356.1 + 22.3x$	0.12	<0.01		
21	resBM/L <sup>3</sup>	61	$y = 356.1 + 23.1x$	0.12	<0.01		
22***	reslg BM/lg L	61	$y = 356.2 + 1451.5x$	0.1	<0.05		
23***	reslg BM/PC1 <sub>ext</sub> : L, MVG, An-Gen	61	$y = 2.5 + 0.6x$	0.01	0.42		
24****	SMI	61	$y = 27.74 + x$	0.03	0.16		

Объяснения см. в табл. 3.

промерам и их производным, обусловлено желанием внести поправку на связь массы тела с его размером. Однако в действительности, корреляцию с размером таким образом убрать полностью не удастся (Hayes, Shonkwiler, 2001). В нашем исследовании корреляция с длиной тела для индекса № 13 была слабой ( $r = 0.29$ ,  $p = 0.02$ ,  $n = 62$ ), отсутствовала для индекса № 14 ( $r = -0.09$ ,  $p = 0.49$ ,  $n = 62$ ), но была хорошо выражена и статистически значима с прямыми индексами № 12 ( $r = 0.57$ ,  $p < 0.001$ ,  $n = 62$ ), № 15 ( $r = 0.72$ ,  $p < 0.001$ ,  $n = 62$ ), № 16 ( $r = 0.57$ ,  $p < 0.001$ ,  $n = 62$ ) и № 17 ( $r = 0.63$ ,  $p < 0.001$ ,  $n = 62$ ) (табл. 3).

В индексах отношения часто оказываются смешанными две компоненты вариации массы тела — чисто структурная, обусловленная конструкцией организма и ростом скелета, и функциональная, обусловленная накопленной жировой и, возможно, мышечной массой. Теоретически это ограничивает полезность прямых индексов

отношения (Hayes, Shonkwiler, 2001). Поскольку участие структурной компоненты изменчивости массы в нашем случае должно быть минимальным, можно было бы ожидать хорошие прогностические возможности индексов отношения. Действительно, некоторые из них хорошо предсказывают запас жировых отложений у хомячков. Лучшим предиктором оказалось простое отношение массы тела к его длине, т.е. линейному, но не объемному показателю. Знаменатель в виде объема предлагался неоднократно как предпочтительный, удовлетворяющий условию изометрического роста, — при одинаковой плотности масса пропорциональна объему (Перелешин, 1943; Volger, Connolly, 1989; Huot et al., 1995 и др.).

По сравнению с индексами отношения, показатели в форме остатков теоретически имеют преимущество, поскольку не зависят от размера (Jakob et al., 1996). Однако в действительности независимость от размера не означает, что остаточ-

**Таблица 6.** Сравнение показателей физического состояния организма по их способности предсказывать массу отложений нутряного жира у самцов хомячка Роборовского

№	Предикторы	<i>n</i>	Уравнение регрессии*	$r^2$	<i>p</i>	$R_{Sp}^*$	<i>p</i>
1*	BM	61	$y = -0.99 + 2.54x$	0.36	<0.001		
2*	L	61	$y = -10.72 + 6.87x$	0.44	<0.001		
3*	MVG	58				0.35	<0.01
4*	An-Gen	58	$y = 2.08 + 0.56x$	0.01	0.46	0.15	0.25
5*	PC1 <sub>(external: L, MVG, An-Gen)</sub>	58	$y = 2.71 + 0.10x$	0.18	<0.001		
6*	TST	61	$y = 0.13 + 0.98x$	0.15	<0.01	0.38	<0.01
7*	EPD	60	$y = 1.61 + 0.65x$	0.12	<0.01	0.35	<0.01
8*	SPL	55	$y = 1.01 + 1.02x$	0.14	<0.01		<0.01
9*	REN	59	$y = -1.69 + 1.94x$	0.24	<0.001		
10*	HEP	59	$y = -3.44 + 1.96x$	0.24	<0.001		
11*	PC1 <sub>(internal: TST, EPD, SPL, REN, HEP)</sub>	53	$y = 2.71 + 0.1x$	0.27	<0.001	0.54	<0.001
12	BM/L	61	$y = -970.07 + 4981.01x$	0.46	<0.001	0.69	<0.001
13	BM/L <sup>2</sup>	61	$y = -1011.09 + 4.61E5x$	0.34	<0.001	0.59	<0.001
14**	BM/L <sup>3</sup>	61	$y = -555.02 + 2.99E7x$	0.16	<0.01		
15	BM/L <sup>x</sup>	61				0.69	<0.001
16**	$\sqrt[3]{BM/L}$	61				0.68	<0.001
17***	lg BM/lg L	61	$y = -1.56 + 5.72x$	0.35	<0.001	0.68	<0.001
18	BM/pr BM	61	$y = -839.9 + 50.5x$	0.3	<0.001		
19***	lg BM/pr lg BM	61	$y = -0.96 + 2.52x$	0.19	<0.001	0.46	<0.001
20	resBM/L	61	$y = 618.0 + 42.7x$	0.2	<0.001		
21	resBM/L <sup>3</sup>	61	$y = 618.0 + 41.9x$	0.19	<0.001		
22***	reslg BM/lg L	61	$y = 2.7 + 2.57x$	0.17	<0.01		
23***	reslg BM/PC1 <sub>(external: L, MVG, An-Gen)</sub>	61	$y = 2.71 + 3.69x$	0.32	<0.001		
24****	SMI	61	$y = 27.23 + x$	0.06	0.06		

Объяснения см. в табл. 3.

**Таблица 7.** Результаты анализа GRM с пошаговым исключением предикторов для оценки способности внешних морфометрических переменных и массы тела предсказывать общий запас жировых отложений (FM), процент жировых отложений (% FM), запас бурого (BFM), нутряного жира (IFM) и жира, ассоциированного с половыми органами (TFM), у самцов хомячка Роборовского

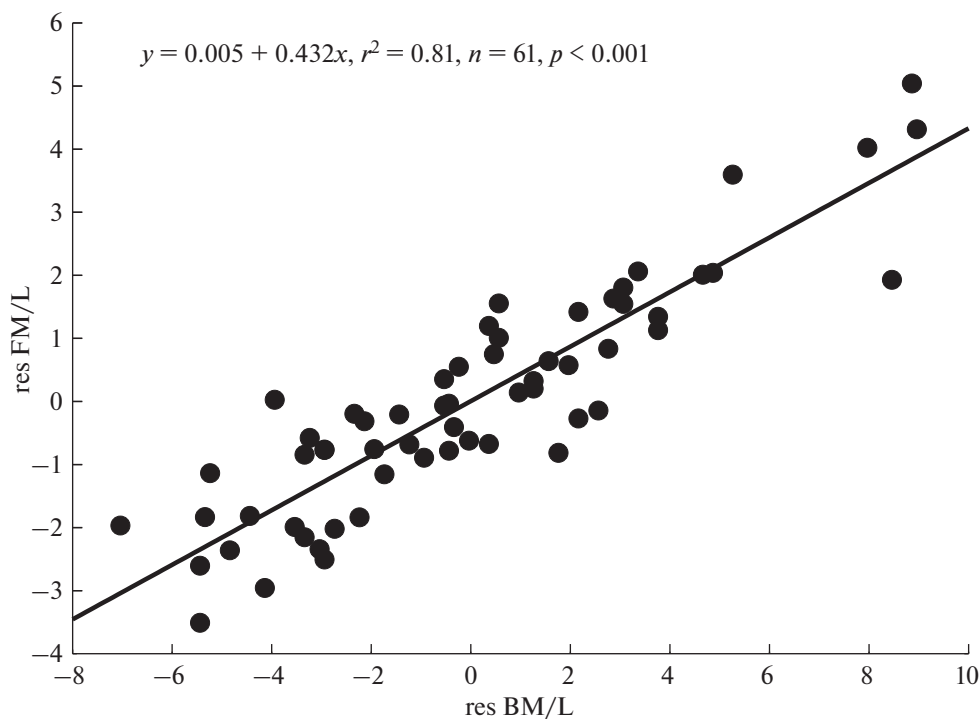
Зависимая переменная	Предикторы	$r^2$	$F_{5,51}$	<i>p</i>	Результат пошагового исключения предикторов
FM	BM, L, MVG, An-Gen	0.86	62.86	<0.001	BM: $r^2 = 0.85$ , $F_{1,55} = 309.78$ , $p < 0.001$
% FM	BM, L, MVG, An-Gen	0.69	22.18	<0.001	BM: $r^2 = 0.66$ , $F_{1,55} = 108.49$ , $p < 0.001$
BFM	BM, L, MVG, An-Gen	0.13	1.56	0.186	BM: $r^2 = 0.098$ , $F_{1,55} = 6.01$ , $p < 0.05$
IFM	BM, L, MVG, An-Gen	0.58	14.41	<0.001	BM, An-Gen: $r^2 = 0.54$ , $F_{2,54} = 32.99$ , $p < 0.001$
TFM	BM, L, MVG, An-Gen	0.64	18.51	<0.001	BM: $r^2 = 0.62$ , $F_{1,56} = 91.65$ , $p < 0.001$

Примечание. Использованы лог-трансформированные данные. Объяснения аббревиатур предикторов см. в табл. 1 и 2.

ные показатели предсказывают содержание жира в организме лучше, чем индексы отношения (Hayes, Shonkwiler, 2001; Labocha, Hayes, 2012).

В этом наши результаты подтверждают и результаты других исследований, в которых показано, что остаточные индексы не обязательно лучше





**Рис. 1.** Зависимость остатков регрессии общей массы жировых отложений на длину тела (resFM/L) от остатков регрессии массы тела на длину тела (resBM/L).

индексов отношения при прогнозировании количества жировых отложений (Barthelmess et al., 2006; Pitt et al., 2006; Labocha et al., 2014).

Хорошим инструментом для предсказания запасов жира в организме оказалось использование общих регрессионных моделей. К использованию множественной регрессии как инструмента альтернативного традиционным индексам призывали Лабока с соавторами (Labocha et al., 2014).

В целом полученные нами результаты свидетельствуют о том, насколько важно проверить возможности того или иного показателя упитанности прежде, чем начать использовать его в конкретном исследовательском проекте. Хотя для хомячка Роборовского мы показали преимущество одних показателей перед другими, применять их следует с осторожностью, имея в виду, что вопрос о влиянии половых и возрастных различий, стадии жизненного цикла остается открытым. Половые различия в связи индексов с запасами жира отмечены у домашней мыши (Labocha et al., 2014). На различие индикационных возможностей показателей упитанности у разных полов и в разных возрастных когортах указывали Пейг и Грин (Peig, Green, 2010). У хомячка Роборовского индикационные возможности показателей упитанности могут различаться зимой и летом. Накопление жира у хомячков Роборовского происходит

при долгом световом дне. В условиях короткого дня происходит потеря массы тела, интенсифицируется основной обмен, возрастает фоновый уровень стрессированности. Происходит расходование резервного жира (Zhang et al., 2015; Vasilieva et al., 2020).

Использованные нами показатели упитанности плохо предсказывают запас бурого жира. Основная функция бурой жировой ткани — несократительный термогенез. В отличие от клеток белой жировой ткани, в бурых адипоцитах свободные жирные кислоты не высвобождаются в кровь, а быстро метаболизируются. При этом происходят повышенное потребление кислорода и продуцирование тепла (Ikeda et al., 2018). Хомячок Роборовского не впадает в зимнюю спячку (Кузнецова, 2019; Vasilieva et al., 2020). Для него не характерны состояния кратковременного торпора (Feoktistova, Meschersky, 2005; Müller et al., 2015), при выходе из которого бурый жир играет принципиальную роль, обеспечивая интенсивный термогенез. Тем не менее бурый жир активно расходуется в сезон холодов. В нашем исследовании хомячки были адаптированы к условиям теплого периода года и длинного дня. Слабые предсказательные возможности исследованных показателей в отношении бурого жира отчасти могут быть связаны с условиями содержания. Но скорее

всего проверенные нами, применяемые экологами показатели непригодны для прогноза узко локализованных и относительно небольших запасов бурого жира.

Ранее проводившиеся проверки прогностических возможностей показателей упитанности у животных нередко демонстрировали слабые корреляции с содержанием в организме липидов (Wilder, 2016). Проверка 17 показателей упитанности (body condition indices) на способность предсказывать запасы жира у домашних мышей (Labocha et al., 2014) продемонстрировала в основном их низкую эффективность (максимальный  $r_{\text{adjusted}}^2 = 0.34$  для  $\lg \text{BM}/\lg \text{L}$ ). В нашем исследовании некоторые из проверявшихся показателей хорошо прогнозировали запасы жира. Однако лишь немногие показатели (в первую очередь масса тела, а также индексы отношения  $\text{BM}/\text{L}$  и  $\lg \text{BM}/\lg \text{L}$ ) согласуются с проверявшимися у других видов (Labocha et al., 2012). Это еще раз свидетельствует о том, что автоматический перенос опыта использования показателей упитанности, простых и нетравматичных при измерениях, с одного вида на другой весьма проблематичен. Низкая способность ряда показателей прогнозировать содержание липидов может быть связана с влиянием таких факторов как непереваренная пища и содержание воды в организме, различное соотношение запасов жира и мышечной массы в разные периоды жизненного цикла, влияние паразитов и т.п. (Wang et al., 1992; Speakman, 2001; Моуа-Лараño et al., 2008). Следует также учитывать тот факт, что запас жира — это значительная, но не единственная компонента энергетических резервов организма. Морфометрические показатели могут лучше указывать на резервы в виде накопленной мышечной массы, а не на резервы в виде запасов жира (Schulte-Hostedde et al., 2001, 2005). Мышечная масса, обводненность организма, различные жизненно важные биохимические субстраты, иммунокомпетентность и т.п. влияют на состояние организма и его приспособленность (fitness) не меньше, чем запас жира (Labocha et al., 2012; Wilder et al., 2016). В этом смысле использование показателей упитанности, даже если они достаточно хорошо прогнозируют запас жировых резервов, не обязательно наилучшим образом характеризует текущий уровень приспособленности организма.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках программы совместных международных проектов: РФФИ — Государственный фонд естественных наук Китая (17-54-53206).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Кузнецова Е.В., 2019. Эколого-физиологические адаптации представителей подсемейства Cricetinae к осенне-зимним условиям. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: ИПЭЭ им. А.Н. Северцова РАН. 25 с.
- Перелешин С.Д., 1943. Зимнее питание песца в Ямальском округе // Зоологический журнал. Т. 22. № 5. С. 299–313.
- Barthelmess E.L., Phillips M.L., Schuckers M.E., 2006. The value of bioelectrical impedance analysis vs. condition indices in predicting body fat stores in North American porcupines (*Erethizon dorsatum*) // Canadian Journal of Zoology. V. 84. № 12. P. 1712–1720.
- Bercovitch F.B., Widdig A., Trefilov A., Kessler M.J., Bernard J.D., Schmidtke J., Nürnberg P., Krawczak M., 2003. A longitudinal study of age-specific reproductive output and body condition among male rhesus macaques, *Macaca mulatta* // Naturwissenschaften. V. 90. № 7. P. 309–312.
- Bolger T., Connolly P.L., 1989. The selection of suitable indices for the measurement and analysis of fish condition // Journal of Fish Biology. V. 34. № 2. P. 171–182.
- Buchanan K., Burt de Perera T., Carere C., Carter T., Hailey A., Hubrecht R., Jennings D., Metcalfe N., Pitcher T., Peron F., Sneddon L., Sherwin C., Talling J., Thomas R., Thompson M., 2012. Guidelines for the treatment of animals in behavioural research and teaching // Animal Behaviour. V. 83. № 1. P. 301–309.
- Cavallini P., 1996. Comparison of body condition indices in the red fox (*Fissipedia*, Canidae) // Mammalia. V. 60. № 3. P. 449–462.
- Christe P., Möller A.P., de Lope F., 1998. Immunocompetence and nestling survival in the house martin: the tasty chick hypothesis // Oikos. V. 83. № 1. P. 175–179.
- Darlington R.B., Smulders T.V., 2001. Problems with residual analysis // Animal Behaviour. V. 62. № 3. P. 599–602.
- Feoktistova N.Y., Meschersky I.G., 2005. Seasonal changes in desert hamster *Phodopus roborovskii* breeding activity // Acta Zoologica Sinica. V. 51. P. 1–6
- Freckleton R.P., 2002. On the misuse of residuals in ecology: regression of residuals vs. multiple regression // Journal of Animal Ecology. V. 71. № 3. P. 542–545.
- Fulton T.W., 1904. The rate of growth of fishes // Fish Board of Scotland Annual Report. V. 22. P. 141–241.
- Garcia-Berthou E., 2001. On the misuse of residuals in ecology: testing regression residuals vs. the analysis of covariance // Journal of Animal Ecology. V. 70. № 4. P. 708–711.
- Green A.J., 2001. Mass/length residuals: measures of body condition or generators of spurious results? // Ecology. V. 82. № 5. P. 1473–1483.
- Harris R.N., 2008. Body condition and order of arrival affect cooperative nesting behaviour in four-toed salamanders *Hemidactylium scutatum* // Animal Behaviour. V. 75. № 1. P. 229–233.
- Hayes J.P., Shonkwiler J.S., 2001. Morphometric indicators of body condition: worthwhile or wishful thinking? //

- Body composition analysis of animals: a handbook of non-destructive methods. Speakman J.R. (Ed.). Cambridge: U.K. Cambridge University Press. P. 8–38.
- Huot J., Poulle M. L., Crête M., 1995. Evaluation of several indices for assessment of coyote (*Canis latrans*) body composition // Canadian Journal of Zoology. V. 73. № 9. P. 1620–1624.
- Hwang Ten Y., Larivière S., Messier F., 2005. Evaluating body condition of striped skunks using non-invasive morphometric indices and bioelectrical impedance analysis // Wildlife Society Bulletin. V. 33. № 1. P. 195–203.
- Ikeda K., Maretich P., Kajimura S., 2018. The common and distinct features of brown and beige adipocytes // Trends in Endocrinology and Metabolism. V. 29. № 3. P. 191–200.
- Jakob E.M., Marshall S.D., Uetz G.W., 1996. Estimating fitness: a comparison of body condition indices // Oikos. V. 77. № 1. P. 61–67.
- Jelliffe D.B., Jelliffe E.F., 1979. Underappreciated pioneers. Quetelet: man and index // The American Journal of Clinical Nutrition. V. 32. № 12. P. 2519–2521.
- Labocha M.K., Hayes J.P., 2012. Morphometric indices of body condition in birds: a review // Journal of Ornithology. V. 153. № 1. P. 1–22.
- Labocha M.K., Schutz H., Hayes J.P., 2014. Which body condition index is best? // Oikos. V. 123. № 1. P. 111–119.
- Le Cren E.D., 1951. The length–weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*) // Journal of Animal Ecology. V. 20. P. 201–219.
- Lunn N.J., Boyd I.L., 1993. Effects of maternal age and condition on parturition and the perinatal period of Antarctic fur seals // Journal of Zoology. V. 229. № 1. P. 55–67.
- McElroy E.J., Marien C., Meyers J.J., Irschick D.J., 2007. Do displays send information about ornament structure and male quality in the ornate tree lizard, *Urosaurus ornatus*? // Ethology. V. 113. № 11. P. 1113–1122.
- Michel C.L., Bonnet X., 2012. Influence of body condition on reproductive output in the guinea pig // Journal of Experimental Zoology. Part A: Ecological Genetics and Physiology. V. 317. № 1. P. C. 24–31.
- Moya-Laraño J., Macías-Ordóñez R., Blanckenhorn W.U., Fernández-Montraveta C., 2008. Analysing body condition: mass, volume or density? // Journal of Animal Ecology. V. 77. № 6. P. 1099–1108.
- Müller D., Hauer J., Schöttner K., Fritzsche P., Weinert D., 2015. Seasonal adaptation of dwarf hamsters (Genus *Phodopus*): differences between species and their geographic origin // Journal of Comparative Physiology B. V. 185. № 8. P. 917–930.
- Peig J., Green A.J., 2009. New perspectives for estimating body condition from mass/length data: the scaled mass index as an alternative method // Oikos. V. 118. P. 1883–1891.
- Peig J., Green A.J., 2010. The paradigm of body condition: a critical reappraisal of current methods based on mass and length // Functional Ecology. V. 24. P. 1323–1332.
- Pitt J.A., Larivière S., Messier F., 2006. Condition indices and bioelectrical impedance analysis to predict body condition of small carnivores // Journal of Mammalogy. V. 87. № 4. P. 717–722.
- Ricker W.E., 1973. Linear regressions in fisheries research // Journal of Fisheries Research Board of Canada. V. 30. № 3. P. 409–434.
- Schulte-Hostedde A.I., Millar J.S., Hickling G.J., 2001. Evaluating body condition in small mammals // Canadian Journal of Zoology. V. 79. № 6. P. 1021–1029.
- Schulte-Hostedde A.I., Zinner B., Millar J.S., Hickling G.J., 2005. Restitution of mass–size residuals: validating body condition indices // Ecology. V. 86. № 1. P. 155–163.
- Speakman J.R. (Ed.), 2001. Body composition analysis of animals: A handbook of non-destructive methods. Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press.
- Tella J.L., Forero M.G., Donazar J.A., Negro J.J., Hiraldo F., 1997. Non-adaptive adoptions of nestlings in the colonial lesser kestrel: proximate causes and fitness consequences // Behavioral Ecology and Sociobiology. V. 40. № 4. P. 253–260.
- Tierney M., Hindell M., Lea M.A., Tollit D., 2001. A comparison of techniques used to estimate body condition of southern elephant seals (*Mirounga leonina*) // Wildlife Research. V. 28. № 6. P. 581–588.
- Vasilieva N.Y., Khrushchova A.M., Kuptsov A.V., Shekarova O.N., Sokolova O.V., Wang D., Rogovin K.A., 2020. On the winter enhancement of adaptive humoral immunity: Hypothesis testing in desert hamsters (*Phodopus roborovskii*: Cricetidae, Rodentia) kept under long-day and short-day photoperiod // Integrative Zoology. V. 15. № 3. P. 232–247.
- Wang Z.M., Pierson Jr R.N., Heymsfield S.B., 1992. The five-level model: a new approach to organizing body-composition research // The American Journal of Clinical Nutrition. V. 56. № 1. P. 19–28.
- Wilder S.M., Raubenheimer D., Simpson S.J., 2016. Moving beyond body condition indices as an estimate of fitness in ecological and evolutionary studies // Functional Ecology. V. 30. № 1. P. 108–115.
- Wilson A.J., Nussey D.H., 2010. What is individual quality? An evolutionary perspective. Trends in Ecology and Evolution. V. 25. № 4. P. 207–214.
- Zhang X., Zhao Z., Vasilieva N., Khrushchova A., Wang D., 2015. Effects of short photoperiod on energy intake, thermogenesis, and reproduction in desert hamsters (*Phodopus roborovskii*) // Integrative zoology. V. 10. № 2. P. 207–215.

## **BODY CONDITION AND FAT STORES: WHICH INDICATOR OF BODY CONDITION IS BETTER? TESTING THE DESERT HAMSTER (*PHODOPUS ROBOROVSKII*, CRICETIDAE, RODENTIA)**

**N. Yu. Vasilieva<sup>1</sup>\*, A. M. Khrushchova<sup>1</sup>\*\*, K. A. Rogovin<sup>1</sup>\*\*\***

*<sup>1</sup>Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Moscow, 119071 Russia*

*\*e-mail: nyv1@yandex.ru*

*\*\*e-mail: cricetus@yandex.ru*

*\*\*\*e-mail: krogovin@yandex.ru*

Body condition indexes are generally assumed to directly reflect the reserves of body fat. However, direct tests of the relations between body condition and actual fat stores are few. We tested the ability of 13 body condition indexes used by different authors to predict fat reserves in the same-aged males of the Desert hamster kept individually under standard long-day conditions (16D: 8N). Some direct ratio-based condition indexes (ratio of body mass to body length or its derivatives) predict fat reserves better than residual indexes (residuals from a regression of body mass on body length or its derivatives). The best predictors of the total fat stored, the percentage of total fat stored (relative to live body mass), and of visceral fat were the body mass and some ratio indexes, such as the ratio of body mass to body length, the ratio of the logarithm of body mass to the logarithm of body length, the ratio of body mass to the square of body length, or the cubic root of the ratio of body mass to body length). The use of general regression models proves to be a good tool for predicting body fat stores. In general, our results indicate the importance of validating the capabilities of any body condition index before its use in a research project.

*Keywords:* body condition index, modeling