

温度及饵料对锯齿新米虾生长发育和繁殖性能的影响

王令令¹, 薛毓才¹, 蒋刚¹, 时立秋¹, 黄旭雄^{1,2,3}

(1. 上海海洋大学 水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 中国-东盟海水养殖技术“一带一路”联合实验室, 上海 201306; 3. 上海海洋大学 水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306)

摘要: 为探究不同温度(20、25和30℃)和不同饵料(虾片、沼虾商品饲料和蛋白核小球藻)对锯齿新米虾(*Neocaridina denticulata*)生长繁殖的影响,以实验室孵化后7 d的锯齿新米虾仔虾为对象进行为期91 d的养殖试验。结果表明,锯齿新米虾的存活率随温度的升高而降低,20℃组的存活率(93.33%±7.20%)显著高于30℃组($P<0.05$);温度对锯齿新米虾体长、体质量及特定生长率无显著性影响($P>0.05$);随着温度升高锯齿新米虾发育显著加快,30、25和20℃下初次抱卵时间分别为(39.25±3.20)、(55.00±1.00)和(162.33±1.53) d;但20℃锯齿新米虾初次抱卵时的体长、体质量及抱卵量均显著高于25和30℃($P<0.05$),25与30℃组之间无显著性差异($P>0.05$);3种温度下锯齿新米虾的相对繁殖力无显著性差异($P>0.05$)。胚胎孵化时间随温度的升高显著缩短;锯齿新米虾性腺发育的生物学零度为16.57℃,有效积温为507.54(℃·d);胚胎发育的生物学零度为6.69℃,有效积温为279.98(℃·d)。投喂蛋白核小球藻组锯齿新米虾的生长速度和存活率显著低于投喂其他饵料组($P<0.05$),投喂沼虾商品饲料可以显著提高锯齿新米虾的初次抱卵体长、体质量、抱卵量及相对繁殖力($P<0.05$)。综上所述,人工养殖锯齿新米虾的适宜温度为25℃左右,沼虾商品饲料是锯齿新米虾的适宜饵料。

关键词: 锯齿新米虾; 温度; 饵料; 生长发育; 繁殖性能

中图分类号: S 917.4 **文献标志码:** A

锯齿新米虾(*Neocaridina denticulata*)隶属甲壳纲(Crustacea)十足目(Decapoda)匙指虾科(Atyidae)新米虾属(*Neocaridina*),是一种广泛分布于亚洲淡水水域的小型杂食性虾类。有红、黄、蓝等多种体色,可作观赏用^[1]。锯齿新米虾具有环境适应性强、遗传背景相对简单^[2-4]等特点,常作为生态学、生理学、毒理学、功能基因组学研究的实验材料^[5]。在自然水体中,锯齿新米虾是一些肉食性鱼类如刀鲚(*Coilia nasus*)、青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)、鳊(*Siniperca chuatsi*)以及中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)等的天然优质活饵料^[6-10]。随着长江禁渔,刀鲚人工养殖兴起,对刀鲚幼鱼阶段的优质生物饵料的需求增加。开展锯齿新米虾人工增殖显得更加迫切。

甲壳动物的生长发育及繁殖性能主要受环

境和营养两个方面影响^[11]。温度作为重要的环境因子,影响着甲壳类动物的生长和繁殖。张凯军等^[12]研究表明,在一定范围内,随着温度的升高,中华绒螯蟹的成活率有所增加;但当温度过高时中华绒螯蟹的成活率就会下降,生长受到抑制。刘永鑫等^[13]研究报道,克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)的胚胎发育和幼体发育时间均随着温度的升高而缩短。蒋刚等^[14]研究报道,日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*)个体发育速度会随温度的升高而加快,首次抱卵时间随温度的升高而缩短。锯齿新米虾对温度的适应范围较广,为4~30℃^[15]。锯齿新米虾的食物来源广泛,在自然水体中主要以藻类为食,同时也吃鱼虾蟹的尸体、细菌、微小有机碎屑和其他微生物。目前,饵料对锯齿新米虾生长繁殖的影响尚未见报道^[16],鉴

收稿日期: 2024-05-21

修回日期: 2024-07-18

基金项目: 国家重点研发计划(2022YFE0203900);上海市科技兴农项目(2021-02-08-00-12-F00761)

作者简介: 王令令(1998—),女,硕士研究生,研究方向为水产动物营养与饲料。E-mail: 2193575840@qq.com

通信作者: 黄旭雄, E-mail: xxhuang@shou.edu.cn

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydx.com>

于此,本文分别研究了 20、25 和 30 ℃等 3 种温度以及投喂虾片、沼虾商品饲料和蛋白核小球藻(*Chlorella pyrenoidosa*)等 3 种饵料对锯齿新米虾生长发育和繁殖性能的影响,以期为后续开展锯齿新米虾的高效养殖提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验所用锯齿新米虾亲本采自上海临港地区秋涟河,在实验室玻璃缸(50 cm×30 cm×40 cm)中控温[(25±1) ℃]培养。每天足量饲喂虾

片(粗蛋白 40%、粗脂肪 4%、粗灰分 16%、粗纤维 3%、水分 6%和赖氨酸 2%)2 次。玻璃缸中放置金鱼藻(*Ceratophyllum demersum*)供其攀附栖息。隔天吸污并换水 1 次,每次换水量为 1/3,直至其抱卵。挑取抱卵日期接近的亲虾进行孵化,获得同一天孵化的仔虾用于本试验。

试验所用虾片和沼虾商品饲料分别来自厦门市海林生物饲料有限公司和扬州市宏大饲料有限公司;蛋白核小球藻为实验室发酵罐高密度培养所得。3 种饵料的主要营养组成和脂肪酸组成见表 1 和表 2。

表 1 3 种饵料的主要营养组成(干物质基础)
Tab. 1 The nutritional compositions of the three experimental feeds (dry matter) %

项目 Items	虾片 Shrimp flake	沼虾商品饲料 Commercial prawn feed	蛋白核小球藻 <i>Chlorella pyrenoidosa</i>
粗蛋白 Crude protein	48.68±0.23	45.69±0.10	41.26±0.56
粗脂肪 Ether extract	4.07±0.10	3.12±0.32	15.54±0.20
粗灰分 Crude ash	12.89±0.06	12.42±0.05	6.67±0.03

表 2 3 种饵料的脂肪酸组成(干物质基础)
Tab. 2 Fatty acid composition of the three experimental feeds (dry matter) %

项目 Items	虾片 Shrimp flake	沼虾商品饲料 Commercial prawn feed	蛋白核小球藻 <i>Chlorella pyrenoidosa</i>
C14:0	1.43±0.07	1.36±0.01	0.60±0.01
C15:0	0	0.19±0.01	0.41±0.01
C16:0	15.14±0.22	15.27±0.22	23.42±0.39
C17:0	0.27±0.05	0.25±0.01	0.14±0.02
C18:0	6.06±0.17	4.60±0.05	2.96±0.20
C20:0	0.55±0.07	0.50±0.01	0.34±0.01
C24:0	0	0.23±0.01	0
SFA	23.44±0.37	22.41±0.20	27.87±0.59
C16:1	3.15±0.51	2.07±0.07	5.60±0.07
C18:1	25.38±0.56	24.17±0.09	9.18±0.06
C20:1	0.76±0.11	2.68±0.05	0
C22:1	0	3.09±0.03	0
C24:1	0.29±0.01	0.43±0.01	0
MUFA	29.58±1.15	32.45±0.10	14.78±0.08
C18:2	31.64±1.55	34.60±0.12	40.49±0.51
C18:3	4.60±0.13	3.81±0.00	16.85±0.05
C20:4	1.11±0.32	1.05±0.02	0
C20:5	5.41±0.39	2.16±0.01	0
C22:6	4.21±0.12	3.53±0.04	0
PUFA	46.98±0.88	45.15±0.16	57.34±0.55

1.2 试验设计

1.2.1 温度试验

将锯齿新米虾初孵幼体转移到 12 个 5 L 的塑

料盒中,每个塑料盒放 30 尾幼体,分别转移到 20、25 及 30 ℃的光照培养箱中培养。每个温度组设 4 个平行,其中 1 个平行用于过程采样。养

养殖 91 d 后测定其生长性能。试验养殖期间控制光周期 12 L: 12 D, 光照强度 800 lx, 连续充气。隔天吸污换水 1 次, 换水量为 1/3。每天早中晚投喂粉碎后的虾片粉末, 试验前两周日投喂量为虾体质量的 10%, 之后为 5%。塑料盒内投放金鱼藻供锯齿新米虾攀附。

1.2.2 饵料试验

将锯齿新米虾初孵幼体转移到 12 个 5 L 的塑料盒中, 每个塑料盒放 30 尾幼体, 并分别投喂粉碎后的虾片粉末、沼虾商品饲料粉末(试验前两周投喂的虾片和沼虾商品饲料为过 200~300 目筛, 之后为过 60~80 目筛)和蛋白核小球藻, 试验前两周日投喂量为虾体质量的 10%, 之后为 5%。每个饵料组设 4 个平行, 其中 1 个平行用于过程采样。养殖管理同温度试验, 每天早中晚投喂足量饵料。

1.3 样品采集及观测

每 7 d 从各试验组的采样平行组随机取 10 尾锯齿新米虾, 测量其体长、体质量, 测量完立即放回原处。观察并记录锯齿新米虾雌虾出现抱卵的时间、体长、体质量和抱卵量。一旦发现锯齿新米虾抱卵, 将其转移至 1 L 的塑料烧杯中并置于原培养箱中孵化, 记录胚胎发育所需要的时间。

养殖 91 d 后, 停止喂食 24 h, 测定成活率、体长和体质量, 由于 20 °C 组 91 d 后, 未见抱卵, 继续养殖至抱卵。相关指标的计算如下:

$$R_{SG} = 100\% \times (\ln W_1 - \ln W_0) / t \quad (1)$$

$$R_S = N_1 / N_0 \times 100\% \quad (2)$$

$$F_R = N_e / W_e \quad (3)$$

$$V = 1 / N \quad (4)$$

$$C = (\sum V^2 \sum T - \sum V \sum VT) / [n \sum V^2 - (\sum V)^2] \quad (5)$$

$$K = (n \sum VT - \sum V \sum T) / [n \sum T^2 - (\sum T)^2] \quad (6)$$

式中: R_{SG} 为特定生长率; W_0 、 W_1 分别为试验初始和终末体质量, g; t 为试验天数, d; R_S 为存活率; N_0 为初始个体数; N_1 为终末个体数; F_R 为相对繁殖力; N_e 为抱卵虾受精卵数量; W_e 为抱卵虾的体质量, g; V 为发育速度; N 为时间, d; C 为生物学零度, °C; T 为平均温度, °C; n 为试验组数; K 为有效积温, °C·d。

1.4 饵料营养成分测定

粗蛋白测定参照 GB 5009.5—2016 凯氏定氮法测定; 粗脂肪采用 Folch 氯仿甲醇法; 粗灰分测定参照 GB 5009.4—2016 马弗炉高温灼烧法; 脂肪酸使用 5977A 气相色谱质谱联用仪测定。

1.5 数据处理和统计分析

所有数据以平均值±标准差 (Mean±SD) 表示, 数据使用 SPSS Statistics 18.0 软件中的单因素方差分析 (One-way ANOVA) 或 T 检验进行各组试验数据的差异显著性分析, $P < 0.05$ 表示差异显著。所有样本采集、实验流程、研究方法均严格按照《上海海洋大学实验室动物伦理规范》和上海海洋大学伦理委员会制定的规章制度执行。

2 结果

2.1 温度对锯齿新米虾生长性能的影响

91 d 养殖期间温度对锯齿新米虾的体长、体质量及特定生长率无显著性影响 ($P > 0.05$), 见图 1 和表 3。随着温度的升高, 锯齿新米虾成活率逐渐降低。当温度达到 30 °C 时, 锯齿新米虾成活率最低, 仅为 71.67%±7.93%, 显著低于 25 °C 试验组 (91.67%±10.36%) 及 20 °C 试验组 (93.33%±7.20%, $P < 0.05$)。

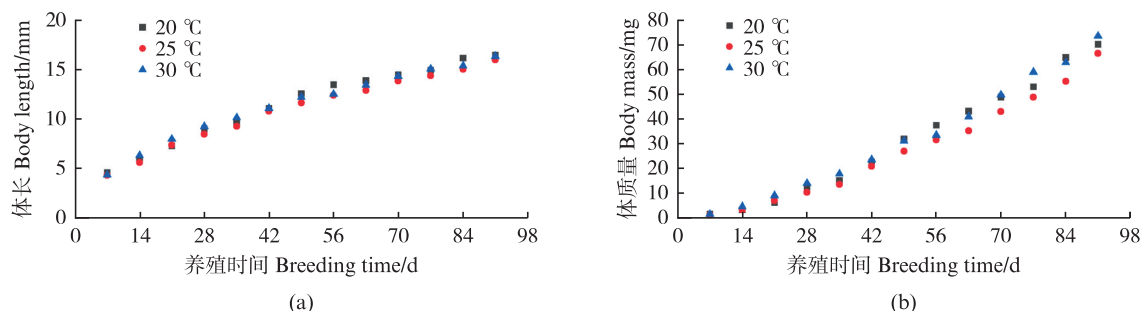


图 1 不同温度下锯齿新米虾体长和体质量的累积生长曲线

Fig. 1 Accumulated growth curves of body length and mass of *Neocaridina denticulata* at different temperatures

表 3 不同温度下锯齿新米虾的生长性能
Tab. 3 Growth performances of *Neocaridina denticulata* at different temperatures

项目 Items	组别 Groups		
	20 °C	25 °C	30 °C
初始体长 Initial body length/mm	4.62±0.43	4.32±0.55	4.35±0.22
终末体长 Final body length/mm	16.44±0.85	15.96±0.95	16.31±0.71
初始体质量 Initial body mass/mg	1.74±0.45	1.31±0.61	1.59±0.24
终末体质量 Final body mass/mg	70.11±8.93	66.43±11.62	73.42±9.65
特定生长率 Specific growth rate/(%/d)	4.15±0.25	4.30±0.19	4.32±0.18
存活率 Survival rate/%	93.33±7.20 ^a	91.67±10.36 ^a	71.67±7.93 ^b

注:同行数据上标有不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

Notes: Different lowercase letters superscripted on peer data indicate significant differences ($P<0.05$).

2.2 温度对锯齿新米虾繁殖性能的影响

随着温度的升高,锯齿新米虾初次抱卵所需时间显著缩短($P<0.05$),见表4。在25和30 °C组,锯齿新米虾初次抱卵时间分别为(55.00±1.00)及(39.25±3.20)d,两者差异显著($P<0.05$)。而20 °C组在养殖91 d未出现抱卵虾,在随后延长养殖至第163天才出现抱卵虾,初次抱卵时间为(162.33±1.53)d。温度显著影响抱卵锯齿新米虾的体长和体质量($P<0.05$),但随着温度的逐渐

升高,温度对其影响在逐渐削弱。在20 °C下,锯齿新米虾的初次抱卵体长和体质量均显著高于25和30 °C组($P<0.05$),而25和30 °C组的初次抱卵体长和体质量差异不显著($P>0.05$)。

在20 °C条件下,锯齿新米虾的抱卵量高达(102.33±22.50)粒/尾,显著高于25和30 °C试验组的抱卵量($P<0.05$);但3个温度试验组的相对繁殖力差异不显著($P>0.05$)。

表 4 不同温度下锯齿新米虾的繁殖性能
Tab. 4 Reproductive performance of *Neocaridina denticulata* at different temperatures

项目 Items	组别 Groups		
	20 °C	25 °C	30 °C
初次抱卵时间 Initial egg holding time/d	162.33±1.53 ^a	55.00±1.00 ^b	39.25±3.20 ^c
初次抱卵体长 Initial egg holding body length/mm	24.13±1.39 ^a	14.35±0.60 ^b	13.79±0.11 ^b
初次抱卵体质量 Initial egg holding body mass/mg	241.87±50.86 ^a	53.40±4.90 ^b	49.90±4.94 ^b
初次抱卵量 Initial egg number/(粒/尾)	102.33±22.50 ^a	21.00±3.46 ^b	24.00±2.00 ^b
相对繁殖力 Relative fecundity/(粒/g)	423.00±16.61	391.99±41.30	485.01±70.08
有效积温 Effective accumulated temperature/(°C·d)	507.54		
生物学零度 Biological zero point/°C	16.57		

注:同行数据上标有不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

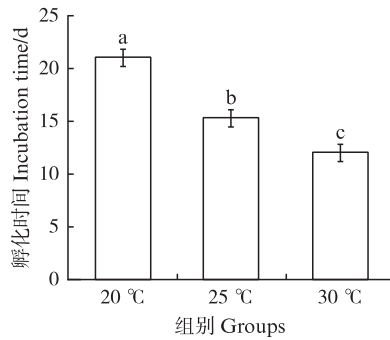
Notes: Different lowercase letters superscripted on peer data indicate significant differences ($P<0.05$).

2.3 温度对锯齿新米虾胚胎发育的影响

温度对锯齿新米虾的胚胎孵化时间有显著影响,随着温度的升高,胚胎孵化时间显著缩短($P<0.05$),见图2。锯齿新米虾在20、25和30 °C下的胚胎孵化时间分别为(21.00±0.82)、(15.33±0.52)和(12.00±0.71)d。

2.4 锯齿新米虾的生物学零度及有效积温

利用有效积温法则对3个温度梯度锯齿新米虾的初次抱卵时间和孵化时间进行测算,得出锯齿新米虾性腺发育的生物学零度为16.57 °C,有效积温为507.54(°C·d);胚胎发育的生物学零度为6.69 °C,有效积温为279.98(°C·d)。



不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Values with different lowercase letters mean significant difference ($P < 0.05$).

图2 不同温度下锯齿新米虾的胚胎孵化时间

Fig. 2 Incubation time of *Neocaridina denticulata* embryos at different temperatures

2.5 饵料对锯齿新米虾生长性能的影响

饵料对锯齿新米虾生长性能的影响有显著性差异 ($P < 0.05$), 见图3和表5。养殖91 d后蛋白核小球藻组的体长最小, 仅有 (11.43 ± 0.41) mm, 显著小于虾片和沼虾商品饲料组 ($P < 0.05$), 沼虾商品饲料组生长最快, 体长为 (14.18 ± 1.72) mm;

沼虾商品饲料组的终末体质量显著高于蛋白核小球藻组 ($P < 0.05$), 为 (49.98 ± 18.61) mg, 但虾片组的终末体质量与沼虾商品饲料和蛋白核小球藻组均无显著性差异 ($P > 0.05$)。蛋白核小球藻组的特定生长率和存活率显著低于虾片和沼虾商品饲料组 ($P < 0.05$)。虾片和沼虾商品饲料组的存活率分别为 $89.17\% \pm 8.77\%$ 、 $91.67\% \pm 7.93\%$, 而蛋白核小球藻组的存活率仅有 $37.50\% \pm 18.13\%$ 。

2.6 饵料对锯齿新米虾繁殖性能的影响

根据表6可知, 虾片和沼虾商品饲料组锯齿新米虾的初次抱卵时间分别为 (75.00 ± 13.59) 和 (62.25 ± 7.09) d, 无显著性差异 ($P > 0.05$); 沼虾商品饲料组的初次抱卵体长和体质量均显著高于虾片组 ($P < 0.05$)。养殖试验结束, 蛋白核小球藻组未出现抱卵虾。不同饵料对锯齿新米虾的抱卵量有显著性影响 ($P < 0.05$), 沼虾商品饲料组的抱卵量为 (41.00 ± 8.71) 粒/尾, 显著高于虾片组 (24.60 ± 8.50) 粒/尾 ($P < 0.05$)。虾片组和沼虾商品饲料组锯齿新米虾的相对繁殖力无显著性差异 ($P > 0.05$)。

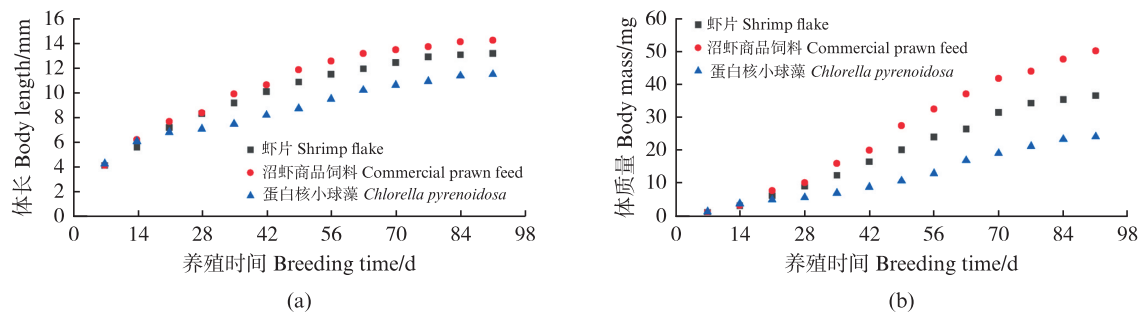


图3 3种饵料组锯齿新米虾体长和体质量的累积生长曲线

Fig. 3 Cumulative growth curves of body length and body mass of *Neocaridina denticulata* in three bait groups

表5 3种饵料对锯齿新米虾生长性能的影响

Tab. 5 Effects of the three experimental feeds on the growth performances of the *Neocaridina denticulata*

项目 Items	组别 Groups		
	虾片 Shrimp flake	沼虾商品饲料 Commercial prawn feed	蛋白核小球藻 <i>Chlorella pyrenoidosa</i>
初始体长 Initial body length/mm	4.09±0.29	4.09±0.29	4.22±0.49
终末体长 Final body length/mm	13.11±1.07 ^a	14.18±1.72 ^a	11.43±0.41 ^b
初始体质量 Initial body mass/mg	1.18±0.29	1.18±0.29	1.36±0.39
终末体质量 Final body mass/mg	36.42±8.32 ^{ab}	49.98±18.61 ^a	24.03±3.41 ^b
特定生长率 Specific growth rate/(%/d)	3.74±0.29 ^a	4.05±0.43 ^a	3.15±0.15 ^b
存活率 Survival rate/%	89.17±8.77 ^a	91.67±7.93 ^a	37.50±18.13 ^b

注: 同行数据上标有不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Notes: Different lowercase letters superscripted on peer data indicate significant differences ($P < 0.05$).

表 6 3 种饵料对锯齿新米虾繁殖性能的影响
Tab. 6 Effects of the three experimental feed on the reproductive performance of *Neocaridina denticulata*

项目 Items	组别 Groups		
	虾片 Shrimp flake	沼虾商品饲料 Commercial prawn feed	蛋白核小球藻 <i>Chlorella pyrenoidosa</i>
初次抱卵时间 Initial egg holding time/d	75.00±13.59	62.25±7.09	—
初次抱卵体长 Initial egg holding body length/mm	14.20±0.99 ^b	16.60±0.93 ^a	—
初次抱卵体质量 Initial egg holding body mass/mg	51.00±10.41 ^b	82.94±14.48 ^a	—
初次抱卵量 Initial egg number/(粒/尾)	24.60±8.50 ^b	41.00±8.71 ^a	—
相对繁殖力 Relative fecundity/(粒/g)	474.25±74.08	497.68±87.50	—

注:同行数据上标有不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。
Notes: Different lowercase letters superscripted on peer data indicate significant differences ($P<0.05$).

2.7 饵料对锯齿新米虾胚胎发育的影响

在本试验中,蛋白核小球藻组未见抱卵虾;虾片和沼虾商品饲料对锯齿新米虾的孵化时间无显著性影响($P>0.05$),见图4。

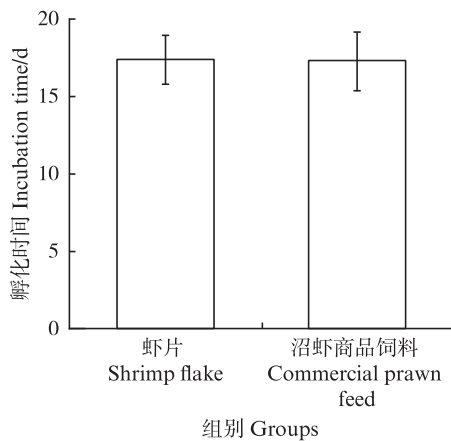


图 4 2 种饵料对锯齿新米虾胚胎发育的影响
Fig. 4 Effects of the two experimental feed on embryonic development of *Neocaridina denticulata*

3 讨论

3.1 温度对锯齿新米虾生长发育和繁殖性能的影响

甲壳动物属于变温动物,环境温度会显著影响其代谢水平和生理调节机制。因此,水温的变化对甲壳动物幼体生长发育和存活率有很大影响^[17]。甲壳动物对温度的变化有一定的耐受范围,张龙岗等^[18]认为克氏原螯虾对温度的耐受范围为 0~38℃,适宜温度为 24~30℃,温度过高时,一方面会使其生理功能紊乱降低其存活率;另一方面,高温条件下易滋生病原菌使其致死。水柏年^[19]研究报道,凡纳滨对虾(*Litopenaeus*

vannamei) 虾苗的适宜温度为 17~23℃。在本试验中,设置温度为 20~30℃,发现锯齿新米虾的存活率在 20℃时最高,达到 93.33%±7.20%,随着温度的升高,锯齿新米虾的存活率逐渐下降,温度越高,存活率下降越快。在南美白对虾(*Penaeus vannamei*)^[20]、克氏原螯虾^[21]等研究中也此现象。韩晓磊等^[22]发现温度除了影响克氏原螯虾幼体的存活率外,对其体长、体质量也有影响,在一定温度范围内,随着温度的升高,其幼体体长和体质量增长得越快。田相利等^[23]研究也表明,在适宜温度下中国对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)摄食量和消化率较高,其生长速度较快,而当温度过高时,其摄食率降低,基础代谢率增大,使得用于生长的能量降低,影响中国对虾的正常生理机能,导致其生长受到抑制。王天神等^[24]研究表明,温度过高或过低均会降低克氏原螯虾免疫相关酶的活性,使其产生应激反应,降低其免疫和抗病力,导致其致病甚至死亡。在本研究中,锯齿新米虾的存活率随着温度的升高而逐渐降低,这可能是由于温度的升高使得锯齿新米虾的新陈代谢加快,能量消耗变大,同时高温可能会影响免疫酶的活性,造成机体免疫系统紊乱,使得锯齿新米虾更容易致病,所以存活率降低;但温度对其特定生长率没有显著影响,这可能是由于锯齿新米虾对温度的耐受范围较广,试验温度范围内,温度对其特定生长率没有显著影响。

在本研究中,20℃条件下,锯齿新米虾的初次抱卵时间、初次抱卵体长和初次抱卵体质量均显著高于 25 和 30℃条件下($P<0.05$)。可能是因为低温条件下,个体需要更长的时间积累足够

多的积温才能性腺发育成熟,进入生殖阶段^[25]。生物体的繁殖发育受温度的影响,其性腺发育受温度的限制,这个限制温度被称为生物学零度。只有在水温高于生物学零度时,其性腺才开始发育,完成性腺发育和产卵需要积累一定的有效温度,即有效积温^[26]。不同物种所处的生活环境、繁殖时期不同,其胚胎发育和幼体发育的生物学零度和有效积温也各不相同。罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)胚胎发育的生物学零度为 13.25 °C,有效积温为 318.75(°C·d)^[27];中华绒螯蟹胚后发育阶段的生物学零度为 6.91 °C,有效积温为 274.18(°C·d)^[28];斑节对虾(*Penaeus monodon*)蚤状幼体和糠虾幼体的有效积温分别为 1 665.55 和 1 492.65(°C·h),两者的生物学零度均在 13 °C 以上^[29]。本研究中,锯齿新米虾性腺发育的生物学零度为 16.57 °C,有效积温为 507.54(°C·d);胚胎发育的生物学零度为 6.69 °C,有效积温为 279.98(°C·d)。王战芳等^[30]研究结果显示,锯齿新米虾胚胎发育的生物学零度为 7.07 °C,有效积温为 358.58(°C·d),其报道的胚胎发育的生物学零度与本文研究结果接近,但有效积温相对本文结果偏高,产生这种差异的原因可能是养殖条件的不同,王战芳等^[30]是在自然变温条件下进行的,而本研究是在相近恒温条件下进行的。虽然锯齿新米虾在 20 °C 条件下,其性腺开始发育,但因有效温度的积累较慢,反映初次抱卵所需的时间随温度的升高而降低。抱卵量被认为是评估虾类繁殖性能的重要参数^[31]。抱卵量随个体大小和性腺发育程度而异^[32]。有研究^[33-35]表明,抱卵量与体长、体质量呈正相关。但在本研究中,25 和 30 °C 试验组锯齿新米虾的初次抱卵体长、体质量和抱卵量及相对繁殖力均无显著差异。在适宜的温度范围内,温度越高,胚胎发育速度越快;温度越低,胚胎发育速度越慢^[36]。在本研究中,25 和 30 °C 试验组的胚胎孵化时间有显著差异,随着温度的升高,孵化时间逐渐缩短,这与于鹏等^[37]和 JIN 等^[38]的研究结果一致。

3.2 不同饵料对锯齿新米虾生长发育和繁殖性能的影响

在人工养殖条件下,水生动物对营养的需求主要来源于人工投喂的饵料,饵料的营养组成和含量对水产动物的生长繁殖有着重要影响^[39]。

同时,饵料的适口性也影响水生动物的生长和发育^[40-41]。

脂肪是水生生物生长发育过程中所必需的能量物质^[42-43],它可提供虾类生长所需的必需脂肪酸、胆固醇及磷脂等营养物质,其中,必需脂肪酸是指动物维持正常生长、发育所需要的,且自身不能合成或者合成量太少而不能满足机体需要,必须从饲料中直接获取的脂肪酸。必需脂肪酸主要包括亚油酸(C18:2n-6)、亚麻酸(C18:3n-3)、花生四烯酸(C20:4n-6,AA)、二十碳五烯酸(C20:5n-3,EPA)、二十二碳六烯酸(C22:6n-3,DHA)等,其中 AA^[44]、EPA、DHA^[45-46]属于高度不饱和脂肪酸(HUFAs)。高度不饱和脂肪酸对水生生物生长、发育、繁殖等方面发挥重要的生理作用。饲料中添加适量的高度不饱和脂肪酸可以促进凡纳滨对虾的生长,提高存活率、饲料利用率、免疫抗氧化能力并减少过量的脂肪沉积^[47-49],这在罗氏沼虾^[50]和日本沼虾^[51]中也有类似的情况。彭迪等^[52]研究表明,克氏原螯虾亲虾的性腺指数、抱卵率、抱卵量随着饲料脂肪水平的升高,呈先上升后下降的趋势。在凡纳滨对虾^[53]中也有类似的现象。季文娟^[54]研究表明,若饲料中只含 C18:3n-3 和 C18:2n-6 多不饱和脂肪酸,中国对虾则不能维持正常的卵巢发育和产卵量,其胚胎发育和孵化率也受影响,当饲料中含有适量的 EPA 和 DHA 时才能保证亲虾正常的产卵和卵质。朱长生等^[55]研究表明,EPA 和 DHA 能促进黄鳝(*Monopterus albus*)的脂类代谢,显著提高其生长及繁殖性能。本研究中,蛋白核小球藻组的存活率和特定生长率均显著低于虾片组和沼虾商品饲料组且蛋白核小球藻组在试验期间无抱卵虾出现。一方面,可能是蛋白核小球藻细胞壁较厚,锯齿新米虾缺少咀嚼研磨器官,导致藻细胞中营养成分难以被有效吸收;另一方面,蛋白核小球藻组的蛋白含量与另外两组相比较低,脂肪含量较高,且其所含脂肪酸种类少,不含有 ARA、EPA 和 DHA 等高度不饱和脂肪酸,因此蛋白核小球藻的营养组成不平衡,使得锯齿新米虾摄入的营养不全面,生长缓慢,存活率低,卵巢难以正常发育,无法抱卵繁殖;而沼虾商品饲料组的抱卵量和相对繁殖力均高于虾片组,可能是由于沼虾商品饲料组的脂肪酸种类更为丰富,EPA 和 DHA 含量适宜且其营养成分更为均衡,更加符合锯齿

新米虾对营养的需求,适宜其生长发育和繁殖。除了脂肪外,蛋白质对于水产动物的繁殖发育也有着重要作用。RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ 等^[56]研究表明,雌性红螯螯虾(*Cherax quadricarinatus*)繁殖的适宜粗蛋白含量为 32%。在刘勇等^[57]的研究中,饲料蛋白水平影响多鳞白甲鱼(*Onychostoma macrolepis*)雌性亲鱼的性腺水平,适宜水平为 36%~39%。当蛋白水平超过适宜水平时,雌鱼卵母细胞会呈现一定的过熟状态。然而有关锯齿新米虾适宜饲料蛋白质需求未见有公开报道。

综上所述,在本试验条件下,从生长发育速度角度,尽管 20℃组初次抱卵锯齿新米虾的体长、体质量、抱卵量大,但是其发育速度较慢,初次抱卵所需时间更长,综合生长发育速度,人工养殖锯齿新米虾更适宜在 25℃左右条件下培养,且沼虾商品饲料是一种适合培养锯齿新米虾的饵料。

作者声明本文无利益冲突。

参考文献:

- [1] XING K F, LIU Y J, YAN C C, et al. Transcriptome analysis of *Neocaridina denticulata sinensis* under copper exposure[J]. *Gene*, 2021, 764: 145098.
- [2] NIWA N, UENO M, INOUE Y. Accumulation of trypan blue and trypan red in nephrocytes of the fresh-water shrimp *Neocaridina denticulata* (Decapoda: Atyidae)[J]. *Journal of Crustacean Biology*, 1998, 18(4): 666-672.
- [3] MYKLES D L, HUI J H L. *Neocaridina denticulata*: a decapod crustacean model for functional genomics[J]. *Integrative and Comparative Biology*, 2015, 55(5): 891-897.
- [4] KENNY N J, SIN Y W, SHEN X, et al. Genomic sequence and experimental tractability of a new decapod shrimp model, *Neocaridina denticulata* [J]. *Marine Drugs*, 2014, 12(3): 1419-1437.
- [5] XING K F, LIU Y J, YAN C C, et al. Transcriptomic analysis of *Neocaridina denticulata sinensis* hepatopancreas indicates immune changes after copper exposure[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2022, 121: 23-30.
- [6] 李勇. 蟹池混养小草虾养殖技术[J]. *科学养鱼*, 2012(7): 32.
- LI Y. The technique of mixed culture of grass shrimp in crab ponds[J]. *Scientific Fish Farming*, 2012(7): 32.
- [7] 熊炎成. 青鱼主养模式技术要点[J]. *渔业致富指南*, 2000(21): 22.
- XIONG Y C. Key technical points of the main farming mode for *Mylopharyngodon piceus*[J]. *Fishery Guide to be Rich*, 2000(21): 22.
- [8] 秦海明, 李钟杰, 张堂林, 等. 大源湖虾类种类组成、时空分布及生物量估算[J]. *曲阜师范大学学报(自然科学版)*, 2007, 33(2): 101-105.
- QIN H M, LI Z J, ZHANG T L, et al. Species composition, spatio-temporal distribution and biomass of shrimps in the Dayuan Lake[J]. *Journal of Qufu Normal University (Natural Science Edition)*, 2007, 33(2): 101-105.
- [9] SUH H L, OH C W, HARTNOLL R, et al. Reproduction and population dynamics of the temperate freshwater shrimp, *Neocaridina denticulata denticulata* (De Haan, 1844), in a Korean stream[J]. *Crustaceana*, 2003, 76(8): 993-1015.
- [10] 李丽, 杜蓉, 刘其根, 等. 长江口青草沙水库刀鲚食性转变[J]. *中国水产科学*, 2019, 26(4): 765-773.
- LI L, DU R, LIU Q G, et al. The ontogenetic dietary shift of Japanese grenadier anchovy (*Coilia nasus*) in the Qingcaosha Reservoir near the Yangtze River Estuary[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2019, 26(4): 765-773.
- [11] 王照欣, 梁萌青, 卫育良, 等. 甲壳动物亲体营养研究进展[J]. *饲料工业*, 2022, 43(16): 4-10.
- WANG Z X, LIANG M Q, WEI Y L, et al. Research progress on broodstock nutrition of crustaceans[J]. *Feed Industry*, 2022, 43(16): 4-10.
- [12] 张凯军, 姜鹏飞, 王军, 等. 不同温度对中华绒螯蟹生长及肠道微生物菌群的影响[J]. *上海海洋大学学报*, 2022, 31(2): 384-393.
- ZHANG K J, JIANG P F, WANG J, et al. Effects of different temperatures on growth and gut microbiota of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2022, 31(2): 384-393.
- [13] 刘永鑫, 张殿福, 陶忠虎, 等. 温度对克氏原螯虾胚胎和幼体发育的影响[J]. *华中农业大学学报*, 2021, 40(5): 146-153.
- LIU Y X, ZHANG D F, TAO Z H, et al. Effects of temperature on embryonic and larval development of *Procambarus clarkii*[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2021, 40(5): 146-153.
- [14] 蒋刚, 戴颖, 张亚, 等. 温度对日本沼虾幼体发育及成体繁殖性能的影响[J]. *上海海洋大学学报*, 2022, 31(2): 365-372.
- JIANG G, DAI Y, ZHANG Y, et al. Effects of temperature on the growth and reproduction performance of *Macrobrachium nipponense* from zoea to postlarvae[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2022, 31(2): 365-372.
- [15] 李朝琪, 张丽莉, 黄世玉, 等. 锯齿新米虾室内玻璃缸

- 养殖技术[J]. 科学养鱼, 2018(5): 84-85.
- LI C Q, ZHANG L L, HUANG S Y, et al. The indoor glass tank cultivation technology of *Neocaridina denticulata* [J]. Scientific Fish Farming, 2018(5): 84-85.
- [16] 邓杰文, 陈婉怡. 观赏中华锯齿米虾的培育与养殖研究进展[J]. 乡村科技, 2022, 13(18): 80-83.
- DENG J W, CHEN W Y. Research progress in the cultivation and aquaculture of ornamental *Neocaridina denticulata sinensis* [J]. Rural Science and Technology, 2022, 13(18): 80-83.
- [17] 吕彬. 不同温度和蛋白水平对日本沼虾生长、免疫能力以及蛋白代谢的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2021.
- LYU B. Effects of different temperatures and protein levels on the growth, immune capacity and protein metabolism of *Macrobrachium nipponense* [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2021.
- [18] 张龙岗, 钟君伟, 朱永安. 温度对克氏原螯虾苗种生长和存活的影响[J]. 河北渔业, 2015(1): 4-5.
- ZHANG L G, ZHONG J W, ZHU Y A. Effect of temperature on the growth and survival of *Procambarus clarkii* fry [J]. Hebei Fisheries, 2015(1): 4-5.
- [19] 水柏年. 凡纳滨对虾苗对若干环境因子适应性研究[J]. 水产养殖, 2005, 26(1): 8-13.
- SHUI B N. Research on the adaptability of young *Litopenaeus vanamei* to several environmental factors [J]. Journal of Aquaculture, 2005, 26(1): 8-13.
- [20] 闫雪崧. 不同水温及养殖密度对南美白对虾存活率和生长性能的影响[J]. 中国饲料, 2023(4): 74-77.
- YAN X S. Effects of different water temperature and stocking density on the survival rate and growth performance of *Penaeus vannamei* [J]. China Feed, 2023(4): 74-77.
- [21] 周泽湘, 范文浩, 方刘, 等. 温度对克氏原螯虾幼虾生长、摄食及消化酶活性的影响[J]. 湖北农业科学, 2021, 60(20): 127-130.
- ZHOU Z X, FAN W H, FANG L, et al. Effects of temperature on the growth, feeding, and digestive enzyme activity of the juvenile red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2021, 60(20): 127-130.
- [22] 韩晓磊, 李小蕊, 程东成, 等. 温度对克氏原螯虾交配、抱卵、孵化和幼体生长发育的影响[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(10): 2078-2080.
- HAN X L, LI X R, CHENG D C, et al. Effect of temperature on mating, oogenesis, hatching and larvae development of red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2011, 50(10): 2078-2080.
- [23] 田相利, 董双林, 王芳. 不同温度对中国对虾生长及能量收支的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(4): 678-682.
- TIAN X L, DONG S L, WANG F. Effects of different temperatures on the growth and energy budget of Chinese shrimp, *Fenneropenaeus chinensis* [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(4): 678-682.
- [24] 王天神, 周鑫, 赵朝阳, 等. 不同温度条件下克氏原螯虾免疫酶活性变化[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(12): 239-241.
- WANG T S, ZHOU X, ZHAO C Y, et al. Changes in immune enzyme activity of *Procambarus clarkii* under different temperature conditions [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2012, 40(12): 239-241.
- [25] 隗阳, 水燕, 朱光艳, 等. 克氏原螯虾胚胎发育与离体孵化的研究进展及展望[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(15): 25-32.
- WEI Y, SHUI Y, ZHU G Y, et al. Research progress and prospect of embryonic development and *in vitro* hatching of *Procambarus clarkii* [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2021, 49(15): 25-32.
- [26] 李多云. 温度对中国对虾(*Penaeus orientalis*)越冬亲虾性腺发育与存活率的影响[J]. 生态学报, 1995, 15(4): 378-384.
- LI M Y. Effects of temperature on the gonad development and survival rate of parent prawn *Penaeus orientalis* [J]. Acta Ecologica Sinica, 1995, 15(4): 378-384.
- [27] 徐慈浩, 肖锐媛, 木亮亮, 等. 罗氏沼虾胚胎发育观察及温度对胚胎发育的影响[J]. 广东农业科学, 2015, 42(20): 112-117.
- XU C H, XIAO R Y, MU L L, et al. Observation on development of *Macrobrachium rosenbergii* embryos and influence of temperature on embryonic development [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2015, 42(20): 112-117.
- [28] 王璞, 马旭洲, 温旭. 中华绒螯蟹胚后发育生物学零度及其有效积温[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2019, 45(4): 500-505.
- WANG P, MA X Z, WEN X. Biological zero temperature and effective accumulated temperature of postembryonic development of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences), 2019, 45(4): 500-505.
- [29] 洪万树, 刘昌欣. 斑节对虾幼体发育的有效积温、生物学零度和耐温实验研究[J]. 福建水产, 1997(3): 1-6.
- HONG W S, LIU C X. Study on the effective accumulative temperature, biological zero degree and tolerance of temperature of the larva in the *Penaeus monodon* [J]. Journal of Fujian Fisheries, 1997(3): 1-6.
- [30] 王战芳, 崔晓东, 巩海雪, 等. 中华锯齿米虾生物学零度及有效积温的研究[J]. 河北渔业, 2014(2): 10-12.
- WANG Z F, CUI X D, GONG H X, et al. Study on the biological zero degree and effective accumulated

- temperature of *Neocaridina denticulata sinensis* [J]. Hebei Fisheries, 2014(2): 10-12.
- [31] XUE S Y, FANG J G, ZHANG J H, et al. Effects of temperature and salinity on the development of the amphipod crustacean *Eogammarus sinensis* [J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2013, 31 (5): 1010-1017.
- [32] 董扬帆, 李军涛, 张秀霞, 等. 克氏原螯虾繁殖生物学与苗种培育技术研究进展[J]. 水产学杂志, 2020, 33 (4): 68-74.
- DONG Y F, LI J T, ZHANG X X, et al. A review: research advances on seedling breeding of red swamp crayfish *Procambarus clarkii* [J]. Chinese Journal of Fisheries, 2020, 33(4): 68-74.
- [33] 马军卿, 秦志平, 王正发. 淡水青虾抱卵量与体长的关系[J]. 水利渔业, 1994(4): 40-41.
- MA J Q, QIN Z P, WAN Z F. The relationship between egg production and body length of freshwater *Macrobrachium nipponense* [J]. Journal of Hydroecology, 1994(4): 40-41.
- [34] 颜慧, 丛宁, 叶金明. 杂交青虾“太湖1号”抱卵量与体长、体重的关系[J]. 河北渔业, 2010(12): 10-12.
- YAN H, CONG N, YE J M. The relationship between egg production and body length and body weight of the “Taihu Lake NO.1” [J]. Hebei Fisheries, 2010(12): 10-12.
- [35] 颜慧, 丛宁, 叶金明, 等. 杂交青虾“太湖1号”和日本沼虾抱卵量的比较研究[C]//中国南方十六省(市、区)水产学会渔业学术论坛第二十六次学术交流大会论文集(上册). 重庆: 重庆市水产学会, 2010: 5.
- YAN H, CONG N, YE J M, et al. A comparative study on egg production between the “Tai Lake No. 1” and *Macrobrachium nipponense* [C]//Proceedings of the 26th Academic Exchange Conference of the Fisheries Academic Forum of the Fisheries Society of the Sixteen Provinces (Cities, Districts) in Southern China (Volume 1). Chongqing: Chongqing Fisheries Society, 2010: 5.
- [36] 楼允东. 组织胚胎学[M]. 2版. 北京: 中国农业出版社, 1996: 218-219.
- LOU Y D. Embryology [M]. 2nd ed. Beijing: China Agricultural Press, 1996: 218-219.
- [37] 于鹏, 张成硕, 成钰, 等. 环境因子对红螯螯虾影响的研究进展[J]. 水产科技情报, 2024, 51(2): 125-132.
- YU P, ZHANG C S, CHENG Y, et al. Research progress on the effects of environmental factors in *Cherax quadricarinatus* [J]. Fisheries Science & Technology Information, 2024, 51(2): 125-132.
- [38] JIN S Y, JACQUIN L, HUANG F, et al. Optimizing reproductive performance and embryonic development of red swamp crayfish *Procambarus clarkii* by manipulating water temperature[J]. Aquaculture, 2019, 510: 32-42.
- [39] 姚卫军, 黄翔鹄, 李活. 不同天然饵料对凡纳滨对虾亲虾性腺发育的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2009, 29 (4): 84-88.
- YAO W J, HUANG X H, LI H. Effect of various natural diets on broodstock's gonad development of *Litopenaeus vannamei* [J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2009, 29(4): 84-88.
- [40] 左炳楠. 遮蔽物、饵料、光色对红壳色中华绒螯蟹摄食、生长及体色的影响[D]. 大连: 大连海洋大学, 2018.
- ZUO B N. Effects of shelter, feed and light color on the growth and body color of red color juvenile Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* [D]. Dalian: Dalian Ocean University, 2018.
- [41] 杨育凯, 林黑着, 杨其彬, 等. 3种虾片在凡纳滨对虾育苗中的效果评价[J]. 四川农业大学学报, 2017, 35 (2): 266-272.
- YANG Y K, LIN H Z, YANG Q B, et al. Effect evaluation of three kinds of shrimp flake in the larval rearing of *Litopenaeus vannamei* [J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2017, 35(2): 266-272.
- [42] LEE R F, WALKER A. Lipovitellin and lipid droplet accumulation in oocytes during ovarian maturation in the blue crab, *Callinectes sapidus* [J]. Journal of Experimental Zoology, 1995, 271(5): 401-412.
- [43] IZQUIERDO M, FERNÁNDEZ-PALACIOS H, TACON A. Effect of broodstock nutrition on reproductive performance of fish [J]. Aquaculture, 2001, 197 (1/4): 25-42.
- [44] 丁兆坤, 刘亮, 许友卿. 二十碳四烯酸研究[J]. 水产科学, 2007, 26(12): 684-688.
- DING Z K, LIU L, XU Y Q. Studies on arachidonic acid [J]. Fisheries Science, 2007, 26(12): 684-688.
- [45] 许友卿, 张海柱, 丁兆坤. 二十二碳六烯酸和二十碳五烯酸研究进展(1)[J]. 生物学通报, 2007, 42(11): 13-15.
- XU Y Q, ZHANG H Z, DING Z K. Research progress on docosahexaenoic acid and eicosapentaenoic acid (1) [J]. Bulletin of Biology, 2007, 42(11): 13-15.
- [46] 许友卿, 张海柱, 丁兆坤. 二十二碳六烯酸和二十碳五烯酸研究进展(2)[J]. 生物学通报, 2007, 42(12): 3-5.
- XU Y Q, ZHANG H Z, DING Z K. Research progress on docosahexaenoic acid and eicosapentaenoic acid (2) [J]. Bulletin of Biology, 2007, 42(12): 3-5.
- [47] GONZÁLEZ-FÉLIX M L, GATLIN III D M, LAWRENCE A L, et al. Nutritional evaluation of fatty acids for the open thelycum shrimp, *Litopenaeus vannamei*: II. Effect of dietary n-3 and n-6 polyunsaturated and highly unsaturated fatty acids on juvenile shrimp growth, survival, and fatty acid

- composition [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2003, 9 (2): 115-122.
- [48] AN W Q, HE H L, DONG X H, et al. Regulation of growth, fatty acid profiles, hematological characteristics and hepatopancreatic histology by different dietary n-3 highly unsaturated fatty acids levels in the first stages of juvenile Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) [J]. *Aquaculture Reports*, 2020, 17: 100321.
- [49] 赵利斌, 王鑫磊, 黄旭雄, 等. 饲料中花生四烯酸水平对凡纳滨对虾免疫相关基因表达及抗菌能力的影响 [J]. *水产学报*, 2016, 40(5): 763-775.
- ZHAO L B, WANG X L, HUANG X X, et al. Effects of dietary arachidonic acid on the immune-related gene expressions and *Vibrio*-resistant ability in *Litopenaeus vannamei* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2016, 40 (5): 763-775.
- [50] 吕红雨, 周越, 舒毓, 等. 饲料中 n-3 PUFA/n-6 PUFA 比值对罗氏沼虾幼虾生长性能和抗氧化能力的影响 [J]. *水产学报*, 2023, 47(9): 133-144.
- LYU H Y, ZHOU Y, SHU H, et al. Effects of dietary different n-3/n-6 fatty acid ratio on the growth performance and antioxidant capacity of juvenile freshwater giant prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2023, 47(9): 133-144.
- [51] 蒋振廷, 刘波, 戈贤平, 等. 饲料不同 n-3/n-6 脂肪酸比值对日本沼虾生长、虾体组分、血清抗氧化及相关基因表达的影响 [J]. *水产学报*, 2019, 43(10): 2109-2122.
- JIANG Z T, LIU B, GE X P, et al. Effects of dietary n-3/n-6 fatty acid ratio on growth performance, body composition, serum antioxidant capacity and related genes expression of oriental river prawn (*Macrobrachium nipponense*) [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2019, 43 (10): 2109-2122.
- [52] 彭迪, 陈效儒, 文华, 等. 饲料脂肪水平对克氏原螯虾亲虾生长性能、肌肉成分、繁殖性能以及血淋巴生化指标的影响 [J]. *水产学报*, 2019, 43(10): 2175-2185.
- PENG D, CHEN X R, WEN H, et al. Effects of dietary lipid levels on growth performance, muscle composition, reproductive performance and hemolymph biochemical indices of *Procambarus clarkii* broodstock [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2019, 43(10): 2175-2185.
- [53] WOUTERS R, FIGUAVE X, BASTIDAS L, et al. Ovarian maturation and haemolymphatic vitellogenin concentration of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) fed increasing levels of total dietary lipids and HUFA [J]. *Aquaculture Research*, 2001, 32 (7): 573-582.
- [54] 季文娟. 高度不饱和脂肪酸对中国对虾亲虾的产卵和卵质的影响 [J]. *水产学报*, 1998, 22(3): 49-55.
- JI W J. Effects of highly unsaturated fatty acids in broodstock diets on spawning and egg quality of *Penaeus Chinensis* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 1998, 22 (3): 49-55.
- [55] 朱长生, 江波, 周秋白. 饲料中不同 EPA 和 DHA 含量对黄鳝脂类代谢、生长及繁殖性能的影响 [J]. *水生生物学报*, 2013, 37(4): 648-655.
- ZHU C S, JIANG B, ZHOU Q B. The effects of different levels of EPA and DHA on lipids metabolism, growth and reproductive performance of rice field eel (*Monopterus albus*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2013, 37(4): 648-655.
- [56] RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ H, GARCÍA-ULLOA M, HERNÁNDEZ-LLAMAS A, et al. Effect of dietary protein level on spawning and egg quality of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* [J]. *Aquaculture*, 2006, 257(1-4): 412-419.
- [57] 刘勇, 周继术, 吉红, 等. 饲料蛋白水平对多鳞白甲鱼亲鱼生长、体组成与性腺的影响 [J]. *饲料工业*, 2016, 37(16): 20-26.
- LIU Y, ZHOU J S, JI H, et al. Effects of dietary protein levels on growth, body composition and gonad of *Varicorhinus macrolepis* broodstock [J]. *Feed Industry*, 2016, 37(16): 20-26.

Effects of temperature and feed on the growth, development, and reproductive performances of *Neocaridina denticulata*

WANG Lingling¹, XUE Yucai¹, JIANG Gang¹, SHI Liqui¹, HUANG Xuxiong^{1,2,3}

(1. Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. China-ASEAN “Belt and Road” Joint Laboratory on Mariculture Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The effects of different temperatures (20, 25, and 30 °C) and different feeds (shrimp flake, commercial prawn feed, and *Chlorella pyrenoidosa*) on the growth and reproduction performances of *Neocaridina denticulata* were investigated with the 7-day-old *N. denticulata* postlarvae. The results showed that the survival rate of *N. denticulata* decreased with the increasing temperature. The survival rate at 20 °C (93.33%±7.20%) was significantly higher than that at 30 °C ($P<0.05$). Temperature had no significant effect on the body length, mass, and specific growth rate of *N. denticulata* during the 91-day- cultivation ($P>0.05$). The development of *N. denticulata* accelerated significantly at the increasing temperature. The first time of berried female at 30 °C, 25 °C, and 20 °C appeared at (39.25±3.20), (55.00±1.00), and (162.33±1.53) day, respectively. However, the body length, mass, and egg number of the berried female at 20 °C were significantly higher than those at 25 °C and 30 °C ($P<0.05$). There were no significant differences in body length, mass, and egg number between the 25 °C and 30 °C groups ($P>0.05$). There was no significant difference ($P>0.05$) in the relative reproductive capacity of *N. denticulata* among the three treatments. The hatching time of postlarva significantly decreased with the increasing temperature. The biological zero and the effective accumulated temperature on gonad development in *N. denticulata* were 16.57 °C and 507.54 (°C·d) respectively. The biological zero and the effective accumulated temperature on embryonic development were 6.69 °C and 279.98 (°C·d) respectively. The growth and survival rates of the *N. denticulata* fed with *Chlorella pyrenoidosa* were significantly inferior to those fed with shrimp flake and commercial prawn feed ($P<0.05$). Compared to that fed with *Chlorella pyrenoidosa*, the berried female *N. denticulata* fed commercial prawn feed displayed significantly higher body length, mass, egg number, and relative reproductive capacity ($P<0.05$). In summary, around 25 °C is the suitable temperature and commercial prawn feed is a suitable feed for the cultivation of *N. denticulata*.

Key words: *Neocaridina denticulata*; temperature; feed; growth performance; reproductive performance