

# 温度及 pH 对隆线蚤生长和生殖的影响

翁显龙 左迪 李嘉尧 赵云龙\*

(华东师范大学生命科学学院 上海 200062)

**摘要:**研究了隆线蚤(*Daphnia carinata*)在不同温度(15、20、25、30℃)和 pH(6、7、8、9、10)影响下的内禀增长率( $r_m$ )、周限增长率( $\lambda$ )、平均世代周期( $T$ )、净生殖率( $R_0$ )、平均寿命、第一怀卵日、平均生殖间隔期和总生殖量。结果表明,温度对隆线蚤的生命参数有显著影响,30℃组的内禀增长率( $r_m$ )、周限增长率( $\lambda$ )和平均世代周期( $T$ )均显著高于其他组,但是该组的平均寿命、第一怀卵日和平均生殖间隔期均低于其他组。pH 对隆线蚤生命参数影响总体上不明显,pH 7、8、9 和 10 各组之间没有显著差异,但 pH 6 组与其他各组差异较显著,该组的内禀增长率( $r_m$ )和周限增长率( $\lambda$ )显著高于其他组。

**关键词:**隆线蚤;生长;生殖;温度;pH

中图分类号:Q955 文献标识码:A 文章编号:0250-3263(2011)01-01-06

## Effects of Temperature and pH on the Population Dynamics Parameters of *Daphnia carinata*

WENG Xian-Long ZUO Di LI Jia-Yao ZHAO Yun-Long\*

(School of Life Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

**Abstract:** The intrinsic of increase( $r_m$ ), finite rate of increase( $\lambda$ ), mean generation time( $T$ ), net reproduction rate( $R_0$ ), mean lifespan, age at first brood, mean interval between clutch and fecundity of *Daphnia carinata* were studied under different temperatures (15, 20, 25, 30℃) and pH values (6, 7, 8, 9, 10). The results indicated that temperature was of great importance to the reproduction of *D. carinata*. The mean generation time( $T$ ), mean lifespan, age at first brood, mean interval between clutch decreased with increasing temperature, while intrinsic of increase( $r_m$ ) and finite rate of increase( $\lambda$ ) increased with temperature varying from 15 – 30℃. The intrinsic of increase( $r_m$ ) at 30℃ was significantly higher than in other groups. Effects of pH on the survival and neonate production of *D. carinata* were also studied. Results showed that there was no significant difference among pH 7, 8, 9 and 10. When *D. carinata* was reared at pH 6, intrinsic of increase( $r_m$ ) and finite rate of increase( $\lambda$ ) were significantly higher than those reared in other groups.

**Key words:** *Daphnia carinata*; Growth; Neonate production; Temperature; pH

隆线蚤(*Daphnia carinata*)隶属于节肢动物门甲壳纲枝角亚目蚤科蚤属。该蚤分布广、易繁殖、适应性强,是鱼虾幼体理想的活饵料。随着虾蟹养殖业蓬勃发展,苗种繁育对饵料需求量剧增,寻找营养丰富、成本低、培养方便的活饵料,对我国养殖业的发展意义重大。种群数量增长快慢是筛选水产养殖活饵料种类的主要指标之一,而动物种群增长潜力通常用内禀

**基金项目** 公益性行业(农业)科研专项经费项目(No. 200903056),上海市科委社会发展领域重大项目(No. 09DZ120010A),上海市科委富民工程项目(No. 09DZ1912900);

\* 通讯作者, E-mail: ylzhao@bio.ecnu.edu.cn;

**第一作者介绍** 翁显龙,男,硕士研究生;研究方向:水生动物发育生物学;E-mail: wengxianlong@yahoo.com.cn.

收稿日期:2010-06-23, 修回日期:2010-11-03

增长率( $r_m$ )来衡量。温度对枝角类的内禀增长率、分布、代谢、生殖、发育都有直接影响,温度过低枝角类会停止产卵,甚至停止生长,阻滞其性成熟,温度过高枝角类产卵时间也会延长甚至停止产卵,死亡率急剧升高<sup>[1-3]</sup>。pH 的变化对枝角类的存活、生长和生殖同样也有重要影响,但有关 pH 对其作用的生理机制研究甚少,一般认为 pH 直接影响其呼吸机能,从而影响其代谢、营养、生长和生殖<sup>[4]</sup>。此外,枝角类生活史特殊,当外界环境条件适宜时,如温度、密度、食物等因子,枝角类一般进行孤雌生殖,雌蚤所产卵不需要受精就可发育成个体;当环境条件不适时,枝角类又可两性生殖,以受精卵(休眠卵)的形式度过不良环境条件而得以保存物种。因此,本文研究不同温度(15、20、25、30℃)和 pH (6、7、8、9、10)条件对隆线蚤种群生长的影响,并计算其内禀增长率,确定隆线蚤的最适养殖温度和 pH,可为隆线蚤的生殖生物学研究积累基础资料,同时也为人工规模化培养提供理论依据。

## 1 材料与方 法

**1.1 材料来源** 实验用隆线蚤于 2009 年 3 月购自上海真博花鸟市场,经分离、鉴定,饲以培养液(兔子粪 1.5 g、青菜 2.0 g、沃土 20 g、水 1 L,混合煮沸冷却后过滤)<sup>[5-7]</sup>,在室内光照培养箱中使其大量繁殖。实验正式开始前取一只隆线蚤,放置于 50 ml 的烧杯中,烧杯中盛有培养液,光照培养箱设置为 25℃。待其孤雌生殖第一代后,将母蚤遗弃,保留幼蚤,待其生殖后同样保留幼体遗弃母蚤,反复多次,以求获得实验所需的幼蚤数目。通过该方法选择幼体可以消除个体差异造成的实验误差。

### 1.2 实验方法

**1.2.1 温度对隆线蚤生殖的影响实验** 个体实验:预备 4 个光照培养箱,分别设置其温度为 15、20、25 和 30℃。在每个光照培养箱中放置 10 个烧杯(50 ml),并在每个烧杯中加入 40 ml 的枝角类培养液。用温度计测量烧杯中溶液的温度,通过调节光照培养箱的温度设置使烧杯

中溶液达到实验要求的温度。然后移入 1 只幼蚤,每天定时更换培养液,并观察记录第一次怀卵的时间、新生幼蚤和死亡成蚤的数量,同时把新生幼蚤吸出,直到成蚤全部死亡。群体实验:在上述校正好温度的光照培养箱中各放置 3 个 250 ml 的烧杯,烧杯中加入 200 ml 的枝角类培养液,并移入 10 只幼蚤。每天定时更换培养液,并观察记录新生幼蚤和死亡成蚤的数量,同时把新生幼蚤吸出,直到成蚤全部死亡。

**1.2.2 pH 对隆线蚤的急性毒性实验** 在 25℃ 的条件下,分别设置低 pH 和高 pH 两个实验组,该两组 pH 值分别为 4.52、4.79、5.08、5.39、5.71、6.05 和 10.08、10.34、10.61、10.89、11.17、11.46。pH 值的设定参考赵文对西藏拟蚤(*Daphniopsis tibetana*)的研究<sup>[8]</sup>。用 1 mol/L NaOH 和 HCl 调节 pH。每个烧杯(250 ml)放入 10 只新生幼蚤,每隔 2 h 观察一次,测定并及时调节 pH,使 pH 波幅小于  $\pm 0.1$ 。蚤的死亡以沉入水底,轻转容器 15 s 内无任何反应为标准<sup>[9]</sup>。实验过程中及时剔除死亡个体。本实验设置 3 个平行组。

**1.2.3 pH 对隆线蚤生殖的影响实验** 取 15 个烧杯(250 ml),平均分成 5 组,每个烧杯中加入 200 ml 的培养液,然后用 1 mol/L NaOH 和 HCl 把 5 组培养液的 pH 依次调为 6.0、7.0、8.0、9.0 和 10.0。每个烧杯中放入新生幼蚤 10 只。每隔 2 h 调节一次 pH,使 pH 波幅小于  $\pm 0.1$ 。每天定时更换培养液,并观察记录新生幼蚤和死亡成蚤的数量,同时把新生幼蚤吸出,直到成蚤全部死亡。

**1.3 数据统计与分析** 根据上述实验数据编写不同温度下隆线蚤的生命表。采用 Locka 提出的,经 Birch 和林昌善简化<sup>[10]</sup>后的公式计算

$r_m$  的精确值及有关数据:  $\sum_{x=0}^{\infty} e^{-r_m x} l_x m_x = 1, \lambda = e^{r_m}, T = \sum_{x=0}^n x m_x l_x / R_0, R_0 = \sum_{x=0}^n m_x l_x, r_m = \ln R_0 / T$ , 式中,  $x$  为日龄值(d),  $l_x$  为存活率(ind),  $m_x$  为特定年龄繁殖率(ind),  $R_0$  为净增殖率(ind),  $T$  为世代时间(d),  $\lambda$  为周限增长率(ind)。应用

SPSS 16.0 对数据进行方差分析和 Duncan 多重比较。

## 2 结 果

### 2.1 不同温度对隆线蚤的影响

#### 2.1.1 不同温度对隆线蚤个体生殖的影响

隆线蚤的平均寿命在 20℃ 时最长,30℃ 组的平均寿命最短,但各组间无显著差异 ( $P > 0.05$ );

第一怀卵日,即隆线蚤第一次怀卵的时间(d),随着温度升高而降低(表 1),30℃ 组第一怀卵日最短;平均生殖间隔期随温度升高而缩短,15℃ 组平均生殖间隔期最高,30℃ 组最低,15℃ 组与 30℃ 组间差异显著 ( $P < 0.05$ );每只隆线蚤的平均总生殖量,20℃ 组最高,各组间没有显著差异 ( $P > 0.05$ )。

表 1 隆线蚤在不同温度下的平均寿命、第一怀卵日、平均生殖间隔期、总生殖量  
Table 1 Mean lifespan, age at first brood, mean interval between clutch and fecundity of *D. carinata* under different temperatures

种群变动参数 Population dynamics parameters	温度 Temperature (°C)			
	15	20	25	30
平均寿命 Mean lifespan (d)	48.20 ± 19.39 <sup>a</sup>	57.40 ± 7.76 <sup>a</sup>	51.20 ± 13.95 <sup>a</sup>	29.75 ± 12.61 <sup>a</sup>
第一怀卵日 Age at first brood (d)	10.00 ± 0.00	6.00 ± 0.00	5.00 ± 0.00	4.00 ± 0.00
平均生殖间隔期 Mean interval between clutch (d)	6.16 ± 1.40 <sup>a</sup>	3.65 ± 0.58 <sup>ab</sup>	4.11 ± 2.24 <sup>ab</sup>	1.50 ± 0.18 <sup>b</sup>
总生殖量 Fecundity (ind)	263.60 ± 151.08 <sup>a</sup>	529.80 ± 70.51 <sup>a</sup>	327.40 ± 129.42 <sup>a</sup>	472.75 ± 124.46 <sup>a</sup>

同行数值上标字母相同表示差异不显著 ( $P > 0.05$ ),不同者表示差异显著 ( $P < 0.05$ );以下各表同。

Values with the same superscripts in each row are not significantly different ( $P > 0.05$ ), values with different superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ ). The following tables ibid note.

#### 2.1.2 不同温度对隆线蚤种群参数的影响

内禀增长率 ( $r_m$ ) 代表了在特定条件下具有稳定年龄组配种群的最高瞬时增殖速率,它能比较全面地概括种群的增长能力。从表 2 可知,隆线蚤在 30℃ 条件下,  $r_m$  最大,显著高于其他组 ( $P < 0.05$ );周限增长率 ( $\lambda$ ) 30℃ 组显著高于其他组 ( $P < 0.05$ );平均世代周期 ( $T$ ) 30℃ 组与 15℃、20℃ 组差异显著 ( $P < 0.05$ );净生殖率 ( $R_0$ ),各组之间差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

### 2.2 不同 pH 对隆线蚤的影响

#### 2.2.1 pH 对隆线蚤的急性毒性实验

采用几率单位法计算 pH 对隆线蚤的半致死浓度 ( $LC_{50}$ )。pH 对隆线蚤 24 h 的半致死浓度 ( $LC_{50}$ ) 分别为 10.81 和 5.43,具体结果见表 3。根据此结果设计了 pH 对隆线蚤种群内禀增长率的实验浓度。

#### 2.2.2 pH 对隆线蚤个体生殖的影响

从表 4 可知,隆线蚤的平均寿命、第一怀卵日和平均生殖间隔期无显著差异 ( $P > 0.05$ );每只隆线蚤的平均总生殖量以 pH 6 组最高,pH 6 与 9、10 组有显著差异 ( $P < 0.05$ )。

表 2 温度对隆线蚤种群变动参数的影响

Table 2 The effects of temperature on population dynamics parameters of *D. carinata*

种群变动参数 Population dynamics parameters	温度 Temperature (°C)			
	15	20	25	30
内禀增长率 Intrinsic of increase (ind/d)	0.153 6 <sup>a</sup>	0.191 7 <sup>a</sup>	0.209 4 <sup>a</sup>	0.392 0 <sup>b</sup>
周限增长率 Finite rate of increase (ind/d)	1.166 0 <sup>a</sup>	1.211 4 <sup>a</sup>	1.233 0 <sup>a</sup>	1.482 1 <sup>b</sup>
平均世代周期 Mean generation time (d)	25.234 6 <sup>a</sup>	21.606 3 <sup>a</sup>	16.297 6 <sup>a</sup>	10.199 7 <sup>b</sup>
净生殖率 Net reproduce rate (ind)	48.200 0 <sup>a</sup>	65.800 0 <sup>a</sup>	50.550 0 <sup>a</sup>	54.900 0 <sup>a</sup>

表 3 pH 对隆线蚤的半致死浓度  
Table 3 LC<sub>50</sub> of *D. carinata* under different pH values

pH	时间 Time (h)	回归方程 Regression equation	LC <sub>50</sub>	相关系数 R <sup>2</sup> Correlation coefficient	95% 置信区间 95% believe limit
4.52 ~ 6.05	24	$Y = -3.531X + 24.173$	5.43	0.985 6	5.42 ~ 5.44
10.08 ~ 11.46	24	$Y = 2.632X - 23.452$	10.81	0.984 2	10.80 ~ 10.82

X 为 pH 值, Y 为死亡概率。X is the value of pH, Y is the rate of death.

表 4 隆线蚤在不同 pH 下的平均寿命、第一怀卵日、平均生殖间隔期、平均总生殖量  
Table 4 Mean lifespan, age at first brood, mean interval between clutch and fecundity of *D. carinata* under different pH values

种群变动参数 Population dynamics parameters	pH				
	6	7	8	9	10
平均寿命 Mean lifespan (d)	40.00 ± 8.00 <sup>a</sup>	43.47 ± 6.47 <sup>a</sup>	45.47 ± 0.40 <sup>a</sup>	42.67 ± 11.01 <sup>a</sup>	36.43 ± 6.32 <sup>a</sup>
第一怀卵日 Age at first brood (d)	8.00 ± 0.00	5.00 ± 0.00	6.00 ± 0.00	7.00 ± 0.00	6.00 ± 0.00
生殖间隔期 (d) Mean interval between clutch	1.16 ± 0.22 <sup>a</sup>	0.97 ± 0.15 <sup>a</sup>	1.04 ± 0.06 <sup>a</sup>	1.43 ± 0.66 <sup>a</sup>	0.99 ± 0.06 <sup>a</sup>
总生殖量 Fecundity (ind)	176.35 ± 13.36 <sup>a</sup>	154.50 ± 56.20 <sup>ab</sup>	143.03 ± 28.96 <sup>ab</sup>	72.00 ± 32.16 <sup>b</sup>	92.63 ± 41.82 <sup>b</sup>

2.2.3 不同 pH 对隆线蚤种群内禀增长率的影响 如表 5 所示,隆线蚤内禀增长率( $r_m$ )在 pH 6 的条件下最大,显著高于其他组 ( $P < 0.05$ );pH 7、8、9 和 10 组之间差异不显著 ( $P > 0.05$ )。周限增长率( $\lambda$ )的趋势与内禀增长率

趋势相同, pH 6 组显著高于其他组 ( $P < 0.05$ );pH 7、8、9 和 10 组之间差异不显著 ( $P > 0.05$ )。平均世代周期( $T$ )pH 6 与 pH 10 组差异显著 ( $P < 0.05$ )。净生殖率( $R_0$ )各组之间差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

表 5 pH 对隆线蚤的种群变动参数的影响  
Table 5 The effects of pH on population dynamics parameters of *D. carinata*

种群变动参数 Population dynamics parameters	pH				
	6	7	8	9	10
内禀增长率 Intrinsic of increase (ind/d)	0.322 5 <sup>b</sup>	0.223 1 <sup>a</sup>	0.234 8 <sup>a</sup>	0.216 2 <sup>a</sup>	0.196 1 <sup>a</sup>
周限增长率 Finite rate of increase (ind/d)	1.380 6 <sup>b</sup>	1.249 9 <sup>a</sup>	1.264 6 <sup>a</sup>	1.241 4 <sup>a</sup>	1.216 7 <sup>a</sup>
平均世代周期 Mean generation time (d)	16.362 9 <sup>b</sup>	22.713 4 <sup>b</sup>	21.233 1 <sup>ab</sup>	19.938 8 <sup>ab</sup>	23.801 9 <sup>a</sup>
净生殖率 Net reproduce rate (ind)	195.885 1 <sup>a</sup>	158.839 5 <sup>a</sup>	146.394 0 <sup>a</sup>	74.586 7 <sup>a</sup>	106.662 8 <sup>a</sup>

### 3 讨论

3.1 温度对隆线蚤生命参数的影响 国内外已有许多学者对隆线蚤进行过研究,其中许典球等描述了隆线蚤生长发育各阶段的外部形态并统计了其生殖量,发现隆线蚤的平均生殖量与平均体长成比例<sup>[3]</sup>,但未探明温度与隆线蚤生长发育之间的关系;黄祥飞曾报道隆线蚤一亚种在 30℃ 条件下,其内禀增长率最大<sup>[11]</sup>,这

与本文研究结果相似。此外, Venkataraman 等在 15 和 35℃ 条件下研究了隆线蚤的胚胎和胚后发育<sup>[12]</sup>。本文是基于相关的研究资料,通过多个生命参数指标,探讨了不同温度(15、20、25、30℃)对隆线蚤生长发育的影响。

温度升高可加快枝角类性成熟,缩短首次产幼蚤的时间,且产幼间隔期也缩短<sup>[13]</sup>,这在其他蚤类的研究中已有类似报道<sup>[14-15]</sup>。邓道贵等研究发现老年低额蚤的内禀增长率主要取

决于前两胎成龄所需的时间及其生殖量,第 3~4 胎成龄的生殖量起次要作用<sup>[15]</sup>;王丹丽等也认为枝角类的内禀增长率主要决定于第一胎所需要的时间和第一成龄的生殖量,第 2~5 胎成龄的生殖量起次要作用<sup>[16]</sup>。在本实验条件下,通过对隆线蚤内禀增长率的计算,可以得出第一怀卵日和第一怀卵量对其内禀增长率具有决定性作用,与总生殖量和生殖间隔期没有关系,该结果印证了王丹丽等<sup>[16]</sup>的研究结果。在本实验温度范围(15~30℃),随着温度升高隆线蚤第一怀卵日、平均生殖间隔期、平均寿命、平均世代周期都明显缩短,而内禀增长率和周限增长率呈显著性上升。因此,温度升高有益于隆线蚤种群的增长,30℃时隆线蚤的内禀增长率最高,且显著高于其他温度组,表明 30℃最适合隆线蚤种群快速增长,相似的报道有 Venkataraman 等<sup>[12]</sup>、Hall<sup>[17]</sup>、梁彦龄等<sup>[18-20]</sup>。虽然在 30℃条件下隆线蚤种群增长最快,但该温度下的死亡率也是最高的。人工培养隆线蚤应综合考虑其生长情况,因此笔者认为 25~28℃比较适宜隆线蚤的人工养殖。

**3.2 pH 对隆线蚤生命参数的影响** pH 是水生生态系统中重要的非生物因子之一。pH 可以通过影响水生生物的存活和繁殖,进而影响其在水体中的分布和多度,最终决定水生群落的物种组成和丰富度。pH 过高或过低都不利于枝角类的生长繁殖。如虱形大眼蚤 (*Polyphemus pediculus*)、小头船卵蚤 (*Scapholebris microcephala*)、矮小锐额蚤 (*Alonella nana*)、小型锐额蚤 (*A. exigua*)、镰角锐额蚤 (*A. excisa*) 等能分布在 pH 3.8 的酸性水体中,而大型蚤则在 pH 7.0 以下就难以生存,秀体尖额蚤 (*A. diaphana*)、直额裸腹蚤 (*Moina rectirostris*) 能生存在 pH 10 的环境中<sup>[21]</sup>。本文研究的隆线蚤存活的 pH 幅度较大,低 pH 对隆线蚤的 24 h 半致死浓度 (LC<sub>50</sub>) 为 5.43,高 pH 对隆线蚤的 24 h 半致死浓度 (LC<sub>50</sub>) 为 10.81。

pH 6 组的隆线蚤内禀增长率和周限增长率显著高于其他组,表明 pH 6 最利于其种群数量的快速增长。pH 7、8、9 和 10 组之间内禀增

长率、周限增长率、平均世代周期和净生殖率均无显著差异 ( $P > 0.05$ ),说明隆线蚤能适应非常宽的 pH 范围。蒋燮治等认为隆线蚤适于在碱性水域中生存<sup>[22]</sup>,与本文隆线蚤在弱酸性水体中繁殖最快的研究结果不完全一致,差异的原因可能是研究方法的不同,蒋燮治等人是根据隆线蚤的生态分布来判断其适宜的 pH。由于弱酸性水体对隆线蚤的生殖有刺激作用,使隆线蚤的繁殖高于平常。同样赵文等发现西藏拟蚤其生存的最适 pH 为 7~8<sup>[8]</sup>,而从生态分布分析西藏拟蚤主要生存在高原碱性 (pH > 9) 水体中。因此根据本文研究结果,结合相关的文献资料,笔者认为隆线蚤最适宜的 pH 在 7~8,弱酸水体尽管能刺激隆线蚤繁殖,但不利于其长期生存,因为种群数量的快速增长必然导致水体中空间、食物等资源的匮乏,从而导致大量蚤体死亡,并恶化水质以至于隆线蚤在该水体中消失,所以笔者建议人工养殖隆线蚤应该把 pH 控制在 7~8。

## 参 考 文 献

- [1] 施心路,鲍双燕,刘桂杰,等. 温度对发头裸腹蚤生殖能力的影响. 水生生物学报,2009,33(2): 200-206.
- [2] 王岩,何志辉. 温度和盐度对蒙古裸腹蚤种群内禀增长能力的影响. 应用生态学报,2001,12(1): 91-94.
- [3] 许典球,廖秀林. 隆线蚤的发育、生长与生殖的初步研究. 内陆水产,1981,2: 6-10.
- [4] 赵文,王超,张路,等. 碱度和 pH 对两品系蒙古裸腹蚤 (*Moina mongolica*) 存活、生长和生殖的影响. 生态学报,2009,29(2): 589-598.
- [5] 堵南山. 甲壳动物学:上册. 北京:科学出版社,1993: 10-87.
- [6] 杨四秀. 枝角类繁殖生物学研究概况. 水利渔业,2004,24(4): 12-14.
- [7] 史新柏. 隆线蚤及其培养. 生物学通报,2000,35(4): 14-17.
- [8] 赵文,霍元子,薛东宁. 碱度和 pH 对西藏拟蚤存活、生长和生殖的影响. 水生生物学报,2007,5(3): 332-338.
- [9] 周永欣,章宗涉. 水生生物毒性实验方法. 北京:农业出版社,1989: 164-167.
- [10] 林昌善. 动物种群动态的理论和实验研究(II): 在一定条件下 *Tribolium confusum* (H.) 的内禀增长能力 ( $r_m$ )

- 的研究. 动物学报, 1964, 16(3): 323 - 328.
- [11] 黄祥飞. 温度对透明溞和隆线溞—亚种发育及其生长的影响. 水生生物学集刊, 1984, 8(2): 207 - 224.
- [12] Venkataraman K, Job S V. Effect of temperature on the development, growth and egg production in *Daphnia carinata* (Cladocera Daphnidae). *Hydrobiologia*, 1980, 68(3): 217 - 224.
- [13] Schwarz S S. Life history strategies in *Daphnia*; a review and predictions. *Oikos*, 1984, 42(2): 114 - 122.
- [14] 钱云霞, 陆开宏, 张晓琴. 温度与食物对老年低额溞种群动态的影响. 浙江海洋学院: 自然科学版, 2001, 20(3): 209 - 212.
- [15] 邓道贵, 靳英, 柳明, 等. 温度和食物浓度对老年低额溞生长与生殖的影响. 水生生物学报, 2006, 30(3): 298 - 303.
- [16] 王丹丽, 李明月, 汪海波, 等. 温度对老年低额溞和蚤状溞的繁殖能力及内禀增长率( $r_m$ )的影响. 宁波大学学报, 1996, 9(1): 36 - 43.
- [17] Hall D J. An experimental approach to the dynamics of a natural population of *Daphnia galeata mendotae*. *Ecology*, 1964, 45(1): 94 - 112.
- [18] 梁彦龄, 张国馨. 隆线溞(*Daphnia carinata*)的内禀增长能力. 水生生物学集刊, 1964, 5(1): 31 - 36.
- [19] 施心路, 于丽杰, 张大维, 等. 微齿喜马拉雅低额溞生长及种群增长的研究. 海洋与湖沼, 1997, 28(3): 262 - 270.
- [20] 王岩, 何志辉, 蔡云. 温度和盐度对蒙古裸腹溞发育的影响. 海洋与湖沼, 2000, 31(1): 8 - 14.
- [21] 何志辉, 秦建光, 王洪起, 等. 晋南和银川地区盐水和超盐水体的浮游动物. 水生生物学报, 1989, 13(1): 24 - 37.
- [22] 蒋燮治, 堵南山. 中国动物志: 淡水枝角类. 北京: 科学出版社, 1979: 101 - 124.