

## Морфологические исследования искусственно выращенных рачков артемии сибирских популяций

Л. И. ЛИТВИНЕНКО, Е. Г. БОЙКО

Государственный научно-производственный центр рыбного хозяйства  
(ФГУП Госрыбцентр)  
625023, Тюмень, ул. Одесская, 33

### АННОТАЦИЯ

Сравнительный анализ по 13 морфометрическим параметрам проводился между половозрелыми самками артемии, искусственно выращенными из цист и из естественной среды обитания, а также между искусственно выращенными рачками из разных частей света по собственным (азиатские популяции) и литературным данным. Рачки из естественной среды обитания отличались большей длиной тела и абдомена, остальные параметры были выше у искусственно выращенных рачков. Указанные различия объясняются разной соленостью искусственной и естественной среды. Кластерный анализ выявил дифференциацию популяций артемии на две большие группы согласно географическому расположению. Первую группу составили бисексуальные популяции артемии Северной и Южной Америки, вторую – партеногенетические и бисексуальные популяции Азии, Европы и Африки. Искусственно выращенные из цист сибирских популяций рачки по морфометрическим параметрам образовали общий кластер с азиатской группой популяций.

Видовая принадлежность артемии до конца не выяснена. Ранее считалось, что существуют только один вид *Artemia salina* Leach 1819 и многочисленные, морфологически отличающиеся друг от друга расы, которые по способу размножения объединяли в две группы: бисексуальные (самки и самцы) и партеногенетические (одни самки). Партеногенетические расы, в свою очередь, различались набором хромосом: ди-, три-, тетра-, пента- и даже декаплоиды [1]. Однако из-за географической изоляции биотопов артемии теоретически существовала возможность возникновения разных видов. Более поздние исследования это подтвердили. Эксперименты по скрещиванию позволили обнаружить репродуктивную изоляцию некоторых географических рас [2–4], что сделало возможным выделить 7 видов. Биохимические, цитологические и генетические исследования, проведенные позднее, подтвердили разобщенность [5–9] выделенных видов. Использование скани-

рующего электронного микроскопа позволило морфологически выделить некоторые виды [10–13]: *Artemia salina* (по отсутствию бугорка в основании пениса самца) и *A. urmiana* Gunther 1900 (по наличию эктодермальных бугорков в выводковой камере самок). Признаки, касающиеся формы фронтальных бугорков [10–12] и мандибул [12], оказались недостаточно ценными, поскольку изменчивость их была высока.

Идентификация видов артемии российских популяций еще не закончена. Все партеногенетические популяции, преобладающие в Сибири, объединены в одну группу *Artemia parthenogenetica* Varigozzi, 1974. Много неясного в отношении бисексуальных популяций азиатского континента. В настоящее время для идентификации российских популяций привлечены все средства современной науки, в том числе и биохимические, кариологические исследования и ДНК-анализ [14, 15]. Настоящая работа представляет собой началь-

ный этап решения этой сложной задачи. Морфологические исследования сибирских популяций артемии, проведенные нами ранее [14–16], позволили сделать вывод о том, что соленость среды является главным морфообразующим фактором. В первую очередь соленость среды обитания влияла на строение фурки и абдомена. Кластерный анализ морфометрических параметров рачков показал, что популяции, удаленные на значительные расстояния (до 2200 км по прямой), объединялись в одну группу согласно солености, а не географическому положению [15, 17]. Поскольку соленость в исследованных нами озерах сильно различалась и была в пределах от 34 до 299 г/л, установить наследственную изменчивость фенотипа не представилось возможным. В целях идентификации видов и для более эффективного распознавания популяций необходим анализ изменчивости фенотипов в одинаковых условиях солености. Чтобы нивелировать влияние солености на рост и пропорции рачков, проведены опыты по искусственному выращиванию рачков из цист разных азиатских популяций артемии. Результаты морфометрических исследований искусственно выращенных рачков сибирских популяций артемии приводятся впервые. Прежние исследования, в том числе алтайских ученых [18, 19], касались естественных популяций.

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В качестве исходного материала для морфометрических исследований послужили половозрелые рачки артемии, выращенные из цист. Инкубация цист проводилась в конических сосудах при искусственном освещении (1000 люкс), температуре +25 °С, аэрации, в солевом растворе (NaCl – 5 г, NaHCO<sub>3</sub> – 2 г/л) в течение 36 ч. Культивирование проведено в стеклянных колбах объемом 2 л в солевом растворе (NaCl – 31,08, MgSO<sub>4</sub> – 7,74, MgCl<sub>2</sub> – 6,09, CaCl<sub>2</sub> – 1,53, KCl – 0,97, NaHCO<sub>3</sub> – 2,00 г/л) при температуре около +25 °С, аэрации, кормлении микронизированными сухими рисовыми отрубями (по норме от 0,1 мг/особь в начале культивирования до 0,4 мг/особь в конце). Плотность посадки науплиусов – 100 шт./л, по мере роста рачков плотность разреживали до 10–

20 шт./л. Рачков, достигших половозрелости, фиксировали в 4%-м растворе формалина. Камеральная обработка выполнена под стереоскопическим микроскопом МБС-10, оборудованным окуляр-микрометром. Количество измеренных рачков из каждой популяции – не менее 30 шт.

Анализ проводили по 13 морфометрическим признакам, из которых 11 пластических и 2 меристических: длина тела (tl), длина абдомена (al), длина цефалоторакса (cl), ширина абдомена (aw), расстояние между глазами (de), диаметр глаз (ed), длина фурки (fl), длина первой антенны (la), ширина головы (hw), отношение длины абдомена к общей длине тела (ra, %), отношение длины цефалоторакса к длине абдомена (c/a), число щетинок на правой (sf-r) и левой (sf-l) ветвях фурки (рис. 1).

Проведены два варианта опытов. В первом варианте сравнивались рачки, искусственно выращенные, с рачками из природных популяций озер Медвежье, Актобан, Кулундинское и Эбейты, отобранными из озер с июня по сентябрь 2004 г. Осенью этого же года отобраны цисты для культивирования. Во втором варианте опытов сравнивались рачки, выращенные из цист сибирских по-

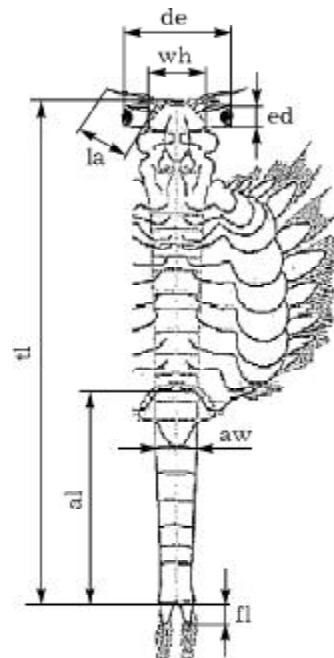


Рис. 1. Схематическое изображение тела взрослой самки артемии с морфометрическими параметрами

пуляций (озера Невидим, Кулундинское), казахской (оз. Теке), монгольской (оз. Баян-Тухум) и китайской (*Artemia sinica* Yaneng, 1989). Цисты из трех последних популяций предоставлены Реферативным центром по изучению артемии (Гентский университет, г. Гент, Бельгия).

В настоящей работе использовали методы кластерного анализа и деревьев классификации, реализуя ветвление по линейным комбинациям количественных переменных.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

### Сравнение выращенных рачков с артемией из природных популяций

Сравнительная характеристика морфометрических параметров искусственно выращенной артемии и рачков из естественных водо-

емов Актобан, Кулундинское, Медвежье, Эбейты с общей минерализацией, соответственно, 95, 104, 193, 264 г/л представлена в табл. 1. Природные популяции артемии из озер имели большие значения длины тела, длины абдомена и индекса га по сравнению с лабораторными. Остальные показатели (aw, de, ed, sf, fl, la, hw) оказались выше у культивированной артемии. В естественных популяциях артемии из озер Медвежье и Эбейты число фуркальных щетинок и длина фурки оказались достоверно меньшими. Анализ достоверности различий морфометрических признаков между выращенными рачками и отобранными из естественной среды показал следующее:

– при попарном сравнении не обнаружены достоверные различия средних выборочных показателей по всем признакам у артемии из озер Актобан и Кулундинское;

Т а б л и ц а 1

Морфометрические параметры искусственно выращенной артемии (средняя и ошибка средней)

Параметр	Артемии из озер			
	Актобан	Кулундинское	Медвежье	Эбейты
Средняя соленость воды озер в сезон отбора рачков и цист, г/л	95	104	193	264
Длина тела, мм	7,44 ± 0,22 (8,70 ± 0,13)	8,16 ± 0,12 (8,62 ± 0,15)	8,33 ± 0,12 (10,62 ± 0,12)	7,66 ± 0,13* (8,79 ± 0,09)
Длина абдомена, мм	3,77 ± 0,11 (4,83 ± 0,09)	4,34 ± 0,08 (4,62 ± 0,12)	3,97 ± 0,11 (6,45 ± 0,08)	3,87 ± 0,09* (5,14 ± 0,07)
Ширина абдомена, мм	0,51 ± 0,02 (0,50 ± 0,01)	0,50 ± 0,01 (0,43 ± 0,01)	0,60 ± 0,01 (0,44 ± 0,01)	0,53 ± 0,01* (0,40 ± 0,01)
Расстояние между глазами, мм	1,26 ± 0,04 (1,32 ± 0,03)	1,29 ± 0,02 (1,10 ± 0,02)	1,44 ± 0,02 (1,21 ± 0,02)	1,15 ± 0,02 (1,11 ± 0,01)
Диаметр глаз, мм	0,22 ± 0,01 (0,21 ± 0,001)	0,20 ± 0,01 (0,21 ± 0,01)	0,23 ± 0,01 (0,20 ± 0,001)	0,20 ± 0,01* (0,16 ± 0,001)
Число щетинок на правой фурке, шт.	10,10 ± 1,27 (7,54 ± 0,28)	7,36 ± 0,34 (3,69 ± 0,42)	13,36 ± 0,24* (2,58 ± 0,13)	7,92 ± 0,24* (3,08 ± 0,12)
Число щетинок на левой фурке, шт.	10,08 ± 1,23 (7,50 ± 0,030)	7,32 ± 0,35 (3,63 ± 0,42)	13,16 ± 0,27* (2,58 ± 0,11)	7,48 ± 0,23* (3,01 ± 0,14)
Длина фурки, мм	0,41 ± 0,06 (0,24 ± 0,01)	0,30 ± 0,01 (0,16 ± 0,01)	0,30 ± 0,01 (0,11 ± 0,01)	0,29 ± 0,01* (0,14 ± 0,01)
Длина первой антенны, мм	0,81 ± 0,03 (0,78 ± 0,02)	0,86 ± 0,02 (0,64 ± 0,03)	0,93 ± 0,01 (0,79 ± 0,01)	0,77 ± 0,01* (0,66 ± 0,01)
Ширина головы, мм	0,52 ± 0,01 (0,52 ± 0,01)	0,57 ± 0,01 (0,52 ± 0,02)	0,61 ± 0,01 (0,54 ± 0,01)	0,60 ± 0,01* (0,48 ± 0,01)
Отношение длины абдомена к длине тела, %	50,28 ± 0,77 (55,45 ± 0,46)	53,10 ± 0,49 (55,70 ± 0,61)	47,6 ± 1,08* (60,84 ± 0,43)	50,28 ± 0,46* (58,39 ± 0,44)

П р и м е ч а н и е. В скобках указаны значения признаков артемии из естественной среды; \* – различия достоверны  $p = 0,01$ .

– различия двух сравниваемых выборок артемии из оз. Медвежье оказались достоверными в 27 % от числа признаков, вовлеченных в анализ;

– различия морфометрических показателей половозрелых самок артемии из оз. Эбейты оказались достоверными в 91 % от числа пар сравнений.

Таким образом, чем больше отличалась соленость естественной среды от искусственной, тем более существенными были морфометрические различия рачков.

Уровень изменчивости анализируемых признаков артемии в естественных и искусственных условиях оказался незначительным и редко превышал 20 %. Вариация большинства признаков оказалась выше у артемии из естественной среды. Наиболее изменчивыми оказались число щетинок на фурке и длина фурки во всех исследованных популяциях артемии.

Сравнение морфометрических показателей рачков, выращенных в лабораторных условиях, и рачков из естественной среды наглядно продемонстрировало влияние солености на рост. Значительная разница между соленостью естественных озер и средой для культивирования, прежде всего, отразилась на фуркальных характеристиках, как наиболее чувствительных к солености. Число щетинок и длина фурки оказались выше при искусственном выращивании. Меньшая плотность среды, характерная для вод с меньшей соленостью, стимулировала увеличение количества щетинок для поддержания рачков в толще воды.

В естественных условиях среды одновременно с увеличением длины тела и abdomena произошло уменьшение показателей ширины тела ( $aw$ ,  $hw$ ,  $de$ ). Таким образом, артемия в природных условиях имела более вытянутое, прогонистое тело, что, вероятно, связано не только с соленостью, но и с большей подвижностью рачков в естественных водоемах и характером питания.

В лабораторных условиях соленость и другие факторы (температура, кислотность, освещение, питание и т. д.) поддерживались на оптимальном для роста рачков уровне, в то время как в природе в пределах одного ве-

гетационного сезона параметры среды изменялись в широких пределах.

Кластерный анализ по показателям роста рачков из естественной и искусственной сред показал однотипное группирование популяций озер Эбейты и Кулундинское. Как в естественных популяциях, так и при искусственном выращивании общий кластер образован популяциями артемии из этих озер. В отношении других популяций проявились различия (рис. 2). Если группирование популяций в искусственной среде выращивания показывает нам проявление генотипа, то группирование естественных популяций показывает взаимодействие генотипа и среды. Результаты этого сравнения говорят о том, что, несмотря на влияние среды (в частности, солености) на морфометрию рачков, формирование пропорций тела артемии зависит от их генотипической конституции, природная среда при этом может корректировать направление изменений признаков.

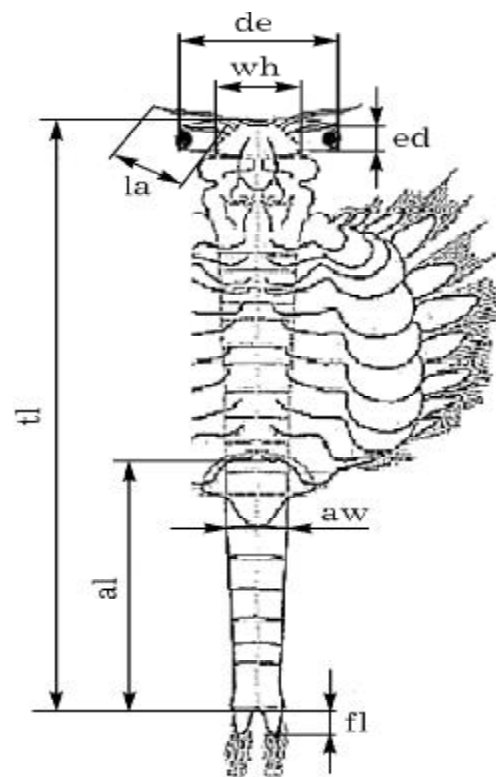


Рис. 2. Дендрограмма сходства (здесь и на рис. 3, 4 евклидово расстояние, метод взвешенно-парно-групповой средней) морфометрических параметров рачков артемии: А – из естественных водоемов, Б – выращенных в искусственных условиях

Общая фенотипическая изменчивость складывается из гено- и паратипической вариации. При искусственном выращивании влияние паратипической, или средовой, вариации несколько снижено вследствие поддержания постоянных оптимальных для роста рачка условий. В естественных условиях ее влияние на общую фенотипическую изменчивость рачков достаточно высоко.

### Сравнение показателей роста рачков азиатского континента, выращенных в лабораторных условиях

Морфометрический анализ показателей роста артемии из озер Кулундинское (Россия), Невидим (Россия), Теке (Казахстан), Баян-Тухум (Монголия) и *A. sinica* (Китай), выращенных в лабораторных условиях, представлен в табл. 2.

Уровень изменчивости анализируемых признаков в целом оказался незначительным и редко превышал средний уровень. Наиболее вариабельными оказались длина фурки и число фуркальных щетинок. Коэффициент вариации длины фурки изменялся от 8 (Кулундинское) до 24 % (Баян-Тухум), числа фуркальных щетинок – от 24 (Невидим) до 40 % (*A. sinica*). Остальные параметры оказались более стабильными.

В целом, морфометрические параметры артемии азиатских популяций в 71 % случаев достоверно различались между собой (табл. 3). Артемия озер Баян-Тухум и Кулундинское проявила наибольший уровень различий (все 10 параметров). Наименее отличались друг от друга рачки из озер Теке и Баян-Тухум (по 4 из 10 параметров). Наибольшие различия по отношению ко всем анализируемым популяциям проявили рачки из оз. Кулундинское (83 %), наименьшее – из оз. Теке (58 %).

Сравнение морфометрических параметров исследованных российских и зарубежных популяций показало следующее:

– *A. sinica* (Китай) достоверно отличалась от сибирских популяций по 65 % анализируемых пар признаков;

– бисексуальная популяция артемии оз. Баян-Тухум (Монголия) достоверно отличалась

Т а б л и ц а 2  
Сравнение морфометрических параметров рачков, выращенных из цист азиатских популяций артемии

Популяции озер	Морфометрические признаки, $\bar{x} \pm m_x$										
	tl	al	aw	de	ed	sf-r	fl	la	hw	ra, %	c/a
Невидим	10,11±0,04	4,85±0,04	0,54±0,01	1,34±0,02	0,24±0,01	9,90±0,42	0,25±0,01	1,02±0,01	0,81±0,01	47,94±0,41	1,09±0,02
	9,8–10,5	4,5–5,1	0,45–0,65	1,2–1,5	0,2–0,25	6,0–14,0	0,2–0,35	0,9–1,15	0,75–0,9	43,7–52,0	0,92–1,29
Кулундинское	8,65±0,08	4,20±0,03	0,50±0,01	1,16±0,02	0,19±0,01	8,23±0,53	0,29±0,01	0,83±0,01	0,65±0,01	48,74±0,63	1,06±0,03
	8,0–9,25	4,0–4,42	0,42–0,55	1,0–1,3	0,15–0,25	2,0–16,0	0,25–0,35	0,72–0,90	0,50–0,80	43,5–54,9	0,82–1,30
Теке	9,10±0,10	4,8±0,07	0,53±0,01	1,35±0,03	0,24±0,01	9,50±0,57	0,28±0,01	0,80±0,01	0,74±0,03	53,05±0,97	0,90±0,04
	7,95–9,90	4,0–5,52	0,43–0,63	0,92–1,62	0,18–0,28	3,0–17,0	0,22–0,38	0,58–0,98	0,47–1,02	40,7–61,3	0,63–1,46
Баян-Тухум	9,00±0,13	4,60±0,10	0,70±0,01	1,38±0,02	0,24±0,01	3,03±0,19	0,24±0,01	1,04±0,02	1,12±0,02	51,35±1,21	0,98±0,04
	7,55–10,59	3,63–5,6	0,58–0,83	1,16–1,66	0,19–0,29	2,0–6,0	0,15–0,35	0,79–1,21	1,00–1,30	40,3–68,6	0,46–1,48
<i>A. sinica</i>	8,56±0,12	4,76±0,09	0,51±0,01	1,21±0,01	0,21±0,01	7,10±0,51	0,20±0,01	0,80±0,02	0,78±0,03	55,77±1,07	0,81±0,04
	7,5–10,0	3,75–6,00	0,43–0,63	1,1–1,41	0,15–0,25	2,0–13,0	0,15–0,25	0,58–0,98	0,55–1,05	41,7–64,4	0,55–1,40

П р и м е ч а н и е. Над чертой – средняя с ошибкой, под чертой – пределы колебаний параметра.

Т а б л и ц а 3

## Оценка достоверности различий по значению t-критерия Стьюдента

Популяция	Кулундинское	Теке	Баян-Тухум	<i>A. sinica</i>
1	2	3	4	5
Индекс га				
Невидим	-1,23	<b>-4,29</b>	<b>-2,59</b>	<b>-6,56</b>
Кулундинское		<b>-3,38</b>	<b>-1,90</b>	<b>-5,93</b>
Теке			1,08	<b>-2,42</b>
Баян-Тухум				<b>-3,16</b>
Длина тела tl				
Невидим	<b>-18,53</b>	<b>8,92</b>	<b>8,75</b>	<b>12,26</b>
Кулундинское		<b>-3,46</b>	<b>-2,57</b>	0,75
Теке			0,52	<b>3,67</b>
Баян-Тухум				<b>2,76</b>
Длина абдомена al				
Невидим	<b>15,22</b>	0,50	<b>2,39</b>	0,89
Кулундинское		<b>-7,36</b>	<b>-3,84</b>	<b>-6,10</b>
Теке			1,73	0,49
Баян - Тухум				1,28
Ширина абдомена aw				
Невидим	<b>3,69</b>	0,83	<b>-10,32</b>	1,98
Кулундинское		<b>-2,09</b>	<b>-16,10</b>	-0,46
Теке			<b>-10,31</b>	1,39
Баян-Тухум				<b>12,63</b>
Число щетинок на правой фурке sf-r				
Невидим	<b>2,41</b>	0,58	<b>14,79</b>	<b>4,67</b>
Кулундинское		-1,62	<b>9,93</b>	1,69
Теке			<b>11,66</b>	3,99
Баян-Тухум				<b>-7,62</b>
Длина фурки fl				
Невидим	<b>-4,42</b>	<b>-2,41</b>	0,86	<b>4,65</b>
Кулундинское		1,05	<b>4,09</b>	<b>11,32</b>
Теке			<b>2,81</b>	<b>8,23</b>
Баян-Тухум				<b>3,79</b>
Расстояние между глазами de				
Невидим	<b>7,12</b>	-0,17	-1,11	<b>4,96</b>
Кулундинское		<b>-6,02</b>	<b>-8,69</b>	<b>-2,36</b>
Теке			-0,78	<b>3,87</b>
Баян-Тухум				<b>6,78</b>
Диаметр глаз ed				
Невидим	<b>7,53</b>	-0,58	-0,42	<b>5,64</b>
Кулундинское		<b>-7,20</b>	<b>-6,95</b>	<b>-2,28</b>
Теке			0,00	<b>4,78</b>
Баян - Тухум				<b>3,73</b>

1	2	3	4	5
Длина первой антенны la				
Невидим	<b>13,06</b>	<b>9,77</b>	-0,89	<b>13,33</b>
Кулундинское		1,81	<b>-8,51</b>	<b>7,40</b>
Теке			<b>-8,84</b>	<b>3,54</b>
Баян-Тухум				<b>11,67</b>
Ширина головы hw				
Невидим	<b>9,17</b>	<b>2,21</b>	<b>-16,07</b>	0,70
Кулундинское		<b>-2,76</b>	<b>-29,87</b>	<b>-4,32</b>
Теке			-12,59	-1,10
Баян-Тухум				<b>-10,51</b>

Примечание. Жирным шрифтом выделены достоверные различия.

от сибирских популяций рачков по 80 % анализируемых пар признаков;

– партеногенетическая популяция артемии оз. Теке (Казахстан) достоверно отличалась от сибирских популяций по 60 % анализируемых пар признаков.

Полученные закономерности получили подтверждение при группировании исследованных популяций методом взвешенного попарного среднего. Данные о степени сходства по морфометрическим показателям исследованных популяций артемии приведены на рис. 3. Анализ дендрограмм сходства показал наличие двух кластеров. Первый кластер объединил две популяции артемии сибирских озер (Невидим и Кулундинское). Второй кла-

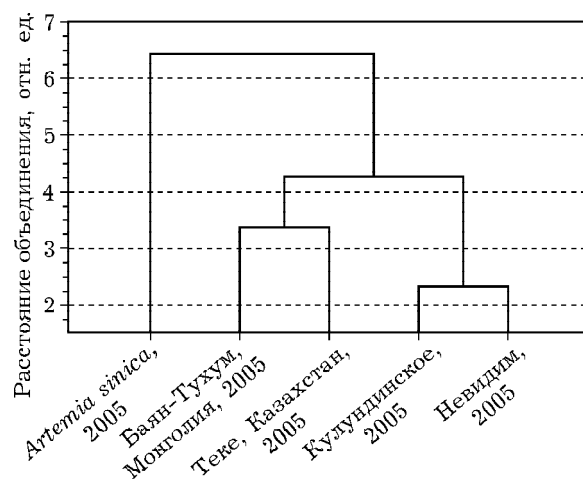


Рис. 3. Дендрограмма сходства морфометрических параметров искусственно выращенных рачков азиатских популяций

стер составили популяции рачка из озер Теке (Казахстан) и Баян-Тухум (Монголия). К ним примыкает наиболее отдаленная по исследованным морфометрическим параметрам *A. sinica*.

Изучение параметров роста рачка *Artemia* из разных мест обитания при искусственном культивировании позволило сделать вывод о том, что формирование фенотипических особенностей азиатских популяций артемии зависит не только от условий окружающей среды, но и от генетических особенностей самого объекта.

#### Сравнительный анализ морфометрических показателей искусственно выращенных рачков артемии с литературными данными

Сравнение проведено с бисексуальными популяциями американских видов *Artemia franciscana* Kellogg, 1906, *Artemia persimilis* Piccinelli and Prosdocimi, 1968 [20] и с партеногенетическими популяциями Китая, Греции, Намибии и Мадагаскара [11, 21, 22]. Условия культивирования рачков всех сравниваемых популяций были сходными (соленость около 50 г/л, кормление, аэрация).

Сравнение показателей роста артемии из Сибири и из других мест обитания показало, что рачки греческих, китайских и мадагаскарских популяций отличались самыми большими размерами (табл. 4). Основные показатели роста – длина тела и абдомена в греческих популяциях были в пределах 12,19–

Сравнение морфометрических параметров артемии, выращенной из цист различных популяций (по литературным и собственным данным)

Озеро, месторасположение	Морфометрические признаки, мм												
	tl	al	aw	de	ed	sf-r	fl	la	hw	ra, %	c/a		
Кулундинское, 2004 г., Алтайский край	8,16	4,34	0,5	1,29	0,2	7,36	0,3	0,86	1,13	53,1	0,88		
Б. Медвежье, 2004 г., Курганская обл.	8,34	3,97	0,6	1,44	0,23	10	0,39	0,93	1,22	47,6	1,1		
Актобан, 2004 г., Курганская обл.	7,44	3,77	0,51	1,26	0,22	10,1	0,41	0,81	1,04	50,63	0,97		
Невидим, 2005 г., Курганская обл.	10,11	4,85	0,54	1,34	0,24	9,93	0,25	1,02	0,81	47,94	1,08		
Кулундинское, 2005 г., Алтайский край	8,65	4,2	0,5	1,16	0,19	8,47	0,29	0,83	0,65	48,74	1,06		
Теке, 2005 г., Казахстан	9,1	4,8	0,5	1,35	0,24	9,5	0,28	0,8	0,74	52,75	0,9		
Баян-Тужум, 2005 г., Монголия	9	4,6	0,7	1,38	0,24	6,6	0,24	1,04	1,12	51,11	0,96		
Yimeng*, 2005 г., Китай	8,53	4,76	0,51	1,21	0,2	7,07	0,2	0,7	0,8	56,12	0,79		
San Francisco Bay, США <sup>1</sup>	7,74	2,95	0,69	1,69	0,35	10,95	0,27	0,76	0,94	38,12	1,62		
Salal de Atacama, Чили <sup>1</sup>	6,97	2,58	0,42	1,31	0,27	7,36	0,21	0,7	0,68	38,1	1,7		
Buenos Aires, Аргентина <sup>1</sup>	8,28	3,29	0,4	1,46	0,29	3,1	0,18	0,56	0,76	40,27	1,52		
Pichilemu, Чили <sup>1</sup>	8,4	4,37	0,42	1,35	0,28	2,88	0,21	0,56	0,77	51,74	0,92		
Масач, Бразилия <sup>1</sup>	8,44	3,83	0,62	1,7	0,32	10,16	0,34	0,81	1,02	45,15	1,2		
Los Vilos, Чили <sup>1</sup>	7,98	3,53	0,54	1,51	0,31	8,7	0,27	0,87	0,81	44,01	1,26		
Rio Grande do Norte, Бразилия <sup>1</sup>	7,56	3,18	0,61	1,42	0,29	11,21	0,27	0,78	0,9	41,94	1,38		
Piura, Перу <sup>1</sup>	5,98	2,49	0,48	1,14	0,24	8,55	0,2	0,73	0,65	41,57	1,4		
Madagascar, Мадагаскар <sup>2</sup>	11,53	6,33	0,66	1,8	0,29	7,9	0,27	1,2	0,93	54,9	0,82		
Megalon Embolon, Греция, MEM <sup>3</sup>	13,9	7,45	0,84	2,13	0,33	5,19	0,35	1,52	1,13	53,6	0,87		
Citros, Греция, CIT <sup>3</sup>	13,66	7,46	0,75	1,95	0,3	5,13	0,34	1,45	1,07	54,61	0,83		
Polychnitos, Греция, POL <sup>3</sup>	13,77	7,4	0,79	2,04	0,3	5,26	0,34	1,46	1,1	53,74	0,86		
Kalloni, Греция, KAL <sup>3</sup>	12,76	6,96	0,82	1,87	0,3	6,06	0,31	1,31	1,03	54,55	0,83		
Aibi Lake, Xinjiang, Китай, AIL <sup>3</sup>	13,11	7,08	0,77	1,96	0,32	6,27	0,28	1,35	1,07	54	0,85		
Balikum Lake, Xinjiang, Китай, BAL <sup>3</sup>	12,55	7,07	0,68	1,8	0,28	7,07	0,25	1,24	0,98	56,33	0,78		
Kazakhstan (неизвестный источник), САТ <sup>3</sup>	12,98	6,93	0,79	1,85	0,31	9,53	0,49	1,27	1,01	53,39	0,87		
Chengkou, Shandong, Китай, СНК <sup>3</sup>	11,71	6,26	0,66	1,88	0,31	8,33	0,34	1,31	0,99	53,46	0,87		
Dongjiagon, Liaoning, Китай, DOJ <sup>3</sup>	12,23	6,5	0,74	1,79	0,3	8,77	0,37	1,36	0,96	53,15	0,88		
Hangu, Tianjin, Китай, HAN <sup>3</sup>	12	6,2	0,72	1,77	0,29	8,63	0,36	1,25	0,94	51,67	0,94		
Pulandian, Liaoning, Китай, PUL <sup>3</sup>	12,45	6,61	0,71	1,8	0,29	8,73	0,36	1,32	0,96	53,09	0,88		



Хуучу, Jiangsu, Китай, XUW <sup>3</sup>	13,73	7,34	0,82	2,24	0,37	6,5	0,35	1,58	1,07	53,46	0,87
Huanghua, Hebei, Китай, HUA <sup>3</sup>	12,99	6,96	0,74	1,97	0,32	7,03	0,35	1,46	1,05	53,58	0,87
Daban Lake, Xinjiang, Китай, DAL <sup>3</sup>	14,1	8,15	0,76	1,93	0,3	6,68	0,33	1,35	1,04	57,8	0,73
Swakortmund, Намибия, NAM <sup>3</sup>	9,68	4,63	0,77	1,63	0,27	8,84	0,49	1,2	0,92	47,83	1,09
Все популяции: минимум	5,98	2,49	0,4	1,14	0,19	2,88	0,18	0,56	0,65	38,1	0,73
максимум	14,1	8,15	0,84	2,24	0,37	11,21	0,49	1,58	1,22	57,8	1,7
среднее	10,43	5,34	0,64	1,64	0,28	7,746	0,31	1,07	0,95	50,25	1,02
Сибирские популяции, среднее	8,54	4,23	0,53	1,3	0,22	9,172	0,33	0,89	0,97	49,6	1,02
Американские популяции, »	7,669	3,28	0,52	1,45	0,29	7,864	0,24	0,72	0,82	42,61	1,38
Китайские, греческие,	12,9	6,98	0,75	1,92	0,31	7,139	0,34	1,36	1,02	54,09	0,85
мадагаскарские популяции, »											

П р и м е ч а н и е. Литературные источники: <sup>1</sup> – [20]; <sup>2</sup> – [22]; <sup>3</sup> – [11]. \*В озере Yimeng обнаружена *Artemia sinica*.

13,77 и 6,44–7,46 мм, в китайских – 11,71–14,1 и 6,2–8,15 мм, в мадагаскарских – 11,53 и 6,33 мм соответственно. Для сравнения самые крупные искусственно выращенные рачки артемии из озера Невидим имели среднюю длину 10,1 мм, длину abdomена – 4,85 мм. По длине тела исследованные нами популяции рачков (сибирские, монгольские, казахские и *A. sinica*) оказались наиболее близкими к американским (*A. franciscana* и *A. persimilis*) и африканским популяциям. Но таких мелких размеров половозрелых самок, как 5,98 мм в длину (Piuga), искусственно выращенные рачки изученных нами популяции не имели. Несмотря на сходство в длине тела, пропорции тела азиатских и американских популяций различны. Для американских популяций характерно преобладание длины цефалоторакса над длиной abdomена, об этом свидетельствуют коэффициенты га и с/а, равные 38,12–53,37 % (в среднем по популяциям 43,86) и 0,87–1,70 (в среднем 1,31). В греческих, китайских и мадагаскарских популяциях, а также у *A. sinica* пропорции тела сдвинуты в сторону преобладания длины abdomена: коэффициенты га – от 51,7 до 57,8 % (в среднем 54,1), с/а – от 0,73 до 0,94 (в среднем 0,85). Для рачков сибирских популяций характерно равенство длины цефалоторакса и abdomена: индекс га – от 47,94 до 53,10 % (в среднем 49,60) и с/а – от 0,88 до 1,10 (в среднем 1,02). По этому показателю рачки из Намибии также более близки к сибирским популяциям (га – 47,83; с/а – 1,09). По всем остальным показателям рачки сибирских популяций занимают промежуточное положение между американскими и группой китайских популяций, за исключением длины фурки, которая имеет близкие значения к китайским популяциям, и числа щетинок – у сибирских популяций этот показатель наибольший.

Сравнение морфометрических параметров в целом проведено с использованием кластерного анализа (рис. 4). Все сравниваемые популяции образовали 2 кластера. Первый объединил американские популяции. Во втором кластере образовались два подкластера: первый подкластер объединил китайские, греческие, мадагаскарские и казахстанские популяции, во второй подкластер вошли си-

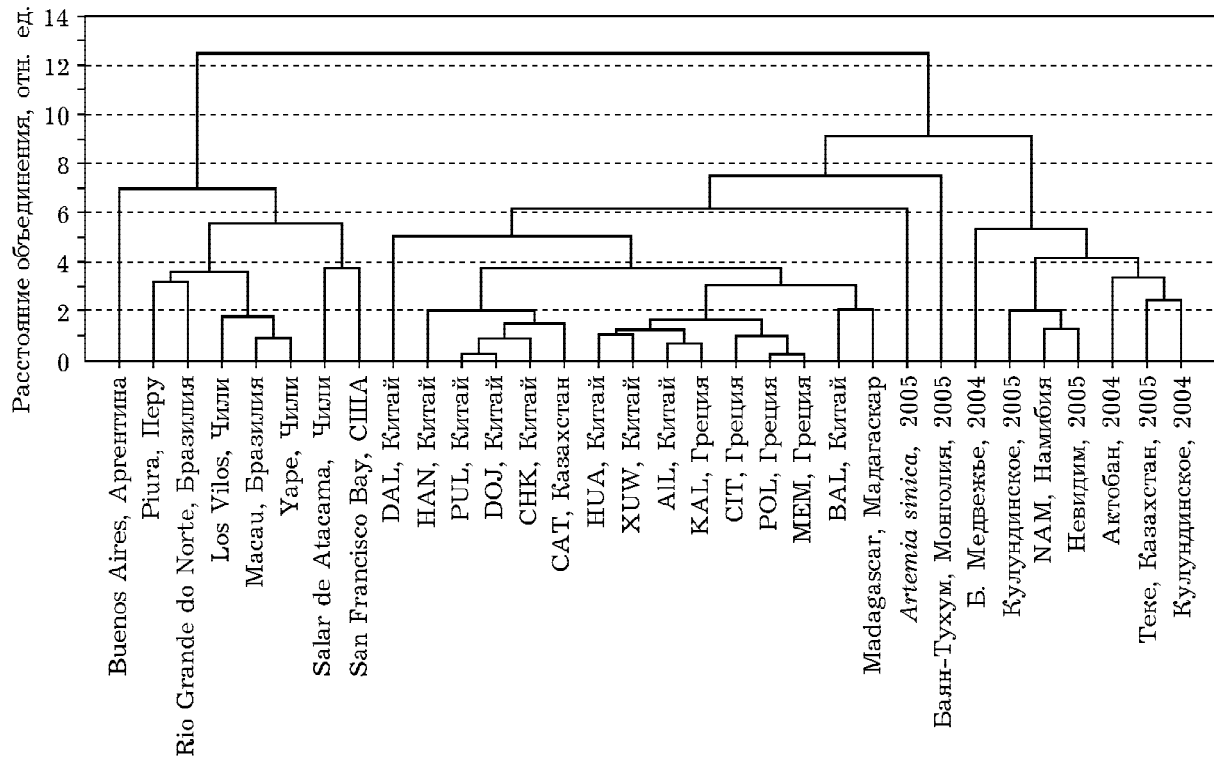


Рис. 4. Дендрограмма сходства морфометрических параметров артемии различных популяций (по собственным и литературным данным)

бирские популяции и популяция из Африки (Намибия). Бисексуальная популяция из Монголии (Баян-Тухум) и *A. sinica* присоединились на некотором удалении к первому подкластеру. Рачки первого кластера в целом имели больше щетинок на фурке (рис. 5), меньшую длину тела, в том числе абдомена, низкое значение индекса га. Таким образом, несмотря на большую разницу в морфометрических показателях между рачками сибирских популяций и популяций китайской

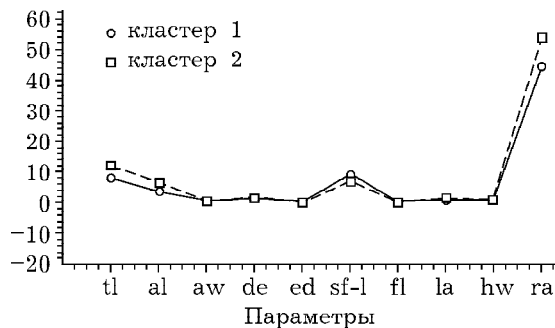


Рис. 5. Средние значения морфометрических параметров для двух кластеров

группы, сибирские оказались ближе к популяциям Старого Света, чем к популяциям Нового Света.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Вариабельность морфологических признаков внутри одной популяции не позволяет выявить морфологические различия между популяциями по нескольким аллометрическим наблюдениям. Морфологические различия становятся яснее благодаря применению многочисленных статистических тестов, в данном случае кластерного анализа.

Изучение морфометрических параметров артемии наглядно показало совокупное влияние на фенотип генотипа и условий окружающей среды. Согласно нашим исследованиям и данным многочисленных авторов [11, 19, 23–29], соленость воды является основной причиной морфологических различий популяций артемии.

Из всего комплекса морфометрических признаков наиболее информативными, пока-

зываются влияние солености среды, оказались длина фурки и число щетинок на фурке. Индексами, показывающими влияние генотипа, возможно, могут служить отношение длины абдомена к длине тела и отношение длины цефалоторакса к длине абдомена. Использование этих индексов в некоторой степени позволяет нивелировать влияние экологических факторов на размерные характеристики артемии и сосредоточить внимание на изучении аллометрической изменчивости.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Сравнительный анализ морфометрических показателей рачков одной и той же популяции из естественной и искусственной сред выявил некоторые отличия. Значения основных показателей роста рачков (длина тела и длина абдомена) оказались выше при естественных условиях. Остальные морфометрические признаки рачков изменялись в сторону увеличения при искусственном выращивании. Указанные различия обусловлены разной степенью минерализации в искусственной и естественной среде обитания.

2. Кластерный анализ по показателям роста рачков выявил дифференциацию всех изученных популяций на две группы согласно географическому расположению водоемов. Первую группу составили бисексуальные популяции артемии Северной и Южной Америки, вторую – партеногенетические и бисексуальные популяции Азии, Европы и Африки, что свидетельствует о наличии географического барьера для потока генов в виде океанов. Искусственно выращенные рачки из цист сибирских популяций по морфометрическим параметрам образуют общий кластер с азиатской группой популяций.

3. Морфометрический анализ, являющийся неотъемлемой частью видовой идентификации, в отношении артемии не может быть основным критерием для разделения видов. Только комплексные исследования с привлечением биохимического, кариологического, молекулярно-генетического анализов позволят решить эту сложную задачу.

## ЛИТЕРАТУРА

1. G. Persoone, P. Sorgeloos, *The Brine Shrimp Artemia*, Universa Press, Wetteren, Belgium, 1980, 3, 3–24.
2. C. Barigozzi, *Evolutionary Biology*, 1974, 7, 221–252.
3. J. W. Clark, S. T. Bowen, *Heredity*, 1976, **67**: 6, 385–388.
4. S. T. Bowen, J. P. Durkin, G. Sterling, L. S. Clark, *Biol. Bull.*, 1978, 155, 273–287.
5. F. A. Abreu-Grobois, *Artemia Research and Applications*, Universa Press, Wetteren, Belgium, 1987, 1, 61–99.
6. E. J. S. Pilla, J. A. Beardmore, *Heredity*, 1994, 84, 47–56.
7. G. Gajardo, J. A. Beardmore, P. Sorgeloos, *J. of Zoology*, 2001a, 253, 25–32.
8. G. Gajardo, J. A. Beardmore, P. Sorgeloos, *Heredity*, 2001b, 87, 172–177.
9. G. Gajardo, T. Abatzopoulos, I. Kappas, J. A. Beardmore, *Artemia, Basic and Applied Biology*, Kluwer Academic Publishers, 2002, 225–250.
10. G. V. Triantaphyllidis, G. R. J. Criel, N. J. Abatzopoulos, P. Sorgeloos, *Hydrobiologia*, 1997a, 357, 134–153.
11. G. V. Triantaphyllidis, G. R. J. Criel, N. J. Abatzopoulos, P. Sorgeloos, *Ibid.*, 1997b, 357, 155–163.
12. G. Mura, INCO-DEV Project on Artemia Biodiversity, Iran International Workshop, Iran, 2004, 70–74.
13. G. Mura, L. Nagorskaya, *J. of Biological Research*, 2005, 4, 139–150.
14. Е. Г. Бойко, Л. И. Литвиненко, В. А. Барминцев, *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції*, Київ, 2005, 30–38.
15. Е. Г. Бойко, Л. И. Литвиненко, *Аграрная наука на современном этапе. Сб. науч. тр. Тюменской гос. сельхоз. академии*, Тюмень, 2004, 47–49.
16. L. Litvinenko, A. Kozlov, A. Kovalenko, D. Bauer, *Hydrobiologia*, 2007, **576**: 1, 95–101.
17. Е. Г. Бойко, Л. И. Литвиненко, IX Съезд Гидробиологического общества РАН, тез. докл., Тольятти, 2006, т. 1, 48.
18. Т. Л. Студеникина, *Биологические особенности рачка Artemia salina (L.) соленых озер юга Западной Сибири: Автореф. дис... канд. биол. наук*, Новосибирск, 1986.
19. В. П. Соловов, Т. Л. Студеникина, *Рачок артемия в озерах Западной Сибири: морфология, экология, перспективы хозяйственного использования*, Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1990.
20. G. Gajardo, N. Colihueque, M. Parraguez, P. Sorgeloos, *International J. of Salt Lake Research*, 1998, 7, 133–151.
21. Th. J. Abatzopoulos, C. D. Triantaphyllidis, C. D. Kastriasis, *Artemia Research and its Applications*, Belgium, 1987, 1, 107–114.
22. G. V. Triantaphyllidis, Th. J. Abatzopoulos, E. Miasa, P. Sorgeloos, *Hydrobiologia*, 1996, 335, 97–106.
23. Н. С. Гаевская, *Тр. Зоол. лаборатории и Севастопольской биол. станции АН СССР. Сер. 2*, 1916, 3, 1–37.
24. B. M. Gilchrist, *Proceedings of the Zoological Society of London*, 1960, **134**: 2, 221–235.

25. П. М. Воронов, *Зоол. журн.*, 1979, **58**: 2, 175–178.
26. A. S. D'Agostino, *The Brine Shrimp Artemia*, Universa Press, Wetteren, Belgium, 1980, 2, 55–82.
27. Amat Domenech, *The Brine Shrimp Artemia*, 1, Universa Press, Wetteren, Belgium, 1980, 19–39.
28. R. G. Wear, S. J. Haslett, *Artemia Research and Applications*, Universa Press, Wetteren, Belgium, 1987, 3, 101–126.
29. N. El-Bermawi, A. D. Baxevanis, T. J. Abatzopoulos et al., *Hydrobiologia*, 2004, **523**: 1–3, 175–188.

## **Morphological Investigation of Cultural Artemia Shrimps from Siberian Populations**

L. I. LITVINENKO, E. G. BOYKO

The comparative analysis over 13 morphometric parameters was carried out between mature *Artemia* female from artificial (cultivated from cysts) and natural inhabitancies, and also between cultural females from different parts of the world using our own data (the Asian populations) and literature data. Shrimps from the natural habitat were distinguished by longer body and abdomen; other parameters were higher for cultural shrimps. The indicated differences are explained by different salinity of the culture media and a habitat. Cluster analysis revealed differentiation of *Artemia* populations into two big groups according to the geographical arrangement. The first group includes bisexual populations from North and South America, the second one – parthenogenetic and bisexual populations of Asia, Europe and Africa. On the basis of morphometric parameters, cultural shrimps from cysts of the Siberian populations form a common cluster with the Asian group of populations.