

ПИЩЕВОЙ СПЕКТР АВСТРАЛИЙСКОГО КРАСНОКЛЕШНЕВОГО РАКА *CHERAX QUADRICARINATUS* (VON MARTENS, 1868) (DECAPODA, PARASTACIDAE) В ПРУДАХ АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2024 Воробьева Л.В.^{a,*}, Борисов Р.Р.^a, Ковачева Н.П.^a, Пятикопова О.В.^b

^a Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва, 105187, Россия

^b Волжско-Каспийский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («КаспНИИРХ»), Астрахань, 414056, Россия
e-mail: *vorobjeva.lada@yandex.ru

Поступила в редакцию 21.09.2023. После доработки 23.12.2023. Принята к публикации 02.02.2024

Впервые приведены данные по питанию австралийского красноклешневого рака *Cherax quadricarinatus* в водоёмах на территории России. Исследования выполнены в ходе культивирования раков в трёх прудах НЭКА «БИОС» Волжско-Каспийского филиала ФГБНУ «ВНИРО» в Астраханской области в 2022 г. В пищевом спектре рака *C. quadricarinatus* преобладали растительные остатки и детрит (преимущественно гниющие части тростника), они отмечены во всех желудках с пищей, а их доля в виртуальном (усреднённом) пищевом комке составила в среднем 82.4%. Доля животного компонента в виртуальном пищевом комке в среднем составила 12.8%, и была представлена преимущественно макробентосом. Планктонные ракообразные не составляли значимой доли в виртуальном пищевом комке. Всего в желудках обнаружено 20 таксонов беспозвоночных. Среди бентосных видов преобладали личинки стрекоз, хирономид и жуков. Выполнена предварительная оценка возможного влияния рака *Cherax quadricarinatus* на экосистемы при проникновении его в естественные водоёмы Юга России.

Ключевые слова: австралийский красноклешневый рак, *Cherax quadricarinatus*, питание, пищевой спектр, трофические характеристики.

DOI:10.35885/1996-1499-17-1-08-22

Введение

Рост населения планеты, активное функционирование международных транспортных сетей, развитие аквакультуры приводит к массовым перемещениям биологических видов за пределы их естественных ареалов [McKinney, Lockwood 1999; Seebens et al., 2020]. Инвазивные чужеродные виды могут нарушать функционирование местных экосистем и конкурировать с аборигенными видами или вытеснять их, что приводит к глобальной гомогенизации биоты [Lockwood et al., 2007]. Речные раки – одни из самых крупных беспозвоночных, обитающих в пресноводных водоёмах. Они влияют на пресноводные сообщества на разных трофических уровнях, изменяют физические характеристики среды обитания и считаются ключевыми видами в пресноводных сообществах [Momot, 1995; Nyström, 2002; Reynolds et al., 2013]. В Запад-

ной Европе только четыре-пять видов раков являются аборигенными, в то время как за последние 130 лет вследствие перемещения раков, используемых в аквакультуре и аквариумистике, отмечено появление 10 чужеродных видов [Souty-Grosset et al., 2006; Holdich et al., 2009; Chucholl, Pfeiffer, 2010]. Одним из таких видов является австралийский красноклешневый рак *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868), его появление отмечено в нескольких водоёмах Южной и Центральной Европы [Jaklič, Vrezec, 2011; Weiperth et al., 2019; Arias, Torralba-Burrial, 2021; Bláha et al., 2022]. Ряд биологических и коммерческих свойств делают его отличным видом для аквакультуры, которая быстро развивается в тропических регионах мира и некоторых регионах с умеренным климатом. Аквакультура этого вида в основном ведётся в прудовых системах [Lawrence, Jones, 2002; Saoud et al.,

2013; Jutagate et al., 2023]. Для южных регионов Российской Федерации в последнее время этот вид также рассматривается в качестве нового и перспективного объекта индустриальной аквакультуры [Хорошко, Крючков, 2010; Жигин и др., 2017; Шокашева, 2018; Лагуткина и др., 2019; 2020]. Распространённой практикой является содержание маточного стада и получение молоди в установках замкнутого водоснабжения и выпуск подрощенной молоди в пруды в начале лета для дальнейшего выращивания. Количество водоёмов и регионов в мире, в которых ведётся выращивание этого вида, постоянно увеличивается. На сегодняшний день рак *C. quadricarinatus* отмечен в 67 странах/территориях, а его устойчивые популяции выявлены в естественных водоёмах 22 стран на всех континентах, кроме Антарктиды [Haubrock et al., 2021; Sallehuddin et al., 2021]. Задokumentированные популяции за пределами нативного ареала существуют в тропических или субтропических климатических зонах [Bergh et al., 2016]. Таким образом, *C. quadricarinatus* считается инвазивным чужеродным видом. Смоделированный потенциальный ареал рака, основанный на климатических предпочтениях, не включает Европу [Larson, Olden, 2012]. Тем не менее, раки были зафиксированы в дикой природе в Германии, Нидерландах и Англии, хотя, по всей вероятности, это особи, выпущенные из аквариумов и не образующие устойчивых популяций [Holdich et al., 2009; Bergh et al., 2016]. Устойчивая популяция отмечена в Словении, однако водоём не является типичным для Европы – это старичное озеро с термальными источниками [Jaklič, Vrezec, 2011]. Несколько особей *C. quadricarinatus* так же были обнаружены в термальных водоёмах Венгрии [Weiperth et al., 2019; Bláha et al., 2022]. Присутствие рака фиксировалось несколько лет подряд в одной из рек Испании, при этом существование самовоспроизводящейся популяции не было подтверждено, так как не было встречено самок с икрой [Arias, Torralba-Burrial, 2021]. Будучи тропическим видом, *C. quadricarinatus* хорошо чувствует себя при высоких температурах, но не выдерживает длительного пребывания при температуре ниже 10 °C [King, 1994; Semple et al.,

1995], поэтому вероятность успешной зимовки рака в условиях естественных водоёмов даже в южных регионах России низка. Таким образом, появление в России устойчивых популяций *C. quadricarinatus*, существующих более года, маловероятно. Однако при высокой плотности даже временное присутствие проникших из аквакультуры раков в природных водоёмах может оказывать влияние на биоценозы. В условиях развивающейся аквакультуры исследование механизмов адаптации вида, оценка его влияния на экосистемы водоёмов и потенциальных рисков для местных сообществ являются актуальными задачами. Понимание экологии питания может иметь большое значение для оценки опасности, которую представляют виды-вселенцы для местной биоты и экосистем [Chucholl, 2012]. Как правило, рака *C. quadricarinatus* рассматривают в качестве эврифага, питающегося преимущественно детритом, а также макрофитами и макробеспозвоночными [Jones, 1990; Хофштэттер, 2008; Haubrock et al., 2021]. Имеется обширная литература по кормлению *C. quadricarinatus* в аквакультуре [Saoud et al., 2012; Chaoshu et al., 2014; Rigg et al., 2020], но работы по изучению его питания в естественной среде немногочисленны. На данный момент имеются исследования, выполненные в прудовой аквакультуре Австралии [Joyce, Pirozzi, 2015] и после его вселения в некоторые водоёмы Африки [Marufu et al., 2018; Zengeya et al., 2022], а данные для других регионов, в том числе Европы, отсутствуют. Результаты, полученные в этих исследованиях, указывают на то, что растительная пища и детрит доминируют в рационе взрослых особей рака *C. quadricarinatus*, но проведённые исследования не позволяют в полной мере оценить избирательность питания вида, поскольку не содержат данных о видовом составе сообществ исследуемых водоёмов. Сопоставление таксономического состава потребляемых раком пищевых объектов с данными о видовом разнообразии и количественных характеристиках сообщества водоёма позволяет более полно оценить влияние, оказываемое видом на биоценоз. Цели работы – исследовать спектр питания *C. quadricarinatus* в условиях рыбоводных

прудов Астраханской обл., оценить влияние рака на биоценоз водоёма.

Материалы и методы

В 2022 г. на базе Научно-экспериментального комплекса аквакультуры «БИОС» Волжско-Каспийского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («КаспНИРХ») (46.068815° с. ш., 47.725760° в. д.) проведены экспериментальные работы по культивированию раков *C. quadricarinatus* в прудах. Использовали три пруда, располагавшихся в непосредственной близости друг от друга, площадью 0.1 га каждый, вытянутой формы, с отношением длины к ширине 4:1. Наполнение и питание водой прудов осуществлялось из общего водоподающего канала через рыбосороуловитель (для исключения попадания сорной рыбы). Уровень воды в прудах 1 и 2 составлял 1.3–2.0 м, а в пруду 3 был на 0.4 м ниже. Перед заливом прудов проводилось выкашивание растительности.

Выпуск молоди раков в пруды осуществляли в три этапа. В пруд 1 16 июня выпущено 1000 экз. молоди средней массой 0.1 г. В пруд 2 6 июля выпущено 650 экз. молоди средней массой 0.035 г и 850 экз. средней массой 0.17 г. В пруд 3 21 июля выпущено 500 экз. молоди средней массой 5.1 г. Выращивание раков проводили за счёт естественной кормовой базы, дополнительный корм в пруды не вносили.

При вылове раков 21–22 сентября из прудов была спущена вода. Для исследования желудков отбирали первых отловленных после спуска воды раков. Их упаковывали индивидуально и сразу помещали в морозильную камеру при температуре –20 °С. Перед исследованием желудков раков размораживали при комнатной температуре. Выбранный подход позволил сохранить естественную окраску пищевых объектов и избежать процесса коагуляции пищеварительных ферментов, которая возникает, например, при использовании спирта в качестве фиксатора. Раки из пруда 1 отловлены в 18 часов, а из прудов 2 и 3 в 8–9 часов утра. У всех выловленных особей измерены длина (от конца рострума до конца тельсона) и масса тела, определён пол.

Исследование содержимого желудков проводили в лаборатории отдела аквакультуры

беспозвоночных ФГБНУ «ВНИРО» в Москве. При исследовании содержимого желудков мы придерживались методики Р.Н. Буруковско-го [2022]. После измерений и взвешивания рака, из головогрудного отдела извлекали желудок и сразу анализировали его содержимое. Желудок переносили в чашку Петри и вскрывали. Наполненность желудка оценивали в пределах 0–100%. Следует отметить, что пища в желудках раков сильно измельчена, так как подвергается механическому воздействию сначала ротовых конечностей, а затем, уже непосредственно в желудке, зубцов так называемой «желудочной мельницы». Анализ содержимого желудков проводили с помощью стереомикроскопа Nikon SMZ18. Пищевые компоненты разделяли на следующие группы: остатки животного происхождения, растительного происхождения и мелкие фрагменты, для идентификации которых требовалось более сильное увеличение. Остатки животного происхождения идентифицировали до самого низкого возможного таксономического уровня. Затем определяли долю каждого компонента или группы компонентов в случае мелкой фракции. Для этого содержимое желудка фотографировали в чашке Петри фотоаппаратом Sigma DP3m, установленным на штативе, затем в программе Photoshop CS6 определяли площадь кадра, занимаемого каждым компонентом или группой компонентов. Для анализа мелких фрагментов использовали микроскоп Nikon E200, в составе мелкой фракции также определяли примерное соотношение растительных и животных компонентов. По данным, полученным при анализе состава пищи желудков с наполнением более трети (33%), рассчитывали, какую долю в среднем составлял каждый компонент питания. В результате этого получали реконструированный усреднённый (виртуальный) пищевой комок. Под названием «пищевые компоненты» мы подразумеваем все встреченные в желудках остатки, в отличие от «пищевых объектов», которые предположительно используются раком в качестве пищи. Исследованы желудки 26 раков из пруда 1, 21 рака из пруда 2 и 25 раков из пруда 3.

При наличии гастролитов в желудках раков отмечали их положение (на стенке желудка или

в желудке) и измеряли массу. Формирование гастролитов на внутренней части стенки желудка у раков является способом депонирования кальция, выведение которого происходит из кутикулы перед линькой. Наличие гастролитов на стенке желудка свидетельствует о подготовке особи к линьке, а нахождение внутри желудка – о недавно прошедшей линьке, и чем крупнее гастролиты, тем ближе линька.

Для изучения кормовой базы в прудах на пяти станциях (у водоподающей трубы на правом и на левом берегу, в средней части пруда, на правом и левом берегу у водоспуска, 5–7 июля и 19–20 сентября отобрали пробы зоопланктона и макрозообентоса. Отбор и обработку проб проводили по стандартным гидробиологическим методикам [Руководство..., 1992]. Макрозообентос отбирали скребком на глубине 1–1.5 м, площадь захвата составляла 0.04 м². Пробы отмывали от ила через сито с размерами ячеек 0.25 мм. Зоопланктон – путём процеживания 50 л воды, взятой 10-литровым ведром, через сеть Апштейна (размер ячеек 50 мкм). Идентификацию беспозвоночных проводили по Определителям зоопланктона и зообентоса... [2010, 2016] и Определителям пресноводных беспозвоночных... [1997, 1999, 2001].

Статистическую обработку результатов выполнили в программе Statistica 12.0. Для расчёта достоверности различий выборок использовали U-критерий Манна – Уитни. Статистически значимыми различия считались при значении p менее 0.05.

Результаты исследования

В процессе культивирования раков температура воды в прудах в среднем составляла 23–24 °С. Максимально вода в прудах прогрелась до 27–28 °С в июле – августе. В прудах массовое развитие получили нитчатые зелёные водоросли (*Hydrodictyon reticulatum* и *Cladophora* sp.). Скопления водорослей занимали 20–30% площади прудов. В прудах 1 и 2 в сентябре скопления располагались преимущественно на поверхности воды, тогда как в пруду 3 значительная их часть находилась на дне. После спуска воды на дне всех прудов отмечены детритизированные остатки тростника, скошенного весной. Среди высшей водной растительности преобладали тростник и рдесты. Площадь, занимаемая высшей водной растительностью, составляла 10–20%.

В общей сложности в планктоне выявлены 18 таксонов ракообразных, из них 15 в сентябре. Основная численность и биомасса приходилась на представителей Cladocera (табл. 1). Наиболее массовыми видами осенью были *Polyphemus pediculus* (Linnaeus, 1761), *Daphnia longispina* O.F. Müller, 1776, *Ceriodaphnia* sp. Dana, 1853.

В бентосных пробах всего отмечены 69 таксонов беспозвоночных, из них в сентябре встречены 40. Суммарная биомасса макрозообентоса в пруду 1 уменьшилась с 19.3 до 10.0 г/м², а в прудах 2 и 3 напротив увеличилась с 5.5 и 5.4 до 14.4 и 24.2 г/м², соответственно

Таблица 1. Численность и биомасса планктонных беспозвоночных в прудах

Таксон	Пруды					
	1	2	3	1	2	3
	Численность, тыс. экз./м ³			Биомасса, г/м ³		
Подкласс Copepoda	<u>1.0</u> 1.8	<u>4.8</u> 0.3	<u>0.3</u> 1.4	<u>0.020</u> 0.115	<u>0.096</u> 0.007	<u>0.006</u> 0.044
Надотряд Cladocera	<u>74.3</u> 35.1	<u>29.3</u> 38.8	<u>61.0</u> 28.2	<u>1.850</u> 0.750	<u>0.422</u> 1.062	<u>1.448</u> 0.463
Класс Ostracoda	= 1,2	<u>0.5</u> 0.03	<u>1.0</u> 1.4	= 0.035	<u>0.014</u> 0.001	<u>0.029</u> 0.042
Класс Insecta, Отряд Diptera	<u>0.1</u> 0.7	<u>0.5</u> 0.1	<u>0.02</u> 0.1	<u>0.012</u> 0.140	<u>0.092</u> 0.015	<u>0.004</u> 0.024
Всего	<u>75.4</u> 38.8	<u>35.0</u> 39.2	<u>62.4</u> 31.2	<u>1.886</u> 1.040	<u>0.624</u> 1.085	<u>1.487</u> 0.572

Примечание. Над чертой – среднее значение в июле, под чертой – в сентябре.

Таблица 2. Численность и биомасса макрозообентоса в прудах в июле и в сентябре (непосредственно перед спуском)

Таксон	Пруды					
	1	2	3	1	2	3
	Численность, экз./м ²			Биомасса, г/м ²		
Тип Annelida, Класс Oligochaeta	<u>210</u> 50	<u>10</u> 130	<u>250</u> 140	<u>0.04</u> 0.03	<u>0.20</u> 0.61	<u>0.86</u> 0.18
Подкласс Hirudinea	<u>100</u> –	<u>5</u> 5	<u>5</u> –	<u>0.24</u> –	<u>0.16</u> 0.24	<u>0.00</u> –
Тип Mollusca, Класс Gastropoda	<u>2153</u> 10	<u>150</u> 0	<u>45</u> 50	<u>13.85</u> 0.08	<u>1.078</u> 0.00	<u>0.37</u> 0.16
Тип Arthropoda, Подтип Crustacea						
Отряд Isopoda	<u>20</u> 10	<u>25</u> 20	<u>=</u> 10	<u>0.14</u> 0.02	<u>0.11</u> 0.05	<u>=</u> 0.001
Класс Ostracoda	<u>48</u> –	<u>20</u> –	<u>830</u> 5	<u>0.23</u> –	<u>0.02</u> –	<u>1.89</u> 0.01
Класс Insecta						
Отряд Hemiptera	<u>190</u> 15	<u>120</u> 60	<u>140</u> 5	<u>1.08</u> 0.16	<u>0.43</u> 1.04	<u>0.63</u> 0.04
Отряд Coleoptera (imago)	<u>=</u> 5	<u>15</u> 20	<u>10</u> 20	<u>=</u> 0.01	<u>0.04</u> 0.06	<u>0.07</u> 0.004
Отряд Coleoptera (larvae)	<u>168</u> 20	<u>260</u> 5	<u>70</u> 130	<u>0.54</u> 0.02	<u>0.52</u> 0.002	<u>0.45</u> 0.15
Отряд Diptera, кроме Chironomidae	<u>12.5</u> 160	<u>5</u> –	<u>10</u> 130	<u>0.06</u> 0.04	<u>0.14</u> –	<u>0.003</u> 0,03
Отряд Diptera, сем. Chironomidae	<u>765</u> 385	<u>45</u> 1010	<u>905</u> 37355	<u>0.22</u> 0.24	<u>0.01</u> 6.69	<u>0.39</u> 15.73
Отряд Ephemeroptera	<u>375</u> 125	<u>435</u> 55	<u>235</u> 745	<u>0.96</u> 0.04	<u>2.61</u> 0.01	<u>0.76</u> 0.33
Отряд Odonata	<u>38</u> 150	<u>30</u> 95	<u>5</u> 495	<u>1.92</u> 9.39	<u>0.15</u> 5.71	<u>0.01</u> 7.60
Отряд Trichoptera	<u>=</u> 25	<u>15</u> 40	<u>=</u> 85	<u>=</u> 0.06	<u>0.01</u> 0.06	<u>=</u> 0.07
Всего	<u>4078</u> 955	<u>1135</u> 1440	<u>2505</u> 39170	<u>19.27</u> 10.04	<u>5.48</u> 14.47	<u>5.43</u> 24.22

Примечание. Над чертой – среднее значение в июле, под чертой – в сентябре.

(табл. 2). Обращает на себя внимание снижение численности моллюсков в пруду 1 за период между исследованиями с 2000 до 10 особей на 1 м². Также значительные изменения претерпел и видовой состав насекомых в прудах, что могло быть обусловлено завершением личиночного цикла развития одних видов и началом развития других. В сентябре наиболее массовой группой были личинки хирономид (*Polypedilum nubifer* (Skuse, 1889); *Glyptotendipes* sp. Kieffer, 1913; *Chironomus* sp. Meigen, 1803 и др.). Их максимальная численность отмечена в пруду 3, где они были

приурочены к скоплениям нитчатых зелёных водорослей на дне водоёма. Вероятно, высоким обилием личинок хирономид в скоплениях водорослей обусловлены и более высокие показатели суммарной биомассы макрозообентоса в пруду 3. Обращает на себя внимание разнообразие хищных видов бентоса, таких как личинки стрекоз, имаго и личинки жуков, клопов во всех трёх прудах. В сентябре на личинок стрекоз и хирономид приходилась основная биомасса бентоса (табл. 2).

За период выращивания в прудах масса раков увеличилась в 200 раз в пруду 1, в 100

раз в пруду 2 и в 6 раз в пруду 3, а выживаемость составила от 56.5 до 84.7% (табл. 3). Раки в прудах 1 и 3 достигли товарного размера. Величина прироста зависела от продолжительности культивирования и размерных характеристик выпущенной в пруды молоди. Максимальные показатели роста и выживаемости отмечены в пруду 1, при максимальной продолжительности культивирования (97 сут). Соотношение самцов и самок в прудах было близким к 1:1, а их размерно-весовые характеристики отличались незначительно. Биомасса раков в пруду 1 в сентябре оказалась выше биомассы бентоса и составила 31.4 г/м². Показатели биомассы раков и макробентоса в пруду 2 были близки, а в пруду 3 биомасса раков оказалась ниже биомассы бентоса (табл. 2, 3).

У отловленных раков в 83.3% желудков была обнаружена пища (рис. 1). Интенсивность питания оказалась статистически значимо выше у раков, отловленных утром в прудах 2 и 3, чем у особей, отловленных вечером (пруд 1) ($p = 0.0004$ и 0.009 , соответственно). Доля желудков, наполненных более чем на треть, у них составила 62% и 56%, соответственно. У раков, отловленных вечером (пруд 1), большая часть желудков оказалась практически пустой, и только у одной особи желудок был заполнен более чем на треть. Низкие показатели наполненности желудков свидетельствуют о снижении интенсивности питания в дневное время, что отмечено и у других видов речных раков [Черкашина,

2002]. В связи с этим при дальнейшем анализе интенсивности питания и при определении доли пищевых компонентов в виртуальном пищевом комке мы использовали только данные, полученные при изучении содержимого желудков раков из прудов 2 и 3.

Кроме того, отмечено снижение интенсивности питания у раков в период линьки, такие особи имели крупные гастролиты на стенке желудка или внутри него (рис. 2).

В прудах 2 и 3 наполнение желудков самок в среднем составило 42.6 (± 36.2)%, а самцов только 32.3 (± 26.6)%, однако наблюдаемые отличия не были статистически значимы.

В содержимом желудков раков отмечены остатки растительного происхождения (фрагменты высших растений, семена, нитчатые зелёные водоросли), части животных и песок (табл. 4).

Остатки растительного происхождения в желудках были представлены фрагментами высших растений и нитчатыми зелёными водорослями. Фрагменты высших растений представляли собой преимущественно отмершие (детритизированные) части тростника и другой растительный детрит, реже встречались зелёные листья рдестов и семена. Они отмечены во всех исследованных желудках (табл. 4), а их доля в виртуальном пищевом комке для раков из прудов 2 и 3 составила 71.3% и 54.8%, соответственно. Чаще всего семена встречались в желудках раков из пруда 3 (частота встречаемости – 42.1%), но их доля в виртуальном пищевом комке при этом

Таблица 3. Рост и выживаемость раков *Cherax quadricarinatus* при культивировании в прудах

Показатели	Пруд 1	Пруд 2		Пруд 3
Средняя масса выпущенной молоди, г	0.18 \pm 0.10	0.04 \pm 0.01	0.17 \pm 0.10	5.1 \pm 3.14
Средняя длина выпущенной молоди, мм	19.0 \pm 3.8	10.5 \pm 0.9	18.7 \pm 3.8	58.0 \pm 9.5
Кол-во выпущенной молоди, экз.	1000	650	850	500
Продолжительность выращивания, сут	97	78		63
Количество выловленных раков, экз.	847	850		342
Выживаемость, %	84.7	56.5		68.4
Средняя масса выловленных раков, г	37.1 \pm 11.2	15.6 \pm 7.7		30.5 \pm 14.2
Средняя длина выловленных раков, мм	119.0 \pm 15.4	95.4 \pm 20.1		113.6 \pm 17.0
Биомасса, г/м ²	31.4	13.2		10.4

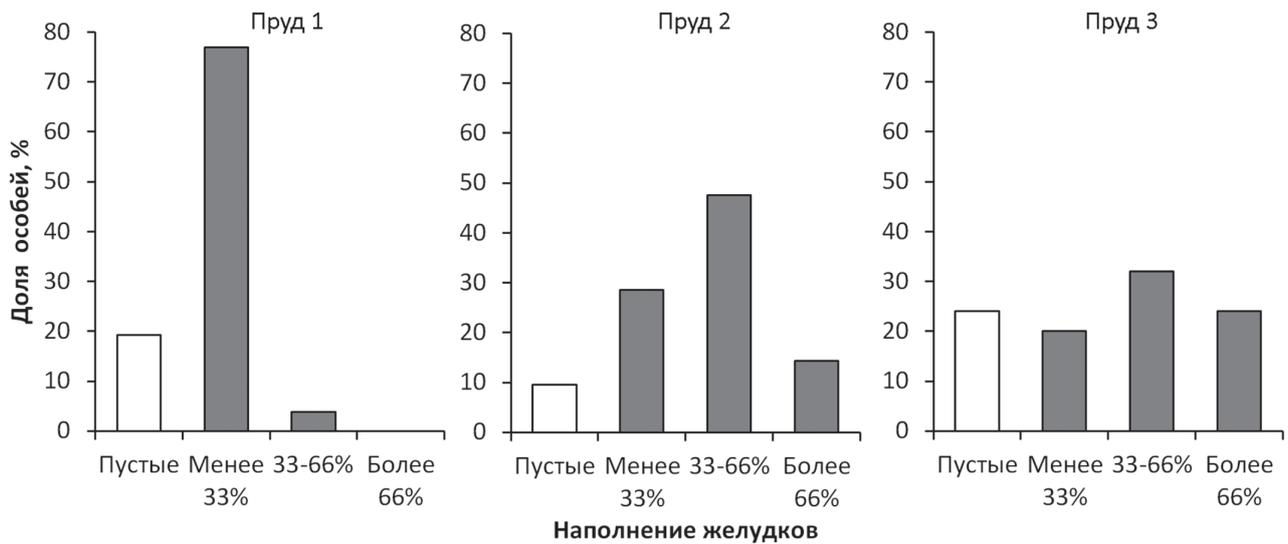


Рис. 1. Наполнение желудков у раков *Cherax quadricarinatus* в прудах

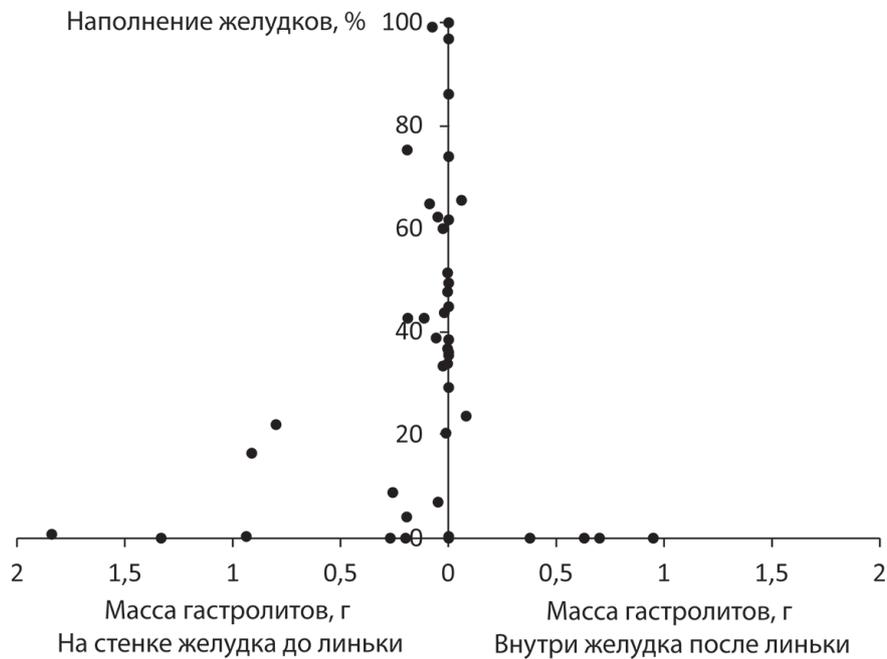


Рис. 2. Наполнение желудков у раков *Cherax quadricarinatus* из прудов 2 и 3, в зависимости от массы и положения гастролитов

Таблица 4. Состав пищи рака *Cherax quadricarinatus* в прудах

Пищевые компоненты	Частота встречаемости (%)			Доля в виртуальном пищевом комке, % **	
	Пруд 1	Пруд 2	Пруд 3	Пруд 2	Пруд 3
Фрагменты высших растений*	100.0	100.0	100.0	71.3	54.8
Семена	9.5	10.5	42.1	0.3	6.3
Нитчатые зелёные водоросли	14.2	68.4	57.9	6.2	26.5
Части животных	57.1	94.7	73.7	14.3	10.1
Песок	14.2	73.7	36.8	7.9	2.3
Исследовано желудков	21	19	19	15	14

*– Преимущественно гниющие фрагменты высших растений, чаще всего тростника, единично присутствовали зелёные части рдестов. **– Для особей с наполнением более трети желудка.

составила лишь 6.3% (табл. 5). Нитчатые зелёные водоросли отмечены более чем в половине желудков у раков из прудов 2 и 3 (табл. 4), но существенную долю в виртуальном пищевом комке (26.5%) они составляли только у раков из пруда 3. Фрагменты зелёных листьев рдестов встречались единично и не составляли значимой доли в виртуальном пищевом комке.

Частота встречаемости песка была высокой у раков из пруда 2 (73.7%), но его доля в виртуальном пищевом комке при этом составила только 7.9%. У раков из прудов 1 и 3 песок в желудках встречался значительно реже (табл. 5). По-видимому, песок захватывался раками не целенаправленно, а вместе с детритизированными растительными остатками.

Компоненты животного происхождения были представлены хитиновыми частями насекомых и ракообразных. Частота встречаемости компонентов животного происхождения была высокой – в прудах 2 и 3 она составила 94.7 и 73.7%. Доля в виртуальном пищевом комке составила 14.3 и 10.1%, соответственно, однако эти различия не были статистически значимы (табл. 4).

В общей сложности в желудках раков обнаружены остатки 20 видов беспозвоночных. В таблице 5 приведены данные по частоте встречаемости основных групп беспозвоночных. Из представителей макробентоса чаще других раки поедали личинок стрекоз (*Anax parthenope* (Sélys, 1839); *Crocothemis*

erythraea (Brullé, 1832); *Enallagma cyathigerum* (Charpentier, 1840)), личинок и имаго жуков (сем. Dytiscidae и Hydrophilidae), личинок хирономид (*Chironomus* sp.; *Cricotopus* gr. *sylvestris*; *Glyptotendipes* sp.; *Polypedilum* sp.) и клопов (*Plea minutissima* Leach, 1817; *Sigara* sp. Fabricius, 1775). В виде единичных находок в желудках отмечены статобласты мшанок и личинки вислоккрылки (*Sialis* sp.). Помимо водных насекомых в желудках нескольких раков обнаружены части муравьёв, которые в большом количестве заселяли берега прудов. Планктонные ракообразные в желудках раков из прудов 1 и 2 значимой доли в пищевом комке не составляли, а регулярно отмечался только *Eurycercus lamellatus* (O.F. Müller, 1776).

Обсуждение результатов

Результаты проведённого нами исследования спектра питания рака *C. quadricarinatus* в рыбоводных прудах показали, что в составе пищи преобладающую роль играли растительные остатки, в большинстве представленные детритизированными фрагментами тростника. Доля животной пищи в среднем составила 10–15%, в основном это были личинки и имаго насекомых. Полученные нами данные хорошо соотносятся с результатами других исследователей [Saoud et al., 2012; Marufu et al., 2018; Zengeya et al., 2022], согласно которым, в природных водоёмах растительная пища и детрит доминируют в раци-

Таблица 5. Частота встречаемости (%) групп беспозвоночных в желудках рака *Cherax quadricarinatus* в прудах

Объекты питания	Пруд 1	Пруд 2	Пруд 3
Надотряд Cladocera	23.8	36.8	–
Подкласс Copepoda	–	5.3	5.3
Тип Bryozoa	–	–	5.3
Отряд Ephemeroptera	9.5	–	–
Отряд Odonata	14.3	21.1	26.3
Отряд Diptera, Chironomidae	0.0	31.6	10.5
Отряд Hemiptera	–	21.1	–
Отряд Megaloptera	–	5.3	–
Отряд Hymenoptera, сем. Formicidae	–	10.5	5.3
Исследовано желудков	21	19	19

оне взрослых особей рака *C. quadricarinatus*. Хотя полученные нами данные указывают на превалирование растительной составляющей в питании *C. quadricarinatus*, мы считаем, что животная пища является важным компонентом его рациона. На это указывает тот факт, что у активно питающихся особей (пруды 2 и 3) животная пища встречена в 94.7 и 73.7% желудков. В литературе отмечено, что значение в питании рака детрита и растительности часто преувеличивается, поскольку при изучении содержимого желудков внимание акцентируется на неперевариваемых остатках, в том числе фрагментах растений [Momot, 1995; Alcorlo et al., 2004]. По этой же причине может недооцениваться значимость животных с мягким телом, таких как моллюски, поскольку раки чаще всего потребляют их без раковин [Huner, Naqvi, 1986; Momot, 1995]. Доля энергии, получаемой из животной пищи, по данным изотопного анализа могла быть в 4–5 раз выше, чем согласно только анализу содержимого желудков [Whitledge, Rabeni, 1997]. Следует так же учитывать, что доступность макрозообентоса обычно существенно ниже, чем детрита и растительности, поэтому высокая частота встречаемости животных остатков в желудках раков указывает на целенаправленное поглощение ими животной пищи. Наблюдения за пищевым поведением речных раков показывают, что, несмотря на часто отмечаемое превалирование растительности в их рационе, животная пища остаётся для них наиболее привлекательной [Momot, 1995; Nyström, 2002; Johnston et al., 2011]. Животная пища особенно важна для обеспечения высокой скорости роста молоди раков. При культивировании молоди *C. quadricarinatus* рекомендуется использовать корма с долей белка не менее 30% [Hernandez et al., 2001; Cortes-Jacinto et al., 2003; Gutierrez, Rodriguez, 2010; Rigg et al., 2020]. По данным ряда авторов, в рационе молоди рака обычно выше доля животной пищи, чем в рационе взрослых особей рака *C. quadricarinatus* [Saoud et al., 2012; Marufu et al., 2018; Zengeya et al., 2022]. Изменение состава диеты в ходе онтогенеза у *C. quadricarinatus* подтверждается и составом пищеварительных ферментов. У молоди отмечается высокое содержа-

ние протеаз и низкое – карбогидраз, однако по мере роста раков содержание карбогидраз увеличивается, что указывает на снижение доли белковой пищи [Figueiredo, Anderson, 2003].

Анализ относительной роли разных экологических групп животных в пищевом спектре рака *C. quadricarinatus* показал, что они представлены в основном макробентосом. Планктонные ракообразные, за исключением *E. lamellatus*, встречались в желудках раков единично. Незначительная роль планктона в питании взрослых раков может быть обусловлена изменением пищевых предпочтений, а также поведения (молодь часто перемещается по водной растительности, а крупные раки преимущественно перемещаются по дну). Кроме того, ловля мелких пищевых объектов в отсутствие у раков настоящего фильтрующего аппарата для крупных раков может становиться энергетически не целесообразной.

Большое разнообразие представителей макрозообентоса в желудках раков указывает на широкие возможности рака *C. quadricarinatus* по потреблению донных беспозвоночных. Вместе с тем, можно отметить, что раки отдавали предпочтение насекомым и их личинкам среднего и крупного размера, в частности, личинкам стрекоз и жуков. Именно на них приходится основная доля животного компонента в виртуальном пищевом комке. Мелкие пищевые объекты, например личинки хирономид, которые в массе были отмечены в зарослях нитчатых водорослей, оказались не столь многочисленны в желудках раков. Возможно, они были менее доступны для раков, чем личинки более крупных хищных насекомых. Широкий спектр потребления различных групп донных беспозвоночных характерен и для нативных видов раков. Так, оценивая избирательность питания раков, Н.Я. Черкашина [1976] отмечает, что они потребляют практически всех донных беспозвоночных, встречающихся в водоёме. По данным различных исследователей, в рационе европейских речных раков чаще всего присутствуют моллюски и личинки насекомых (особенно хирономид и ручейников) [Куренков, 1951; Будников, Третьяков, 1952; Нефёдов, Наумова, 1974; Румянцев,

1974; Бродский, 1981; Momot, 1995; Черкашина, 2002].

Во всех трёх изученных нами прудах растительные остатки были наиболее доступным ресурсом. По-видимому, учитывая склонность рака *C. quadricarinatus* к эврифагии, это обеспечило превалирование растительного компонента в его питании. В то же время, присутствие в пище раков разнообразных водных насекомых, муравьёв и семян свидетельствует о том, что раки активно занимаются поиском более калорийных и богатых белком источников пищи. Данные о потреблении раками семян и муравьёв имеются и для других видов речных раков [Momot, 1995; Gherardi et al., 2004].

Полученные нами результаты соответствуют опубликованным ранее исследованиям, где рак *C. quadricarinatus* классифицирован как политрофный факультативно всеядный вид [Jones, 1990; Saoud et al., 2012; Marufu et al., 2018; Joyce, Pirozzi, 2015; Zengeya et al., 2022].

В желудках раков нами не было обнаружено моллюсков. При этом в июле это была одна из ведущих групп бентоса, но осенью моллюски отмечались лишь единично. В литературе многократно указывалось на возможность снижения численности моллюсков вследствие выедания их раками [Barr et al., 1978; Huner, Naqvi, 1986; Hanson et al., 1990; Nyström et al., 1999; Kreps et al., 2012] и даже локальное их исчезновение [Alcorlo et al., 2004]. Учитывая, что в сентябре биомасса раков в прудах оказалась выше или сравнима с биомассой макрозообентоса, можно предположить, что они могли оказывать существенное влияние на макробентос и за период культивирования существенно сократили количество моллюсков в прудах.

Наибольшей биомасса раков осенью была в пруду 1 (табл. 3). Здесь же в сентябре оказалась минимальной биомасса макрозообентоса (табл. 2). Учитывая общее снижение биомассы бентоса в пруду 1 за время культивирования раков (табл. 2), можно предполагать, что это стало следствием активного питания раков бентосными организмами. В прудах 2 и 3 продолжительность культивирования и биомасса раков осенью была ниже, и тенденции

снижения биомассы бентоса в прудах отмечено не было. Кроме того, несмотря на активное потребление раками личинок стрекоз, их численность осенью оказалась выше, чем летом во всех прудах (табл. 2). Возможно, раки способны оказать существенное влияние на развитие макробентоса только при высоких плотностях посадки.

Имеющиеся на сегодня данные о пищевых предпочтениях речных раков указывают на то, что им свойственна эврифагия и высокая пищевая пластичность, проявляющаяся в освоении новых пищевых объектов при сезонных или иных изменениях условий существования и в использовании разной пищи в разных водоёмах [Бродский, 1981; Momot, 1995; Askefors, 1998; Correia, 2002; Nyström, 2002; Saoud et al., 2012; Joyce, Pirozzi, 2015]. Многие авторы придерживаются мнения, что речные раки могут занимать одно из ведущих мест в сообществе благодаря своей политрофности [Hogger, 1988; Hanson et al., 1990; Lodge et al., 1994; Momot, 1995; Nyström et al., 1996; Parkyn et al., 1997; Whitley, Rabeni, 1997; Nyström et al., 1999]. Количество потребляемой ими животной пищи варьирует в соответствии с её доступностью [Alcorlo et al., 2004]. Таким образом, раки могут играть роль как хищников, так и потребителей автотрофного вещества или разлагающейся органики [Giling et al., 2009]. Как виды, способные к взаимодействию с разными трофическими уровнями, они оказывают более интенсивное воздействие на экосистему, чем взаимодействующие с одним трофическим уровнем [Geiger et al., 2005]. Потребляя бентосных беспозвоночных, макрофиты и детрит, они тем самым оказывают сильное влияние на бентосные сообщества, меняя их структуру, а, следовательно, влияют и на потоки энергии в экосистемах в целом. Показано, что раки могут снижать обилие водорослей, таких как *Cladophora* [Hart, 1992] и макрофитов [Feminella, Resh, 1989; Lodge et al., 2000; Alcorlo et al., 2004], тем самым изменяя среду обитания. Также многократно отмечена способность раков сильно снижать обилие моллюсков [Barr et al., 1978; Huner, Naqvi, 1986; Hanson et al., 1990; Alcorlo et al., 2004; Kreps et al., 2012].

В условиях нашего эксперимента раки *C. quadricarinatus* продемонстрировали высокие скорости роста в прудах. Результаты выращивания раков в пруду 1 показали, что за три месяца при посадке молоди 1 экз./м² исходной средней массой 0.1 г, могут быть получены особи товарного размера массой 30–60 г. Скорость роста молоди *C. quadricarinatus* оказалась в несколько раз выше, чем у раков нативных видов, которые в среднем за первый год в прудах достигают массы 5 г, а массы 35 г только к концу второго года культивирования [Черкашина, 2007]. При этом выживаемость составила 84.7%. Всё это свидетельствует о том, что условия и кормовая база в прудах, даже при отсутствии дополнительного внесения кормов, оказались оптимальными для раков. При этом из всех признаков влияния раков на биоценозы водоёмов, отмеченных в литературе, в нашем эксперименте наблюдалось только резкое сокращение численности моллюсков, а показатели биомассы бентоса в целом оставались на высоком уровне. Это свидетельствует, что естественных ресурсов биоценозов водоёмов было достаточно для обеспечения интенсивного роста раков при плотности посадки около 1 экз./м². Отсутствие ярко выраженного влияния раков на донное сообщество может быть обусловлено высокой долей растительных остатков, которые раки включают в свой рацион, что приводит к уменьшению нагрузки на бентосные сообщества.

Оценивая экологические риски при культивировании рака *C. quadricarinatus*, можно предполагать, что его прямое воздействие на экосистемы водоёмов, вероятно, будет небольшим (учитывая, что во взрослом состоянии этот вид в основном является детритофагом), сопоставимым с влиянием нативных видов. При этом, поскольку низкие зимние температуры в регионе не позволяют раку *C. quadricarinatus* успешно перезимовать [King, 1994; Semple et al., 1995; Vesely et al., 2015], его воздействие на экосистемы в целом будет временным и ограничиваться летним и осенним сезонами.

Выводы

Первые в России исследования питания рака *C. quadricarinatus* в условиях естественной кормовой базы показали, что основу его

рациона составляют различные растительные остатки, а основным источником белка являются макробеспозвоночные, в первую очередь различные личинки насекомых. Всего в желудках обнаружено 20 видов беспозвоночных. Среди бентосных видов преобладали личинки стрекоз (чаще других отмечены личинки *Anax parthenope*), личинки хирономид и жуков. Планктонные ракообразные не составляли значимой доли в виртуальном пищевом комке. Полученные результаты свидетельствуют, что раки *C. quadricarinatus* при использовании разнообразной естественной кормовой базы прудов демонстрируют высокие скорости роста, превышающие показатели роста нативных видов раков данного региона. Как и другие виды раков, *C. quadricarinatus*, по-видимому, способен подстраиваться под имеющиеся пищевые ресурсы, активно используя детрит и растительность. При этом раки по возможности продолжают поиск более калорийных и богатых белком кормовых объектов. На основе имеющихся данных можно предполагать, что при проникновении в естественные водоёмы его воздействие на экосистемы водоёмов будет небольшим и сопоставимым с влиянием нативных видов, а также будет ограничено летне-осенним периодом.

Благодарности

Авторы благодарят за помощь в проведении работ сотрудников Волжско-Каспийского филиала ФГБНУ «ВНИРО» Р.Р. Тангатарову и Б.М. Анкешеву, а также Е.С. Чертопруд (ЦИ ФГБНУ «ВНИРО») за консультации по определению планктона

Финансирование работы

Исследования проведены в рамках государственного задания ФГБНУ «ВНИРО» по теме «Разработка полноцикловых технологий выращивания перспективных объектов аквакультуры с учётом региональной специфики».

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Соблюдение этических стандартов

Все экспериментальные протоколы были выполнены в соответствии с руководящими принципами ЕС по использованию лабораторных животных и уходу за ними (86/609 / СЕЕ) и при соблюдении правил, утверждённых распоряжением Президиума АН СССР от 2 апреля 1980 N 12000-496 и приказом Минвуза СССР от 13 сентября 1984 N 22. Все усилия были предприняты, чтобы использовать только минимальное количество животных, необходимое для получения надёжных научных данных.

Литература

- Бродский С.Я. Річкові раки // Фауна України. Т. 26, вып. 3, Київ: Наукова думка, 1981.
- Будников К.Н., Третьяков Ф.Ф. Речные раки и их промысел. М., 1952.
- Буруковский Р.Н. Креветки: состав пищи и пищевые взаимоотношения. СПб.: Проспект науки, 2022.
- Жигин А.В., Борисов Р.Р., Ковачева Н.П., Загорская Д.С., Арыстангалиева В.А. Выращивание австралийского красноклешневого рака в циркуляционной установке // Рыбное хозяйство, 2017. № 1. С. 61–65.
- Куренков И.И. Питание речного рака // Тр. Московского технол. ин-та рыбн. пром-сти и х-ва, 1951. Вып. 4. С. 82–90.
- Лагуткина Л.Ю., Кузьмина Е.Г., Бирюкова М.Г., Першина Е.В. Биопродуктивность прудов VI рыбноводной зоны // Вестник Астраханского гос. технического ун-та, 2019. Серия: Рыбное хозяйство. № 4. С. 87–94.
- Лагуткина Л.Ю., Кузьмина Е.Г., Таранина А.А., Ахмеджанова А.Б., Ясинский В.С., Пономарев Р.А. Фактологическое обеспечение практик повышения эффективности выращивания тропических пресноводных видов // Вестник Астраханского гос. технического ун-та., 2020. Серия: Рыбное хозяйство № 2. С. 94–105.
- Нефёдов В.Н., Наумова Г.В. К изучению питания длиннопалого рака *Astacus leptodactylus* в водоёмах Волго-Ахтубинской поймы // Тр. Волгогр. отд. ГосНИОРХ. 1974. Т. 8. С. 79–82.
- Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1: Зоопланктон / Ред. В.Р. Алексеев, С.Я. Цалолыхин. М.: Тов-во науч. изданий КМК, 2010.
- Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 2: Зообентос / Ред. В.Р. Алексеев, С.Я. Цалолыхин. М.: Тов-во науч. изданий КМК, 2016.
- Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 3: Паукообразные и низшие насекомые / Ред. С.Я. Цалолыхин. СПб.: Наука, 1997.
- Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 4: Высшие насекомые. Двукрылые / Ред. С.Я. Цалолыхин. СПб.: Наука, 1999.
- Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий, Т. 5: Высшие насекомые (ручейники, чешуекрылые, жесткокрылые, сетчатокрылые, большекрылые, перепончатокрылые) / Ред. С.Я. Цалолыхин. СПб.: Наука, 2001.
- Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеоздат, 1992.
- Румянцев В.Д. Речные раки Волго-Каспия. М.: Пищевая пром-сть, 1974.
- Хорошко А.В., Крючков В.Н. Новые направления прудовой аквакультуры в южных регионах России // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса, 2010. № 2. С. 51–54.
- Хофштэттер К.В. Креветки и раки в аквариуме. М.: Аква-Принт, 2008.
- Черкашина Н.Я. Распределение и биология толстопа-лого рака (*Astacus pachypus*) в туркменских водах Каспия // Зоологический журнал, 1976. Т. 55. № 4. С. 602–606.
- Черкашина Н.Я. Динамика популяций раков родов *Pontastacus* и *Castiastacus* (Crustacea, Decapoda, Astacidae) и пути их увеличения. М.: ФГУП «На-црыбресурс», 2002.
- Черкашина Н.Я. Сборник инструкций по культивированию раков и динамике их популяций. Ростов-на-Дону: Медиа-полис, 2007.
- Шокашева Д.И. Специфика многолетней доместикации австралийского рака *Cherax quadricarinatus* в условиях западной части Российской Федерации // Изв. ТИНРО, 2018. Т. 194. С. 188–192.
- Ackefors H. The culture and capture crayfish fisheries in Europe // World Aquaculture, 1998. Vol. 29. No. 2. P. 18, 64–67.
- Alcorlo P., Geiger W., Otero M. Feeding preferences and food selection of the red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*, in habitats differing in food item diversity // Crustaceana, 2004. Vol. 77. No. 4. P. 435–453.
- Arias A., Torralba-Burrial A. First record of the redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (Von Martens, 1868) on the Iberian Peninsula // Limnetica, 2021. Vol. 40. P. 33–42.
- Barr J.E., Huner J.V., Klarberg D.P., Witzig J. The large invertebrate-small invertebrate fauna of several south Louisiana crawfish ponds with emphasis on predacious arthropods // Proc. World Mari. Soc., 1978. Vol. 9. P. 683–698.
- Bergh Ø., Neves C.G., Hindar K., Høgåsen H.R., Jelmert A., Vrålstad T., Agdestein A., Asmyhr M.G., Basic D., Brun E., Bøe K., Godfroid J., Gudding R., Hoel K., Mejdell C., Mortensen S., Rimstad E., Hjeltnes B. Risk assessment on import of Australian redclaw crayfish to Norway. Opinion of the Panel on Animal Health and Welfare. Oslo, Norway, 2016.
- Bláha M., Weiperth A., Patoka J., Szajbert B., Balogh E.R., Staszny Á., Ferincz Á., Lente V., Maciaszek R., Kouba A. The pet trade as a source of non-native decapods: the case of crayfish and shrimps in a thermal waterbody in Hungary // Environmental Monitoring and Assessment, 2022. Vol. 194. P. 1–12.

- Chaoshu Z., Tubake T., Thi Thu Thuy N., Improving feeds and feeding practices for the redclaw aquaculture industry. Report. Barton: ACT, 2014.
- Chucholl C. Understanding invasion success: Life-history traits and feeding habits of the alien crayfish *Orconectes immunis* (Decapoda, Astacida, Cambaridae) // Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems. 2012. Vol. 404. No. 4. P. 1–22.
- Chucholl C., Pfeiffer M. First evidence for an established Marmorcrebs (Decapoda, Astacida, Cambaridae) population in Southwestern Germany, in syntopic occurrence with *Orconectes limosus* (Rafinesque, 1817) // Aquat. Invas. 2010. Vol. 5. No. 4. P. 405–412.
- Correia A.M., Niche breadth and trophic diversity: feeding behaviour of the red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) towards environmental availability of aquatic macroinvertebrates in a rice field (Portugal) // Acta Oecologica. 2002. Vol. 23. No. 6. P. 421–429.
- Cortes-Jacinto E., Villarreal-Colmenares H., Civera-Cerecedo R., Martinez-Cordova R. Effect of dietary protein level on growth and survival of juvenile freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus* (Decapoda: Parastacidae) // Aquaculture Nutrition. 2003. Vol. 9. No. 4. P. 207–213.
- Feminella J.W., Resh V.H. Submersed macrophytes and grazing crayfish: an experimental study of herbivory in a California freshwater marsh // Holarctic Ecology. 1989. Vol. 12. P. 1–8.
- Figueiredo M.S.R.B., Anderson A.J. Ontogenetic changes in digestive proteases and carbohydrases from the Australian freshwater crayfish, redclaw *Cherax quadricarinatus* (Crustacea, Decapoda, Parastacidae) // Aquaculture Research. 2003. Vol. 34. P. 1235–1239.
- Geiger W., Alcorlo P., Baltanás A., Montes C. Impact of an introduced Crustacean on the trophic webs of Mediterranean wetlands // Biological Invasions. 2005. Vol. 7. P. 49–73.
- Gherardi F., Acquistapace P., Santini G. Food selection in freshwater omnivores: a case study of crayfish *Austropotamobius pallipes* // Archiv fur Hydrobiologie. 2004. Vol. 159. No. 3. P. 357–376.
- Giling D., Reich P., Thompson R.M. Loss of riparian vegetation alters the ecosystem role of a freshwater crayfish (*Cherax destructor*) in an Australian intermittent lowland stream // J. N. Am. Benthol. Soc. 2009. Vol. 28. No. 3. P. 626–637.
- Gutierrez M.L., Rodriguez E.M. Effect of protein source on growth of early juvenile redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (Decapoda, Parastacidae) // Freshwater Crayfish. 2010. Vol. 17. P. 23–29.
- Hanson J.M., Chambers P.A., Prepas E.E. Selective foraging by the crayfish *Orconectes virilis* and its impact on macroinvertebrates // Freshwater Biology. 1990. Vol. 24. P. 69–80.
- Hart D.D. Community organization in streams: the importance of species interactions, physical factors, and chance // Oecologia. 1992. Vol. 91. P. 220–228.
- Haubrock P., Oficialdegui F., Yiwen Z., Zeng Z., Patoka J., Yeo D.C.Y., Kouba A. The redclaw crayfish: A prominent aquaculture species with invasive potential in tropical and subtropical biodiversity hotspots // Reviews in Aquaculture. 2021. Vol. 13. P. 1488–1530.
- Hernandez M.P., Rouse D.B., Olvera-Novoa M.A. Effect of dietary protein-lipid ratios on survival and growth of Australian crayfish (*Cherax quadricarinatus*) hatchlings and juveniles // Freshwater Crayfish. 2001. Vol. 13. P. 97–106.
- Hogger J.B. Ecology, Population Biology and Behaviour // In: Freshwater crayfish: biology, management and exploitation / Eds. D.M. Holdich, R.S. Lowery. London: Chapman and Hall, 1988. P. 114–144.
- Holdich D.M., Reynolds J.D., Souty-Grosset C., Sibley P.J. A review of the ever increasing threat to European crayfish from non-indigenous crayfish species // Knowl. Managt. Aquatic Ecosyst. 2009. Vol. 11. P. 394–395.
- Huner J. V., Naqvi S. Invertebrate faunas and crawfish food habits in Louisiana crawfish ponds // Proc of the 37th Annu. Conf. Southeast Assoc. of Fish and Wild. Agendes. 1986. Vol. 38. P. 395–406.
- Jaklič M., Vrežec A. The first tropical alien crayfish species in European Waters: the redclaw *Cherax quadricarinatus* (Von Martens, 1868) (Decapoda, Parastacidae) // Crustaceana. 2011. Vol. 84. P. 651–665.
- Johnston K., Robson B.J., Fairweather P.G. Trophic positions of omnivores are not always flexible: Evidence from four species of freshwater crayfish // Austral Ecology. 2011. Vol. 36. P. 269–279.
- Jones C.M. The Biology and aquaculture potential of the tropical freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus*. Queensland Department of Primary Industries Information, 1990.
- Joyce M., Pirozzi I. Using stable isotope analysis to determine the contribution of naturally occurring pond biota and supplementary feed to the diet of farmed Australian freshwater crayfish, redclaw (*Cherax quadricarinatus*) // International Aquatic Research. 2015. Vol. 8. P. 1–13.
- Jutagate T., Kwangkhwang W., Saowakoon S. Growth and competitions of the Australian red-claw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) in Thailand: the experimental approaches // Aquatic Invasions. 2023. Vol. 18. No. 1. P. 103–117.
- King C.R. Growth and survival of redclaw crayfish hatchlings (*Cherax quadricarinatus* von Martens) in relation to temperature, with comments on the relative suitability of *Cherax quadricarinatus* and *Cherax destructor* for culture in Queensland // Aquaculture. 1994. Vol. 122. P. 75–80.
- Kreps T.A., Baldrige A.K., Lodge D.M. The impact of an invasive predator (*Orconectes rusticus*) on freshwater snail communities: insights on habitat-specific effects from a multilake long-term study // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 2012. Vol. 69. No. 7. P. 1164–1173.
- Larson E.R., Olden J.D. Using avatar species to model the potential distribution of emerging invaders // Global Ecology and Biogeography. 2012. Vol. 21. No. 11. P. 1114–1125.
- Lawrence C., Jones C. *Cherax* // In: Biology of Freshwater Crayfish / Ed. D.M. Holdich. Oxford: Blackwell Scientific Press, 2002. P. 635–669.
- Lockwood J.L., Hoopes M.F. Marchetti M.P. Invasion Ecology. Oxford: Blackwell Publishing, 2007.

- Lodge D.M., Kershner M.W., Aloï J.E., Covich A.P. Effects of an omnivorous crayfish (*Orconectes rusticus*) on a freshwater littoral food web // Ecology. 1994. Vol. 75. No. 5. P. 1265–1281.
- Lodge D.M., Taylor C.A., Holdich D.M., Skurdal J. Non-indigenous Crayfishes Threaten North American Freshwater Biodiversity: Lessons from Europe // Fisheries. 2000. Vol. 25. No. 8. P. 7–20.
- Marufu L.T., Dalu T., Crispin P., Barson M., Simango R., Utete B., Nhiwatiwa T. The diet of an invasive crayfish, *Cherax quadricarinatus* (Von Martens, 1868), in Lake Kariba, inferred using stomach content and stable isotope analyses // BioInvasions Records. 2018. Vol. 7. No. 2. P. 121–132.
- McKinney M.L., Lockwood J.L. Biotic homogenization: a few winners replacing many losers in the next mass extinction // Trends Ecol. Evol. 1999. Vol. 14. P. 450–453.
- Momot W.T., Redefining the role of crayfish in aquatic ecosystems // Reviews in Fisheries Science. 1995. Vol. 3. No. 1. P. 33–63.
- Nyström P. Ecology // In: Biology of Freshwater Crayfish / Ed. D.M. Holdich. Oxford: Blackwell Scientific Press, 2002. P. 192–235.
- Nyström C., Bronmark W., Graneli P. Influence of an exotic and a native crayfish species on a littoral benthic community // Oikos. 1999. Vol. 85. No. 3. P. 545–553.
- Nyström C., Bronmark W., Graneli P. Patterns in benthic food webs – a role for omnivorous crayfish // Freshwater Biology. 1996. Vol. 36. No. 3. P. 631–646.
- Parkyn S.M., Rabeni C.F., Collier K.J. Effects of crayfish (*Paranephrops planifrons*, Parastacidae) on in stream processes and benthic faunas – a density manipulation experiment // New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research. 1997. Vol. 31. No. 5. P. 685–692.
- Reynolds J., Souty-Grosset C., Richardson A. Ecological Roles of Crayfish in Freshwater and Terrestrial Habitats // Freshwater Crayfish. 2013. Vol. 19. No. 2. P. 197–218.
- Rigg D., Seymour J., Courtney R., Jones C. A review of juvenile redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1898) aquaculture: global production practices and innovation // Freshwater Crayfish. 2020. Vol. 25. P. 13–30.
- Sallehuddin A.S., Kamarudin A.S., Ismail N. Review on the global distribution of wild population of Australian Redclaw Crayfish, *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) // Bioscience research. 2021. Vol. 18. No. 2. P. 194–207.
- Saoud I., Garza de Yta A., Ghanawi J. A review of nutritional biology and dietary requirements of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens 1868) // Aquacult. Nutr. 2012. Vol. 18. P. 349–368.
- Saoud I., Ghanawi J. Thompson K.R., Webster C.D. A review of the culture and diseases of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (Von Martens 1868) // Journal of the World Aquaculture Society. 2013. Vol. 44. No. 1. P. 1–29.
- Seebens H., Bacher S., Blackburn T., Capinha C., Dawson W., Dullinger S., Genovesi P., Hulme P.E., van Kleunen M., Kühn I., Jeschke J.M., Lenzner B., Liebhold A.M., Pattison Z., Pergl J., Pyšek P., Winter M., Essl F. Projecting the continental accumulation of alien species through to 2050 // Global Change Biology. 2020. Vol. 27. No. 5. P. 970–982.
- Semple G., Rouse D., McLain K. *Cherax destructor*, *C. tenuimanus* and *C. quadricarinatus* (Decapoda: Parastacidae): a comparative review of biological traits relating to aquaculture potential // Freshwater Crayfish. 1995, Vol. 8. P. 495–503.
- Souty-Grosset C., Holdich D.M., Noel P.Y., Reynolds J.D., Haffner P. Atlas of Crayfish in Europe. Vol. 64. Paris: Museum national d'Histoire naturelle, 2006.
- Vesely L., Buric M., Kouba A. Hardy exotics species in temperate zone: can “warm water” crayfish invaders establish regardless of low temperatures? // Scientific Reports. 2015. Vol. 5. 16340.
- Weiperth A., Gál B., Kuřiková P., Langrová I., Kouba A., Patoka J. Risk assessment of pet-traded decapod crustaceans in Hungary with evidence of *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) in the wild // North-Western Journal of Zoology. 2019. Vol. 15. No. 1. P. 42–47.
- Whitledge G.W., Rabeni C.F. Energy sources and ecological role of crayfishes in an Ozark stream: insights from stable isotopes and gut analysis // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 1997. Vol. 54. No. 11. P. 2555–2563.
- Zengeya T.A., Lombard R.J.-H., Nelwamondo V.E., Nunes A.L., Measey J., Weyl O.L. Trophic niche of an invasive generalist consumer: Australian redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus*, in the Inkomati River Basin, South Africa // Austral Ecology. 2022. Vol. 47. P. 1480–1494.

FOOD SPECTRUM OF THE AUSTRALIAN RED CLAW CRAYFISH *CHERAX QUADRICARINATUS* (VON MARTENS, 1868) (DECAPODA, PARASTACIDAE) IN THE PONDS OF THE ASTRAKHAN REGION

© 2024 Vorob'eva L.V.^{a, *}, Borisov R.R.^a, Kovacheva N.P.^a, Pyatikopova O.V.^b

^a Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, 105187, Russia

^b Volga-Caspian branch of the VNIRO ("CaspNIRKH"), Astrakhan, 414056, Russia

e-mail: *vorobjeva.lada@yandex.ru

For the first time, the data on the feeding habits of the Australian red claw crayfish *Cherax quadricarinatus* in water bodies of Russia are presented. The studies were carried out during the cultivation of crayfish in three ponds of the scientific and experimental complex of aquaculture "BIOS" of the Volga-Caspian branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography "VNIRO" in the Astrakhan region in 2022. The food spectrum of *C. quadricarinatus* was dominated by plant remains and detritus (mainly rotting parts of cane), they were noted in all stomachs with food, and their share in the virtual food bolus constituted 82.4% on average. The share of the animal component in the virtual food bolus was 12.8% on average, and it was represented mainly by macrobenthos. Planktonic crustaceans did not make up a significant proportion in the virtual food bolus. In total, 20 taxa of invertebrates were found in stomachs. Among the benthic species, larvae of Odonata, chironomids, and larvae and imago of Coleoptera predominated. A preliminary assessment of the possible impact of crayfish *Cherax quadricarinatus* on ecosystems when it penetrates into natural water bodies of the South of Russia has been carried out.

Keywords: Australian red claw crayfish, *Cherax quadricarinatus*, food spectrum, nutrition, trophic characteristics.