

## Оценка эффективности методов регулирования окраски белоногой креветки *Penaeus vannamei* в аквакультуре

Р.Р. Борисов,  
И.Н. Никонова,  
А.В. Паршин-Чудин,  
Н.П. Ковачева

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), г. Москва

E-mail: borisovrr@mail.ru

В ходе отработки технологии выращивания молоди белоногой креветки *Penaeus vannamei* до товарного размера при культивировании в установках с замкнутым водоиспользованием исследовано влияние на окраску особей состава кормов и цвета ёмкостей. Выполнено три эксперимента, в которых использовали: комбикорм для выращивания креветок Gemma Diamond (Франция); корма для донных рыб и ракообразных Tetra Min Granules и Tetra Wafer Mix (Германия); ёмкости синего и чёрного цвета, а также с чёрным дном и синими стенками. В состав кормов фирмы Tetra входила артемия, богатая астаксантином. По окончании экспериментов все креветки были сфотографированы. В программе Adobe Photoshop в цветовом пространстве CIE Lab оценены показатели цвета особей. Выполненные эксперименты показали, что применение при культивировании белоногой креветки *P. vannamei* ёмкостей чёрного цвета и кормов с повышенным содержанием астаксантина позволяет добиться максимально темной и насыщенной окраски особей. От количества астаксантина в кормах зависел цветовой тон и отчасти интенсивность окраски креветок. Яркостные характеристики окраски в основном зависели от цвета дна и стенок ёмкостей при культивировании. В черных ёмкостях креветки имели более тёмную окраску, чем в ёмкостях синего цвета или ёмкостях с черным дном и синими стенками.

**Ключевые слова:** окраска, белоногая креветка *Penaeus vannamei*, кормление, аквакультура, криптическая окраска.

### ВВЕДЕНИЕ

Одной из наиболее важных функций окраски у животных является маскировка [Cott, 1940; Endler, 2006; Stevens, 2007; Stevens, Merilaita, 2009; Duarte et al., 2017; Price et al., 2019]. У многих десятиногих ракообразных отмечена способность менять окраску [Bauer, 1981; Tume et al., 2009; Parisenti et al., 2011a; Wade et al., 2012; Stevens et al., 2014; Борисов и др., 2016; Díaz-Jiménez et al., 2018 и др.]. Исследование механизмов регулирования окраски у десятиногих ракообразных, выращиваемых в аквакультуре, имеет важное практическое значение. Рыночная стоимость как декоративных, так и используемых в пищу видов ракообразных во многом зависит от их окраски. Чаще всего, для потребителя предпочтительными являются особи, имеющие яркую насыщенную окраску [Fujii et al., 2010; Parisenti et al., 2011b]. Традиционно ракообразные ассоциируются с красным цветом, однако, в прижизненной окраске многих видов преобладают зелёные и синие оттенки. Эта окраска формируется за счёт каротино-протеинового комплекса белка

крустацианина и свободного астаксантина [Wade et al., 2012]. При нагревании происходит разрушение данного комплекса, что и является причиной хорошо всем знакомого изменения цвета раков и креветок в процессе варки. При этом яркость и насыщенность красного цвета продукции зависит от насыщенности прижизненной окраски особей [Rodríguez et al., 2017]. При культивировании десятиногих ракообразных в искусственных условиях применяются различные подходы по улучшению цветовых характеристик товарной продукции [Rodríguez et al., 2017]. Белоногая креветка *Penaeus vannamei* Boone, 1931 на сегодняшний день является самым массовым культивируемым в искусственных условиях видом десятиногих ракообразных. В 2018 году в мире выращено 4966,2 тыс. т этого вида креветок, что составило 52,9% от общемирового производства аквакультуры ракообразных [FAO, 2020]. Аквакультура белоногой креветки начинает развиваться и в России [Ковачева и др., 2018, 2020; Чемерис, 2020]. Данное исследование посвящено анализу эффективности методов, направленных

на увеличение интенсивности окраски белоногой креветки *P. vannamei* при культивировании в установках с замкнутым водоиспользованием.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом исследования послужили результаты трёх экспериментов, выполненных сотрудниками отдела аквакультуры беспозвоночных ВНИРО в ходе отработки технологии выращивания молоди белоногой креветки *P. vannamei* до товарного размера в 2019 г.

В экспериментах креветок содержали в ёмкостях трёх типов: объем 200 л, площадь дна 0,45 м<sup>2</sup>, цвет дна и стенок чёрный (200 чер.); объем 200 л, площадь дна 0,45 м<sup>2</sup>, цвет дна чёрный, стенок – синий (200 чер.-син.); объем 500 л, площадь дна 1 м<sup>2</sup>, цвет дна и стенок синий (500 син.). Использовали искусственную морскую воду, приготовленную на основе морской соли Red Sea CORAL PRO (Израиль), разведённой в водопроводной воде, пропущенной через установку обратного осмоса «Осмо СМВ Рона-250» (Россия). Для очистки воды от продуктов азотистого обмена применяли внешние фильтры Eheim 2260 (Германия). Гидрохимические показатели (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> и NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) в период проведения исследований соответствовали нормативам [Жигин, 2011]. Креветок содержали при температуре 27–30 °С, pH 7,5–8,0, солёности 12–14‰ (эксперименты № 1, 3) и солёности 3–4‰ (эксперимент № 2). В экспериментах использовали три вида комбикормов: аквариумные корма для донных рыб и ракообразных Tetra Min Granules (TMG) и Tetra Wafer Mix (TWM) (Германия); комбикорм для выращивания креветок Gemma Diamond (GD) (Франция). В табл. 1 приведены основные данные по компонентному составу использованных комбикормов.

Таблица 1. Компонентный состав кормов

Комбикорма	TMG	TWM	GD
Белок	46	45	57
Жир	7	6	15
Сырая клетчатка	0,2	2	2
Диаметр гранул, мм	1–2	5–6	2
Наличие в составе артемии в качестве источника астаксантина	+	+	–

В ходе экспериментов исследовано влияние состава кормов и цветовых характеристик ёмкостей на окраску молоди и товарных особей креветок. Варианты выполненных экспериментов охарактеризованы в табл. 2. Эксперименты № 1 и 2 выполнены с молодью креветки в возрасте 1–3 месяца. Масса особей на момент завершения экспериментов колебалась в диапазоне 1,9–7,8 г. В эксперименте № 3 задействована молодь, достигшая товарного размера (возраст 4–5 месяцев). Масса особей в конце эксперимента колебалась в диапазоне 15,7–38,0 г.

По окончании экспериментов с помощью фотокамеры Sigma dp3 Merrill и вспышки SIGMA EF-140 DG были получены изображения креветок с дорзальной стороны. Длину особей измеряли от концов скафоцеритов до конца тельсона (рис. 1). Взвешивание проводили на электронных весах Acculab ALC-210d4 с точностью до 0,01 мг.

Анализ полученных изображений выполнен в программе Adobe Photoshop CS6. Для всех изображений осуществлялась коррекция цвета по эталонному участку фона фотографии, после чего в цветовом пространстве CIE Lab (CIE L\*a\*b\*) измеряли показатели, характеризующие окраску особи. Измерения проводили в дорзальной части

Таблица 2. Варианты экспериментов

№	Тип корма	Характеристики ёмкостей:			Кол-во особей, экз.	Продолжительность, сут	Выживаемость, %	Масса конечная, г
		цвет	объем, л	кол-во, шт.				
1	TMG	син.	500	1	66	60	91	3,7±1,8
	GD	син.	500	1	66	60	88	7,8±2,6
	TMG	чер.	200	2	66	60	74	6,1±1,4
2	TMG	чер.	200	1	33	60	70	5,0±1,2
	TMG	чер-син.	200	1	33	60	76	5,0±1,2
	GD	чер.	200	2	26	20	100	30,0±4,1
3	TWM	чер.	200	1	13	20	92	21,9±2,0
	TWM	чер-син.	200	1	13	20	69	18,5±2,2

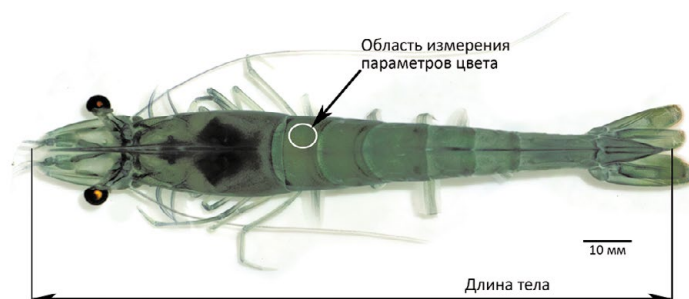


Рис. 1. Белоногая креветка *P. vannamei* – схема проведения измерений

первого сегмента брюшка особи (рис. 1). Сходная методика оценки цвета особей с использованием цветового пространства CIE Lab применялась при изучении креветок *Penaeus monodon* [Wade et al., 2012], *P. vannamei* [Parisenti et al., 2011a] и омара *Homarus americanus* [Tlusty, 2005]. В цветовом пространстве CIE Lab координатой *L* задана яркостная составляющая – яркость или светлота (изменяется от 0 до 100, то есть от самого тёмного до самого светлого), а хроматическая составляющая – двумя декартовыми координатами *a* и *b*. Первая обозначает положение цвета в диапазоне от зелёного до красного, вторая – от синего до жёлтого.

Показатель *L* лучше всего характеризует изменение интенсивности окраски особей: чем интенсивнее (темнее) окрашена особь, тем ниже значения показателя. Как было продемонстрировано ранее [Parisenti et al., 2011a; Ковачева и др., 2020], от интенсивности прижизненной

окраски креветок зависит цвет и интенсивность окраски товарной продукции после ее термической обработки.

При статистической обработке данных применяли программу Statistica 6.0. Для выявления статистически значимых различий между выборками использовали U-критерий Манна – Уитни. Различия считались статистически значимыми при  $p < 0,05$  при анализе двух выборок, а при попарном сравнении трёх выборок с учётом поправки Бонферрони – при  $p < 0,017$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ

**Эксперимент № 1.** На момент окончания эксперимента креветки, содержащиеся в чёрных ёмкостях (корм TMG), были значительно темнее ( $L = 20,8 \pm 7,3$ ), чем креветки из синих ёмкостей ( $L = 69,7 \pm 9,9$  и  $L = 71,1 \pm 5,9$  для комбикормов TMG и GD соответственно) (рис. 2 А). Креветки из черных ёмкостей также существенно отличались

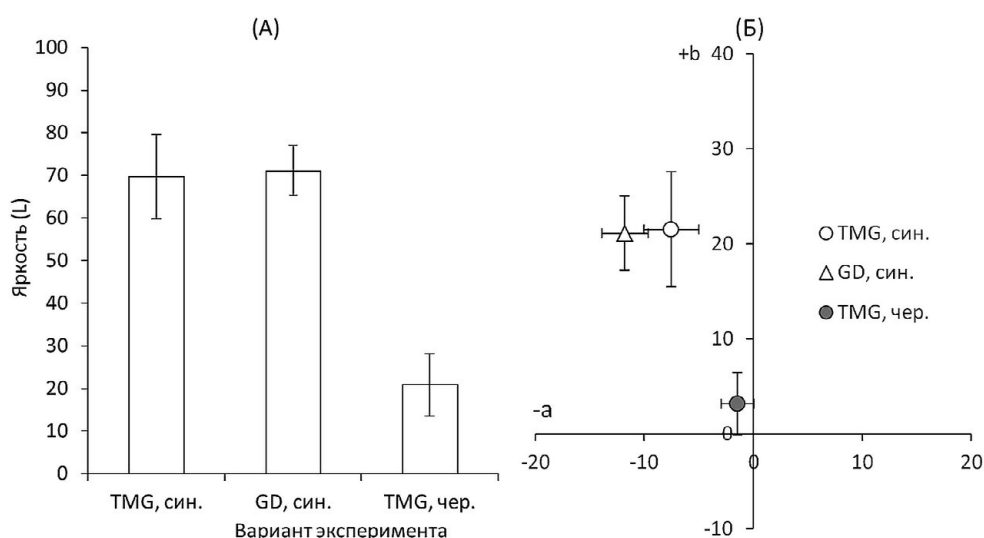


Рис. 2. Показатели яркостной (А) и хроматической (Б) составляющих окраски (в цветовом пространстве CIE Lab) молоди креветки *P. vannamei* в зависимости от цвета ёмкости и типа кома: TMG, син. – корм Tetra Min Granules, цвет ёмкости синий; GD, син. – корм Gemma Diamond, цвет ёмкости синий; TMG, чер. – корм Tetra Min Granules, цвет ёмкости чёрный

от креветок из синих ёмкостей по хроматическим показателям окраски (координаты  $a$  и  $b$ ) (рис. 2 Б). Во всех случаях наблюдалась высокая степень статистической значимости отличий ( $p < 0,000001$ ). У креветок, содержащихся в синих ёмкостях, при кормлении разными видами комбикормов наблюдаемые отличия в окраске касались показателей, характеризующих хроматическую составляющую (рис. 2 Б), и статистически значимыми были только по параметру  $a$  ( $p < 0,000001$ ). То есть креветки, которых кормили комбикормом GD, имели зеленоватую окраску, а креветки, которых кормили комбикормом TMG, – буроватую.

**Эксперимент № 2.** Условия содержания в эксперименте различались только цветом стенок ёмкостей. Тип корма и цвет дна для обоих вариантов эксперимента были одинаковыми. Креветки в ёмкости с синими стенками оказались статистически значимо ( $p < 0,000001$ ) светлее особей из полностью черных ёмкостей ( $L = 41,9 \pm 6,7$  и  $L = 23,6 \pm 5,8$  соответственно) (рис. 3 А). Статистически значимы были и отличия между группами по обеим координатам ( $a$ ,  $b$ ), характеризующим хроматическую составляющую окраски (рис. 3 Б):  $p = 0,000054$  и  $p = 0,000001$ , соответственно.

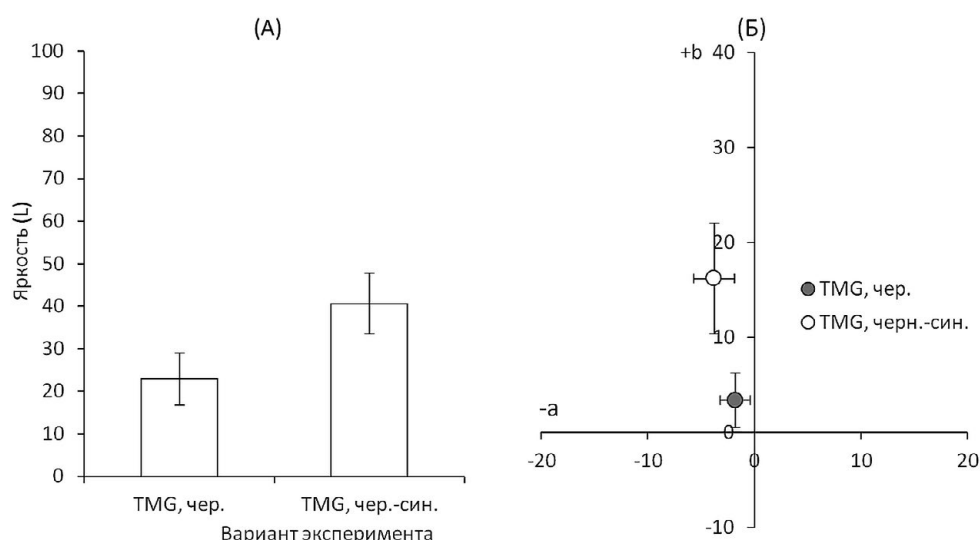
**Эксперимент № 3.** Различия в окраске особей из групп, получавших корм TWM, но содержащихся в ёмкостях с разным цветом стенок (рис. 4), были сходны с результатами, полученными в эксперименте № 2 (рис. 3). Креветки из ёмкости с си-

ними стенками были светлее ( $L = 33,1 \pm 8,6$ ) и отличались по координате  $b$  (рис. 4), но наблюдаемые отличия, возможно из-за недостаточного размера выборки, не были статистически значимы ( $p = 0,04$  и  $p = 0,03$  соответственно). У особей, которых содержали в чёрной ёмкости и кормили комбикормом GD, в окраске преобладал зелёный оттенок (рис. 4 Б). Отличия цвета у особей, содержащихся в чёрной ёмкости и получавших комбикормом GD, от двух других групп были статистически значимы ( $p = 0,00001$  по координате  $a$ ). Креветки из этой группы также были светлее ( $L = 36,2 \pm 5,0$ ) (рис. 4 А), но статистически значимыми эти различия были только при сравнении с креветками из ёмкости с черным дном и стенками ( $L = 25,2 \pm 6,1$ ) ( $p = 0,000028$ ).

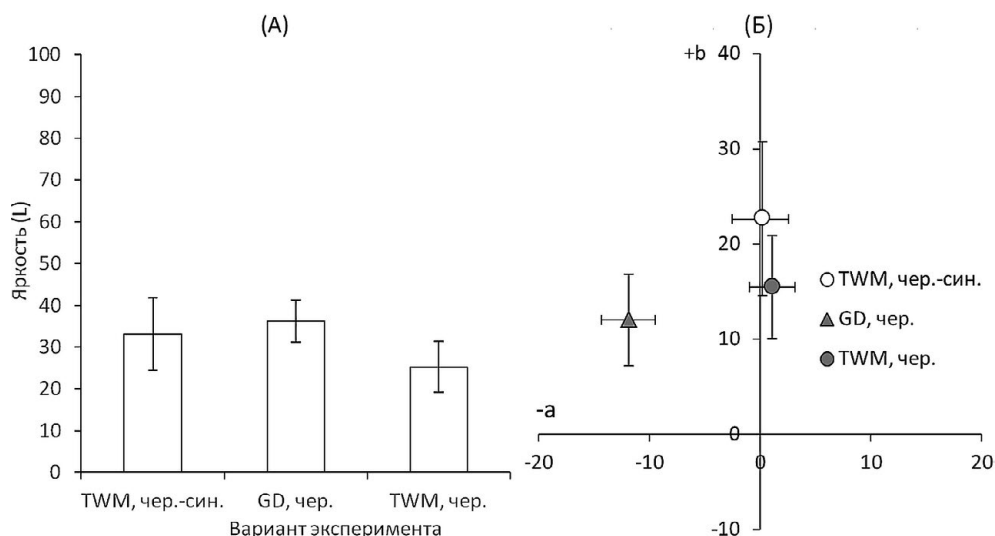
При использовании комбикорма GD (эксперименты 1 и 3) креветки продемонстрировали более высокую скорость роста (табл. 2), что обусловлено более высоким содержанием белка (57%) в данном корме. В целом во всех трех экспериментах наблюдалась хорошая выживаемость и скорость роста креветок (табл. 2). Это свидетельствует о том, что используемые в экспериментах корма в достаточной степени удовлетворяли физиологические потребности особей.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Регуляция окраски у ракообразных осуществляется гормонами, в синтезе которых принимает участие синусовая железа, находящаяся



**Рис. 3.** Показатели яркостной (А) и хроматической (Б) составляющих окраски (в цветовом пространстве CIE Lab) молоди креветки *P. vannamei* в зависимости от цвета ёмкости и типа корма: TMG, чер. – корм Tetra Min Granules, цвет ёмкости чёрный; TMG, чер.-син. – корм Tetra Min Granules, ёмкость с черным дном и синими стенками



**Рис. 4.** Показатели яркостной (А) и хроматической (Б) составляющих окраски (в цветовом пространстве CIE Lab) молоди креветки *P. vannamei* в зависимости от цвета ёмкости и типа кома: TWM, син. – корм Tetra Wafer Mix, цвет ёмкости синий; GD, чер. – корм Gemma Diamond, цвет ёмкости чёрный; TWM, чер. – корм Tetra Wafer Mix, цвет ёмкости чёрный

в глазном стебельке [Carlisle, Knowles, 1959; Brown, 1973; Rao, 1985; Rao, 2001; McNamara, Milograna, 2015; Aréchiga-Palomera, et al., 2018]. На деятельность этой железы, в свою очередь, оказывает влияние информация, получаемая органами зрения. Наиболее распространённым пигментом у десятиногих ракообразных является каротиноид астаксантин. Чаще всего свободный астаксантин взаимодействует с белком краустианином. Образующийся в результате их взаимодействия каротино-протеиновый комплекс и даёт различные варианты зелёной и синей окраски у десятиногих ракообразных [Wade et al., 2012]. При нагревании происходит разрушение данного комплекса, высвобождается астаксантин, в результате чего окраска ракообразных становится красной [Cianci et al., 2002; Helliwell, 2010].

Результаты наших экспериментов продемонстрировали, что окраска креветок зависит как от цвета ёмкостей, так и от состава кормов. При кормлении комбикормами TMG и TWM у креветок наблюдалось преобладание в окраске бурых тонов, а сама окраска становилась темнее. Это связано с тем, что ракообразные не способны вырабатывать каротиноиды и получают астаксантин или его предшественников в виде b-каротина из кормовых объектов [Latscha, 1989; Tlustý et al., 2009; Tume et al., 2009; Маока, 2011]. Большее количество астаксантина в кормах способствует увеличению насыщенности окраски кре-

веток [Parisenti et al., 2011a]. Вместе с тем в наших экспериментах ключевым фактором, определяющим интенсивность окраски особей, оказался цвет ёмкостей культивирования. Креветки, для выращивания которых использовались ёмкости с черными стенками и дном, имели более тёмную и насыщенную окраску, чем особи, которых содержали в более светлых (синих) ёмкостях. Особенно наглядно это продемонстрировал эксперимент № 1, из результатов которого следует, что для реализации в окраске каротиноидов, полученных с кормами, креветок необходимо содержать в ёмкостях максимально тёмного цвета. Зависимость яркости окраски креветок *P. vannamei* и других представителей рода от цвета выростных ёмкостей отмечена многими исследователями [Tume et al., 2009; Parisenti et al., 2011a; Wade et al., 2012; Rodríguez et al., 2017]. Креветки же в светлых ёмкостях независимо от кормления сохраняют светлую окраску. Все это хорошо согласуется с криптоической функцией окраски, когда особь старается максимально соответствовать по окраске окружающему фону [Endler, 2006; Stevens, 2007]. Криптоическая функция окраски у креветки *P. vannamei* является основной, что и определяет превалирующее влияние фактора цвета ёмкости на окраску особей. При этом основные изменения касаются яркостной составляющей окраски креветок, в результате чего они становятся светлее или темнее в зависимости от фона. Эксперименты 2 и 3, в кото-

рых использовались ёмкости с черным дном и синими стенками, продемонстрировали, что наличие чёрного дна является недостаточным условием для получения максимально насыщенной и темной окраски. Таким образом, можно заключить, что на окраску особи влияет весь комплекс цветовых характеристик окружающего пространства, а не только цветовые характеристики дна. Использование темных фонов на заключительных этапах культивирования может сократить необходимость использования искусственных красителей, снизить затраты на производство кормов и повысить цветовые показатели продукции. На данный момент известно более 750 видов каротиноидов и, по-видимому, не все они могут быть эффективно усвоены креветками. Отсутствие у креветок выраженной темной окраски при длительном содержании на тёмном фоне может являться индикатором недостатка каротиноидов в их рационе.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение при культивировании белоногой креветки *P. vannamei* ёмкостей чёрного цвета и кормов с повышенным содержанием астаксантина позволяет добиться максимально темной окраски особей. От количества астаксантина в кормах зависит цветовой тон и отчасти интенсивность окраски креветок при их культивировании. Яркостные характеристики окраски коррелируют с цветом дна и стенок ёмкостей для культивирования. Использование темных фонов может сократить необходимость использования искусственных красителей, но при недостатке каротиноидов в кормах использование ёмкостей тёмного цвета не позволит добиться максимальной интенсивности окраски.

### ЛИТЕРАТУРА

- Борисов Р.Р., Печёнкин Д.С., Ковачева Н.П. 2016. Формирование окраски и товарный вид гигантской пресноводной креветки *Macrobrachium rosenbergii* // Рыбное хозяйство. № 3. С. 60–66.
- Жигин А.В. 2011. Замкнутые системы в аквакультуре. М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. 664 с.
- Ковачева Н.П., Борисов Р.Р., Никонова И.Н., Кряхова Н.В., Чертопруд Е.С., Лебедев Р.О. 2018. Выращивание белоногой креветки (*Penaeus vannamei*, Penaeidae, Decapoda) в рециркуляционных установках: первый опыт экспериментального культивирования вида в России // Рыбное хозяйство. № 3. С. 62–69.
- Ковачева Н.П., Борисов Р.Р., Никонова И.Н., Чертопруд Е.С. 2020. Рост и развитие белоногой креветки *Penaeus vannamei* при питании разными типами комбикормов в искусственных условиях // Рыбное хозяйство. № 1. С. 78–82.
- Чемерис А. 2020. Деликатес отечественного производства: чем уникальна крымская креветка // Русская рыба. № 2. С. 66–69.
- Aréchiga-Palomera M. A., Vega-Villasante F., Montoya-Martínez C., Mendoza-González A., Badillo-Zapata D. 2018. Background color effect on the pigmentation of prawn *Macrobrachium tenellum* // Lat. Am.J. Aquat. Res. V. 46. N3. P. 610–614.
- Bauer R.T. 1981. Color patterns of the shrimps *Heptacarpus pictus* and *H. paludicola* (Caridea: Hippolytidae) // Marine Biology. V. 64. P. 141–152.
- Brown F.A. Jr. 1973 Chromatophores and color change // Comparative Animal Physiology, 3rd edn. / C.L. Prosser (ed.). Philadelphia. W.B. Saunders Company. P. 915–950.
- Calvo N.S., Roldán-Luna M., Argúez-Sosa J.A., Martínez-Moreno G.M., Mascaró M., Simoes N. 2016. Reflected-light Influences the coloration of the peppermint shrimp, *Lysmata boggessi* (Decapoda: Caridea) // J. of the World Aquaculture Society. V. 47. N5. P. 701–711.
- Carlisle D.B., Knowles. F.G.W. 1959. Endocrine control in crustaceans. Cambridge Univ. press. 120 p.
- Cianci M., Rizkallah P.J., Olczak A., Raftery J., Chayen N.E., Zagalsky P.F., Helliwell J.R. 2002. The molecular basis of the coloration mechanism in lobster shell: beta-crustacyanin at 3.2-Å resolution // Proc. of the National Academy of Sciences USA. N99. P. 9795–9800.
- Cott H.B. 1940. Adaptive Coloration in Animals. New York: Oxford University Press. 600 p.
- Díaz-Jiménez L., Hernández M., Pérez-Rostro C. 2018. The effect of background colour and lighting of the aquarium on the body pigmentation of the peppered shrimp *Lysmata wurdemanni* // Aquaculture Res. V.49. P. 1–9.
- Duarte R., Flores A., Stevens M. 2017. Camouflage through colour change: mechanisms, adaptive value and ecological significance // Phil. Trans. R. Soc. B. V. 372. P. 20160342.
- Endler J.A. 2006. Disruptive and cryptic coloration // Proc. Roy. Soc. Lond. B. V. 273. P. 2425–2426.
- FAO. 2020. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Rome, Italy. FAO. 244 p.
- Fujii K., Nakashima H., Hashidzume Y., Uchiyama T., Mishiro K., Kadota Y. 2010. Potential use of the astaxanthin-producing microalga, *Monoraphidium* sp. GK12, as a functional aquafeed for prawns // J. of Applied Phycology. V. 22. N3. P. 363–369.
- Helliwell J.R. 2010. The structural chemistry and structural biology of colouration in marine crustacean // Crystallography Reviews. N 16. P. 231–242.
- Latscha T. 1989. The role of astaxanthin in shrimp pigmentation // Advances in tropical aquaculture. N9. P. 319–325.
- Maoka T. 2011. Carotenoids in marine animals // Mar. Drugs. V. 9. P. 278–293.
- McNamara J.C., Milograna S.R. 2015. Adaptive color change and the molecular endocrinology of pigment translocation in crustacean chromatophores // The

- Natural History of the Crustacea. V. 4. Physiology / E.S. Chang, M. Thiel (eds). Oxford University Press. P. 68–102.
- Parisenti J., Beirao L.H., Mourino J.L., Vieira F.N., Buglione C.C., Maraschim M. 2011a. Effect of background color on shrimp pigmentation // Boletim do Instituto de Pesca. V. 37. N2. P. 177–182.
- Parisenti J., Beirao L.H., Tramonte V.L.C.G., Fabiana S., Camila B., Caroline M. 2011b. Preference ranking of colour in raw and cooked shrimps // International J. of Food Science & Technology. N46. P. 2558–2561.
- Price N., Green S., Troscianko J., Tregenza T., Stevens M. Background matching and disruptive coloration as habitat-specific strategies for camouflage // Sci. Rep. 2019. V. 9. N1:7840.
- Rao K.R. 1985. Pigmentary effectors // The Biology of Crustacea: Integument, Pigments and Hormonal Processes / D.E. Bliss, L.H. Mantel (eds). Academic Press, New York. P. 395–462.
- Rao K.R. 2001. Crustacean pigmentary-effector hormones: chemistry and functions of RPCH, PDH, and related peptides // American Zoologist. V. 41. P. 364–379.
- Rodríguez C., García A., Ponce-Palafox J.T., Spanopoulos M., Puga-López D., Arredondo-Figueroa J., Martínez-Cardenas L. 2017. The Color of Marine Shrimps and Its Role in the Aquaculture. // International J. of Aquaculture and Fishery Sciences. V. 3. P. 62–65.
- Stevens M. Predator perception and the interrelation between different forms of protective coloration // Proc. Roy. Soc. B, 2007. V. 274. P. 1457–1464.
- Stevens M., Lown A., Wood L. 2014. Color change and camouflage in juvenile shore crabs *Carcinus maenas* // Frontiers in Ecology and Evolution. V. 2. N14. P. 1–14.
- Stevens M., Merilaita S. 2009. Introduction. Animal camouflage: current issues and new perspectives // Phil. Trans. R. Soc. B. V. 364. P. 423–427.
- Thlusty M.F., Metzler A., Huckabone S., Suanda S., Guerrier S. 2009. Morphological colour change in the american lobster (*Homarus americanus*) in response to background colour and UV light // New Zealand J. of Marine and Freshwater Research. V. 43. P. 247–255.
- Tume R.K., Sikes A.L., Tabrett S., Smithac D.M. 2009. Effect of background colour on the distribution of astaxanthin in black tiger prawn (*Penaeus monodon*): Effective method for improvement of cooked colour // Aquaculture. № 296. P. 129–135.
- Wade N.M., Anderson M., Sellars M.J., Tume R.K., Preston N.P., Glencross B.D. 2012. Mechanisms of colour adaptation in the prawn *Penaeus monodon* // J. Exp. Biol. V. 215. № 2. P. 343–350.

Поступила в редакцию 26.02.2021 г.  
Принята после рецензии 12.03.2021 г.

## Evaluation effectiveness of methods for regulating the coloring of whiteleg shrimp *Penaeus vannamei* in aquaculture

R.R. Borisov,  
I.N. Nikonova,  
A.V. Parshin-Chudin,  
N.P. Kovacheva

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), Moscow, Russia

During steps of technology adjustment of cultivation whiteleg shrimp *Penaeus vannamei* juvenile to commercial size in recirculating aquaculture system influence of feed composition and containers color on shrimp coloring was studied. Three experiments were carried out in which we used three types of feeds (compound feed for shrimps Gemma Diamond (France); compound feeds for bottom fish and crustaceans Tetra Min Granules and Tetra Wafer Mix (Germany); containers in blue and black, as well as with a black bottom and blue walls. Tetra's feeds contain astaxanthin-rich brine shrimp artemia. At the end of the experiment all shrimps were photographed. The color indexes of shrimps were estimated in the CIE Lab color space in Adobe Photoshop program. The experiments have shown that the use of black containers and feeds with a high content of astaxanthin in the whiteleg shrimp *P. vannamei* cultivation permits one to get the darkest coloring of individuals. The color tone and, in part, the intensity of the shrimp coloring depended on the amount of astaxanthin in the feed. The brightness characteristics of the coloring largely depended on the color of the bottom and walls of the containers. In black containers, the shrimp had a darker color than in blue containers or containers with black bottom and blue walls.

**Keywords:** color change, whiteleg shrimp *Penaeus vannamei*, feeding, aquaculture, cryptic coloration.

### REFERENCES

- Borisov R.R., Pechenkin D.S., Kovacheva N.P. 2016. Formirovanie okрасki i tovarnyj vid gigantskoj presnovodnoj krevetki *Macrobrachium rosenbergii* [Mechanisms of color adaptation and market quality in giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*] // Rybnoe hozyajstvo. № 3. S. 60–66.
- Zhigin A.V. 2011. Zamknutyje sistemy v akvakul'ture. [Recirculating aquaculture system]. M.: RGAU-MSKHA im. K.A. Timiryazeva. 664 s.
- Kovacheva N.P., Borisov R.R., Nikonova I.N., Kryahova N.V., Chertoprud E.S., Lebedev R.O. 2018. Vyrashchivanie belonogoj krevetki (*Penaeus vannamei*, Penaeidae, Decapoda) v recirkulyacionnyh ustanovkah: pervyj opyt eksperimental'nogo kul'tivirovaniya vida v Rossii [White shrimp (*Penaeus vannamei*, Penaeidae, Decapoda) cultivation in closed recycling water system: the first experience of the species' experimental cultivation in Russia] // Rybnoe hozyajstvo. № 3. S. 62–69.
- Kovacheva N.P., Borisov R.R., Nikonova I.N., Chertoprud E.S. 2020. Rost i razvitie belonogoj krevetki *Penaeus vannamei* pri pitanii raznymi tipami kombikormov v iskusstvennyh usloviyah [The growth and development of white leg shrimp *Penaeus vannamei* when feeding with different types of mixed fodders under artificial conditions] // Rybnoe hozyajstvo. № 1. S. 78–82.
- Chemeris A. 2020. Delikates otechestvennogo proizvodstva: chem unikal'na krymskaya krevetka [Domestic delicacy: what makes the Crimean shrimp unique] // Russkaya ryba. № 2. S. 66–69.
- Aréchiga-Palomera M. A., Vega-Villasante F., Montoya-Martínez C., Mendoza-González A., Badillo-Zapata D. 2018. Background color effect on the pigmentation of prawn *Macrobrachium tenellum* // Lat. Am.J. Aquat. Res. V. 46. № 3. P. 610–614.
- Bauer R.T. 1981. Color patterns of the shrimps *Heptacarpus pictus* and *H. paludicola* (Caridea: Hippolytidae) // Marine Biology. V. 64. P. 141–152.
- Brown F.A. Jr. 1973 Chromatophores and color change // Comparative Animal Physiology, 3rd edn. / C.L. Prosser (ed.). Philadelphia. W.B. Saunders Company. P. 915–950.
- Calvo N.S., Roldán-Luna M., Argáez-Sosa J.A., Martínez-Moreno G.M., Mascaró M., Simoes N. 2016. Reflected-light Influences the Coloration of the Peppermint Shrimp, *Lysmata boggessi* (Decapoda: Caridea) // J. of the World Aquaculture Society. V. 47. N5. P. 701–711.
- Carlisle D.B., Knowles. F.G.W. 1959. Endocrine control in crustaceans. Cambridge Univ. press. 120 p.
- Cianci M., Rizkallah P.J., Olczak A., Raftery J., Chayen N.E., Zagalsky P.F., Helliwell J.R. 2002. The molecular basis of the coloration mechanism in lobster shell: beta-crustacyanin at 3.2-Å resolution // Proc. of the National Academy of Sciences USA. N99. P. 9795–9800.
- Cott H.B. 1940. Adaptive Coloration in Animals. New York: Oxford University Press. 600 p.
- Díaz-Jiménez L., Hernández M., Pérez-Rostro C. 2018. The effect of background colour and lighting of the



- aquarium on the body pigmentation of the peppered shrimp *Lysemata wurdemanni* // Aquaculture Res. V.49. P. 1–9.
- Duarte R., Flores A., Stevens M. 2017. Camouflage through colour change: Mechanisms, adaptive value and ecological significance // Phil. Trans. R. Soc. B. V. 372. P. 20160342.
- Endler J.A. 2006. Disruptive and cryptic coloration // Proc. Roy. Soc. Lond. B. V. 273. P. 2425–2426.
- FAO. 2020. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Rome, Italy. FAO. 244 p.
- Fujii K., Nakashima H., Hashidzume Y., Uchiyama T., Mishiro K., Kadota Y. 2010. Potential use of the astaxanthin-producing microalga, *Monoraphidium* sp. GK12, as a functional aquafeed for prawns // J. of Applied Phycology. V. 22. N3. P. 363–369.
- Helliwell J.R. 2010. The structural chemistry and structural biology of colouration in marine crustacean // Crystallography Reviews. N 16. P. 231–242.
- Latscha T. 1989. The role of astaxanthin in shrimp pigmentation // Advances in tropical aquaculture. N9. P. 319–325.
- Maoka T. 2011. Carotenoids in marine animals // Mar. Drugs. V. 9. P. 278–293.
- McNamara J.C., Milograna S.R. 2015. Adaptive color change and the molecular endocrinology of pigment translocation in crustacean chromatophores // The Natural History of the Crustacea. V. 4. Physiology / E.S. Chang, M. Thiel (eds). Oxford University Press. P. 68–102.
- Parisenti J., Beirao L.H., Mourino J.L., Vieira F.N., Buglione C.C., Maraschim M. 2011a. Effect of background color on shrimp pigmentation // Boletim do Instituto de Pesca. V. 37. N2. P. 177–182.
- Parisenti J., Beirao L.H., Tramonte V.L.C.G., Fabiana S., Camila B., Caroline M. 2011b. Preference ranking of colour in raw and cooked shrimps // International J. of Food Science & Technology. N46. P. 2558–2561.
- Price N., Green S., Troscianko J., Tregenza T., Stevens M. Background matching and disruptive coloration as habitat-specific strategies for camouflage // Sci. Rep. 2019. V. 9. N1:7840.
- Rao K.R. 1985. Pigmentary effectors // The Biology of Crustacea: Integument, Pigments and Hormonal Processes / D.E. Bliss, L.H. Mantel (eds). Academic Press, New York. P. 395–462.
- Rao K.R. 2001. Crustacean pigmentary-effector hormones: chemistry and functions of RPCH, PDH, and related peptides // American Zoologist. V. 41. P. 364–379.
- Rodríguez C., García A., Ponce-Palafox J.T., Spanopoulos M., Puga-López D., Arredondo-Figueroa J., Martínez-Cardenas L. 2017. The Color of Marine Shrimps and Its Role in the Aquaculture. // International J. of Aquaculture and Fishery Sciences. V. 3. P. 62–65.
- Stevens M. Predator perception and the interrelation between different forms of protective coloration // Proc. Roy. Soc. B, 2007. V. 274. P. 1457–1464.
- Stevens M., Lown A., Wood L. 2014. Color change and camouflage in juvenile shore crabs *Carcinus maenas* // Frontiers in Ecology and Evolution. V. 2. N14. P. 1–14.
- Stevens M., Merilaita S. 2009. Introduction. Animal camouflage: current issues and new perspectives // Phil. Trans. R. Soc. B. V. 364. P. 423–427.
- Tlustý M.F., Metzler A., Huckabone S., Suanda S., Guerrier S. 2009. Morphological colour change in the american lobster (*Homarus americanus*) in response to background colour and UV light // New Zealand J. of Marine and Freshwater Research. V. 43. P. 247–255.
- Tume R.K., Sikes A.L., Tabrett S., Smithac D.M. 2009. Effect of background colour on the distribution of astaxanthin in black tiger prawn (*Penaeus monodon*): Effective method for improvement of cooked colour // Aquaculture. № 296. P. 129–135.
- Wade N.M., Anderson M., Sellars M.J., Tume R.K., Preston N.P., Glencross B.D. 2012. Mechanisms of colour adaptation in the prawn *Penaeus monodon* // J. Exp. Biol. V. 215. № 2. P. 343–350.

## TABLE CAPTIONS

**Table 1.** Component composition of feeds

**Table 2.** Experimental options

## FIGURE CAPTIONS

**Fig. 1.** Whiteleg shrimp, *Penaeus vannamei* – the scheme of measurements

**Fig. 2.** Indicators of brightness (A) and chromatic (B) color components (in the CIE Lab color space) of *P. vannamei* juveniles depending on vessels color and type of feed: TMG, син. – Tetra Min Granules food, vessel color is blue; GD, син. – Gemma Diamond food, vessel color is blue; TMG, чер. – Tetra Min Granules food, vessel color is black.

**Fig. 3.** Indicators of brightness (A) and chromatic (B) color components (in the CIE Lab color space) of *P. vannamei* juveniles depending on vessels color and type of feed: TMG, чер. – Tetra Min Granules food, vessel color is black; TMG, чер.-син. – Tetra Min Granules food, vessels with black bottom and blue walls.

**Fig. 4.** Indicators of brightness (A) and chromatic (B) color components (in the CIE Lab color space) of *P. vannamei* juveniles depending on vessels color and type of feed: TWM син. – Tetra Wafer Mix food, vessel color is blue; GD, чер. – Gemma Diamond food, vessel color is black; TWM, чер. – Tetra Wafer Mix food, vessel color is black.