

碱度和 pH 对两品系蒙古裸腹溞 (*Moina mongolica* Daday) 存活、生长和生殖的影响

赵 文^{1,*}, 王 超¹, 张 路¹, 魏 杰¹, 杨为东², 滕力平²

(1. 大连水产学院 生命科学与技术学院, 辽宁省省级高校水生生物学重点实验室, 辽宁 大连 116023;

2. 大连虎滩海洋公园, 辽宁 大连 116001)

摘要: 在温度为 $(25 \pm 0.5)^\circ\text{C}$, 盐度为 31.5 ± 0.5 的条件下, 研究了碱度和 pH 对两品系蒙古裸腹溞的存活、生长和生殖的影响。结果表明, 两品系蒙古裸腹溞在培养液的 pH 6 ~ 8 时, 生长率和存活率显著高于其他各组; 晋南品系的内禀增长率最大为 $0.5758 \text{ ind}\cdot\text{d}^{-1}$, 内蒙品系的内禀增长率最大为 $0.5519 \text{ ind}\cdot\text{d}^{-1}$ 。碱度的实验表明, 两品系蒙古裸腹溞在培养液的碱度为 2.05 到 $4.58 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 生长率和存活率显著高于其他各组; 晋南品系的内禀增长率最大为 $0.5573 \text{ ind}\cdot\text{d}^{-1}$, 内蒙品系的内禀增长率最大为 $0.5376 \text{ ind}\cdot\text{d}^{-1}$ 。在相同的实验条件下, 两品系体长的增长差异不大, 但各生殖参数晋南品系大多高于内蒙品系。两品系蒙古裸腹溞存活的最适 pH 为 6 ~ 8, 最适碱度为 2.05 到 $4.58 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$, 晋南品系对于碱度和 pH 的适应能力大于内蒙品系。

关键词: 蒙古裸腹溞; 地理品系; 碱度; pH; 存活; 生长; 生殖

文章编号: 1000-0933(2009)02-0589-10 中图分类号: Q142, Q145, Q178 文献标识码: A

Effects of alkalinity and pH on the survival, growth and neonate production of two strains of *Moina mongolica* Daday

ZHAO Wen^{1,*}, WANG Chao¹, ZHANG Lu¹, WEI Jie¹, YANG Wei-Dong¹, TENG Li-Ping¹

¹ Life Science and Technology Institute, Key Lab of Hydrobiology in Liaoning Province's University, Dalian Fisheries University, Dalian 116023, China

² Dalian Tiger Beach Amusement Park, Dalian 116001, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(2): 0589 ~ 0598.

Abstract: Effects of alkalinity (ALK) and pH on the survival, growth and reproduction of two strains of *Moina mongolica* (Jinnan and Neimeng strain) were investigated under temperature of $(25 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ and salinity of (31.5 ± 0.5) . In pH experiment, the results showed that growth and survival rate of *M. mongolica* in pH 6—8 groups were significantly higher than those in other groups. The highest intrinsic increase rates (r_m) of Jinnan and Neimeng strain were 0.5758 and $0.5519 \text{ ind}\cdot\text{d}^{-1}$, respectively. In ALK experiment, *M. mongolica* reared at ALK of $2.05 - 4.58 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ showed significantly higher growth and survival rate than those at other ALK groups. The highest r_m of Jinnan and Neimeng strain were 0.5573 and $0.5376 \text{ ind}\cdot\text{d}^{-1}$, respectively. There was no significant difference in growth of body length between two strains of *M. mongolica* under the same experimental condition, while Jinnan strain of *M. mongolica* showed higher reproduction parameters than those of Neimeng strain. The above results indicated that optimal pH and ALK for survival of two strains of *M. mongolica* were pH 6—8 and ALK $2.05 - 4.58 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$, respectively. The adaptability to alkalinity and pH of Jinnan strain of *M. mongolica* is better than that of Neimeng strain.

Key Words: *Moina mongolica* Daday; geographical strains; pH; Alkalinity; survival; growth; reproduction

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30671625)

收稿日期: 2007-09-23; 修订日期: 2008-04-02

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhaowen@dlfu.edu.cn

蒙古裸腹蚤 (*Moina mongolica* Daday) 是大连水产学院首次在国内报道并在海水中驯化成功的一种盐水枝角类, 是一种极具潜力的海水鱼虾类适口活饵料培养对象和新型海洋环境保护监测动物^[1~3]。关于蒙古裸腹蚤的生物学、生态学、营养成分及大规模培养等方面已进行了较系统的研究^[4~12]。目前在科研和生产实践中应用的蒙古裸腹蚤种都是 1982 年采自山西省运城地区(晋南)的硝池(晋南品系)。2002 年 9 月赵文等在内蒙古锡林郭勒盟扎格斯台淖尔采得另一品系的蒙古裸腹蚤(内蒙品系), 在实验室内进行海水驯化也获得成功。

碱度及 pH 是影响水生动物生活的重要环境因子, 但至今有关碱度和 pH 对不同产地的蒙古裸腹蚤生存、生长和生殖的影响尚未见有报道。本文旨在比较不同碱度及 pH 下两品系裸腹蚤的内禀增长率(r_m)和一些种群增长参数, 并确定两品系种群快速增长的最适碱度和 pH 范围, 为筛选蒙古裸腹蚤大规模培养的优良蚤种提供一些理论依据。

1 材料和方法

1.1 蚤种来源

试验所用的两品系蒙古裸腹蚤分别为晋南品系和内蒙品系, 已在实验室内驯化到海水中能够正常生长繁殖。试验开始前取两品系蒙古裸腹蚤雌蚤各 1 只, 在 25℃, 盐度 31.5, pH 8.2 条件下培养, 待孤雌生殖第一代后, 将母蚤吸出, 继续培养幼蚤, 待其生殖后继续单独保留幼体, 反复培养, 以获得试验所需的同步性良好的幼蚤, 避免由于个体差异对试验结果产生影响。

1.2 实验条件和测定方法

实验用海水取自大连黑石礁近海, 经沉淀和砂滤处理后再用 300 目的筛绢网过滤和煮沸消毒, 并用消毒过的淡水将盐度调至 31.5 (海水煮沸消毒会使盐度升高), pH 为 8.2。光照 14h, 黑暗 10h, 光强 2000 ~ 3000lx。以海水小球藻 (*Chlorella* sp.) 作为食物, 密度保持在 0.5×10^6 cell/ml。所有实验均用 60ml 广口瓶, 装入相应的实验培养液 50ml, 用 pHB-3 型精密酸度计测定 pH; 用 ATAGO S-10 SALT(0 ~ 100‰) 盐度计测定盐度; 碱度采用酸碱滴定法, 以甲基橙和酚酞作为指示剂。用 Olympus 显微镜测量蚤体长和观察其生长生殖情况。

1.3 碱度和 pH 对两品系蒙古裸腹蚤生存、生长和生殖的影响

两品系蒙古裸腹蚤分别在碱度(2.05 ± 0.48) mmol·L⁻¹的条件下, 用 NaOH 和 HCl 调配成 6.0、7.0、8.0、9.0、10.0 5 个 pH 梯度, 每个梯度设置 10 个重复, 每瓶放入新生幼蚤 1 只。

两品系蒙古裸腹蚤分别在 pH 为 8.2 ± 0.05 的条件下, 用 NaHCO₃ 和 Na₂CO₃ 调配 3.04、4.58、6.43、7.92 和 8.98 mmol·L⁻¹ 5 个碱度梯度和 1 个对照组 2.05 mmol·L⁻¹。每个梯度设置 10 个重复, 每瓶放入新生幼蚤 1 只。

实验期间每天观察蒙古裸腹蚤的生长和生殖的情况并及时吸走新生幼蚤, 同时测定并调节 pH 和碱度, 使 pH 波幅平均小于 ± 0.05 , 碱度的波幅平均小于 ± 0.15 mmol·L⁻¹。隔天换 1 次水。各实验组均进行到蒙古裸腹蚤全部死亡为止。实验期间测量了蒙古裸腹蚤的体长, 记录了产幼前发育期、二次生殖间隔、生殖率、生殖量、一生生殖次数和寿命等生殖参数。为了获得两品系蒙古裸腹蚤繁殖能力的综合指标, 根据实验的数据编制两品系各自的 pH 和碱度组的生命表, 按下式计算内禀增长率和其他有关的种群增长参数:

$$\sum_{x=0}^{\infty} e^{-r_m x} l_x m_x = 1 \quad \lambda = e^{r_m}$$

$$T = \sum_{x=0}^n x m_x l_x / R_0 \quad R_0 = \sum_{x=0}^n l_x m_x \quad r_m = \ln R_0 / T$$

式中, r_m 为内禀增长率, x 为龄期, l_x 为 x 龄开始时的存活率, m_x 为 x 龄开始时的出生率, R_0 为净增殖率, T 为世代时间, λ 为周限增长率。

应用 spss13.0 对数据进行方差分析和 Duncan 多重比较。

2 结果

2.1 pH 对两品系蒙古裸腹蚤的影响

2.1.1 pH 对两品系蒙古裸腹蚤存活的影响

从图 1 可知,pH 对内蒙品系存活率的影响要大于晋南品系。晋南品系从蚤的第 6 龄开始出现明显差异 ($P < 0.05$)。但 pH 6 到 pH 8 的实验组差异并不明显,pH 9 和 pH 10 的实验组差异也较小。pH7 时蚤的存活率最高。半数死亡时的寿命 pH 7 ~ pH 8 最高 (15.5d),pH 6 次之(15d),pH 10 最低(8d)。内蒙品系从蚤的第四龄就开始出现显著差异 ($P < 0.05$)。pH 9 和 pH 10 的实验组在第 6 天也开始出现明显差异。pH 6 到 pH 8 的实验组差异不明显,但 pH 7 时的存活率相对较高。半数死亡时的寿命 pH7 时 最高 (16.5d),pH 6 和 pH 8 次之(16d),pH 10 最低(9d)。

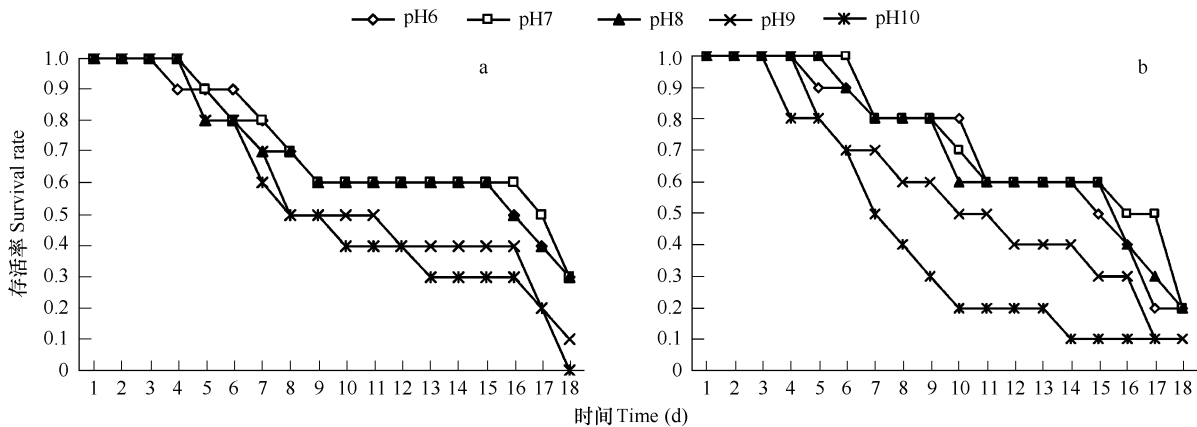


图 1 晋南品系蒙古裸腹蚤(a)和内蒙品系蒙古裸腹蚤(b)在不同 pH 下的存活率

Fig.1 Survival rate of two strains of *Moina mongolica*(Jinnan strain(a) and Neimeng strain(b)) at different pH

2.1.2 pH 对两品系蒙古裸腹蚤生长的影响

从图 2 可知 pH 对两品系生长的影响趋势基本相同。两品系在第 4 龄以后都表现出比较稳定的生长趋势。各组在 pH 为 6 到 7 的培养液中的生长都高于其他各组。随着年龄的增长生长减缓的趋势。

晋南品系 pH 8 的培养液中生长最快,并且性成熟时的最大体长 987.6 μm 和一生的最大体长 1364.4 μm ; 在 pH 10 的培养液中生长最慢。内蒙品系在 pH 10 的培养液中生长最慢;pH 7 的实验组中生长最快,并且

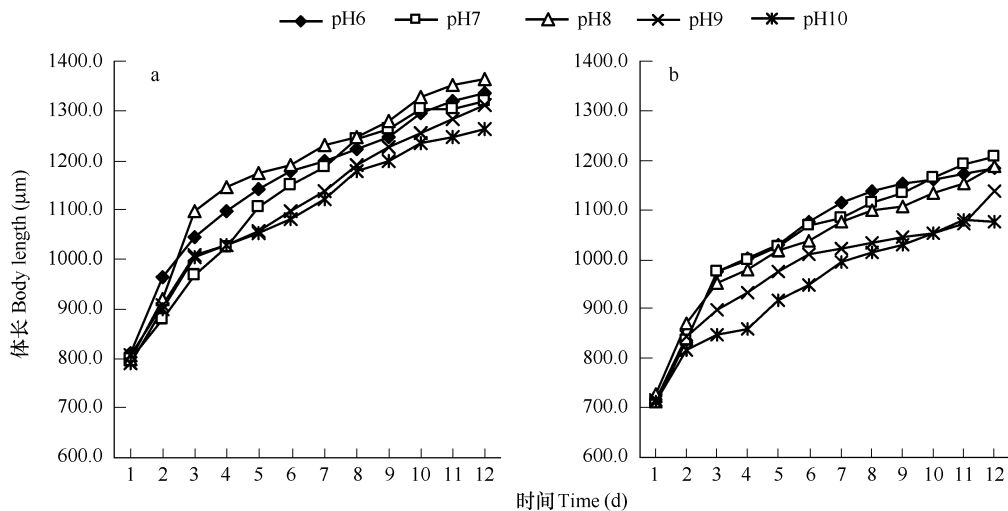


图 2 不同 pH 下晋南(a)和内蒙(b)品系蒙古裸腹蚤的体长的变化

Fig.2 Body length of two strains of *Moina mongolica*(Jinnan strain(a) and Neimeng strain(b)) at different pH

性成熟时的最大体长 $974.4\mu\text{m}$ 和一生的最大体长 $1206\mu\text{m}$ 。

2.1.3 pH 对两品系蒙古裸腹溞生殖和寿命的影响

从图 3 可知,晋南品系的平均生殖次数在 pH 6 到 pH 8 的实验组与 pH 10 的实验组差异显著 ($P < 0.05$),内蒙品系的各实验组之间的差异不显著。但两品系在 pH 7 的实验组的平均生殖次数皆为最高。晋南品系的平均寿命在 pH 6 和 pH 10 组差异显著 ($P < 0.05$),其他各组之间的差异都不显著。内蒙品系的各组之间的差异不显著。两品系最高的平均寿命都出现在 pH 7 组。

两品系的总生殖量均是 pH 6 到 pH 8 实验组与 pH 10 组差异显著 ($P < 0.05$)。总生殖量最高的都是在 pH 7 组。

晋南品系的产前发育期 pH 6 到 pH 8 的实验组与 pH 10 的实验组差异显著 ($P < 0.05$),内蒙品系 pH 6 到 pH 9 的实验组与 pH 10 的实验组差异显著 ($P < 0.05$)。pH 7 组两品系产前发育期均最短。

pH 对于两品系蒙古裸腹溞的 4 个生殖参数的影响基本处于相同的趋势。都在 pH 7 的实验组达到各参数组的最优良的数值,两品系 pH 6 到 pH 9 的实验组均无显著差异,而与 pH 10 的差异比较大。

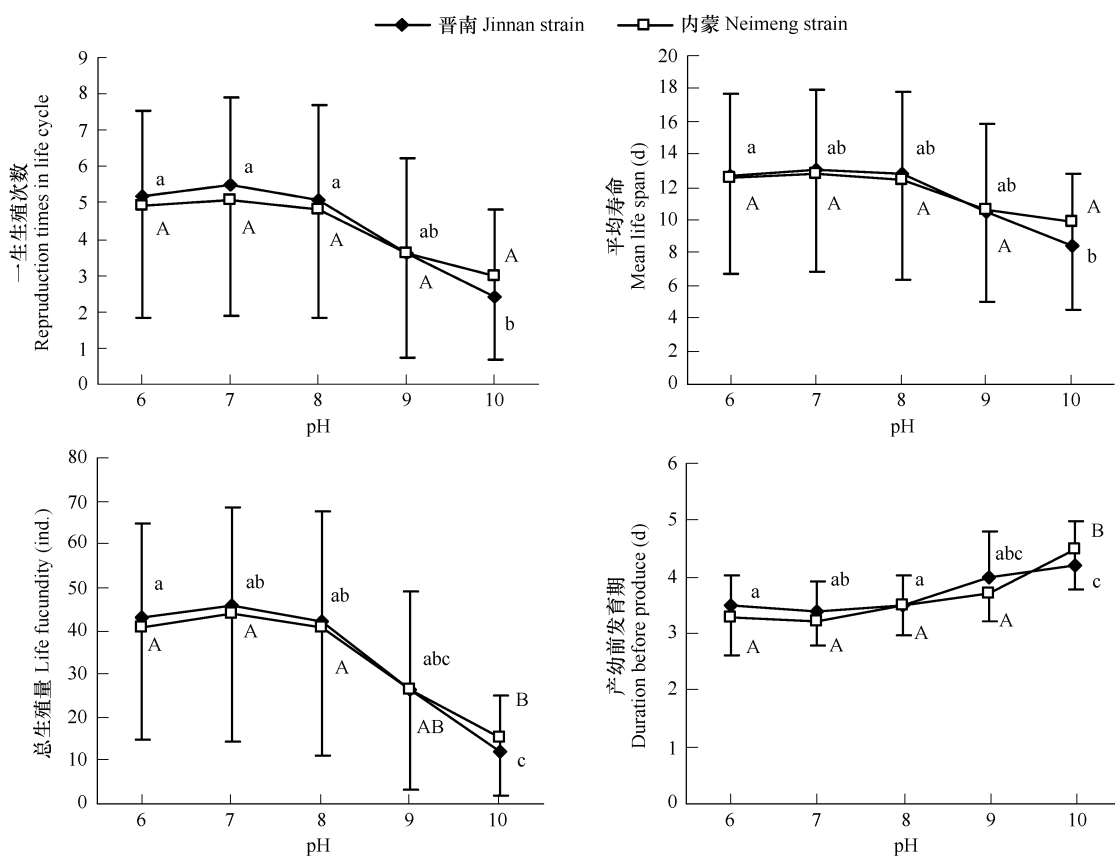


图 3 pH 对两品系蒙古裸腹溞各生殖参数的影响

Fig. 3 The effects of PH on the reproductive parameters of two strains of *Moina mongolica*

图中同一品系不同字母表示组间有显著差异 ($P < 0.05$),小写字母表示晋南品系、大写字母表示内蒙品系 The values of different superscripts in figure are significantly difference ($P < 0.05$); capital: Jinnan strain; lowercase: Neimeng strain

内禀增长率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,它能比较全面的概括种群的增长能力。从表 1 和 2 可知,晋南品系在 pH 7 的实验组 r_m 最大为 $0.5519 \text{ ind} \cdot \text{d}^{-1}$, pH 10 时最低为 $0.3934 \text{ ind} \cdot \text{d}^{-1}$ 。内蒙品系也是在 pH 7 的条件下 r_m 最大,为 $0.5758 \text{ ind} \cdot \text{d}^{-1}$, pH 6 到 pH 8 的实验组相近, pH 10 时的 r_m 最低为 $0.3478 \text{ ind} \cdot \text{d}^{-1}$ 。两品系在随着梯度的不同而变化的趋势上基本相同,都在 pH 等于 6 到 8 的实验组 r_m 相似且较高,而在 pH 为 9 和 10 的实验组 r_m 较低。周限增长率、平均世代周期、净生殖率也表现

出与内禀增长率相同的趋势。综合看来 pH 6 到 pH 8 是蒙古裸腹蚤繁殖的最适 pH 范围。

pH 对两品系蒙古裸腹蚤各成龄期的平均累积产幼量的影响见图 4, 都呈现出 pH 7 组平均累积产幼量最高。

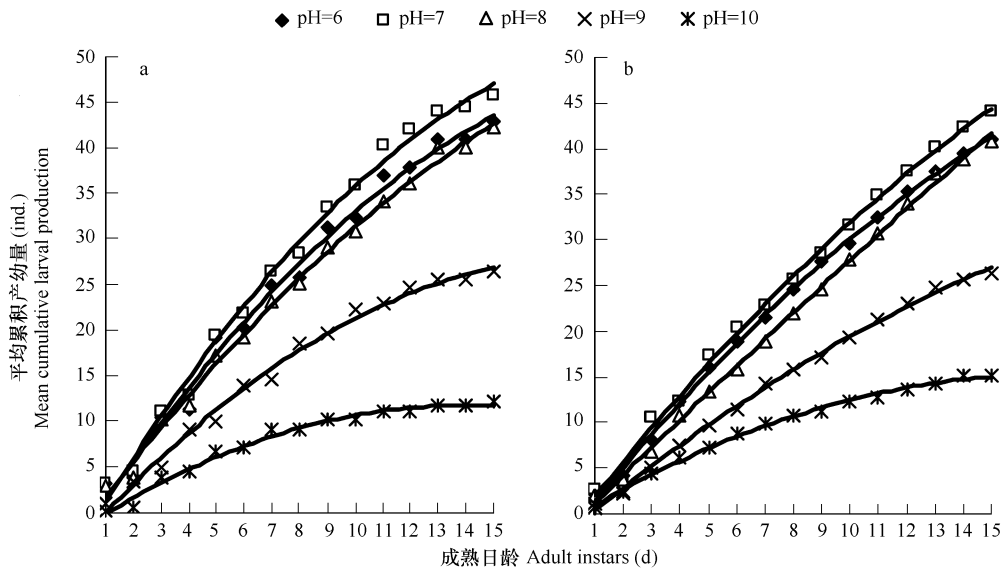


图 4 pH 对晋南品系(a)和内蒙(b)品系蒙古裸腹蚤成龄龄数-平均累积产幼数的影响

Fig.4 The effect of pH on cumulative number of larvae and mature instars of two strains of *Moina mongolica*

表 1 pH 对晋南品系蒙古裸腹蚤种群增长参数的影响

Table 1 The effects of pH on the population growth parameters of Jinan strain of *M. mongolica*

种群增长参数 Population growth parameters	pH				
	6	7	8	9	10
内禀增长率 r_m (ind·d ⁻¹)	0.5338	0.5519	0.5079	0.4377	0.3934
周限增长率 λ (ind·d ⁻¹)	1.7054	1.7365	1.6617	1.5492	1.4820
平均世代周期 T (d)	6.95	6.86	7.30	7.48	6.90
净生殖率 R_0 (ind)	40.90	44.00	40.70	26.40	15.10

表 2 pH 对内蒙品系蒙古裸腹蚤种群增长参数的影响

Table 2 The effects of PH on the population dynamics parameters of Neimeng strain of *M. mongolic*

种群增长参数 Population growth parameters	pH				
	6	7	8	9	10
内禀增长率 r_m (ind·d ⁻¹)	0.5613	0.5758	0.5525	0.4618	0.3478
周限增长率 λ (ind·d ⁻¹)	1.7530	1.7785	1.7375	1.5869	1.4159
平均世代周期 T (d)	6.70	6.64	6.78	7.10	7.19
净生殖率 R_0 (ind)	42.90	45.80	42.30	26.50	12.20

2.2 碱度对两品系蒙古裸腹蚤的影响

2.2.1 碱度对两品系蒙古裸腹蚤存活的影响

碱度对于两品系蒙古裸腹蚤存活率的影响基本相似(图 5)。晋南品系碱度从对照组到 4.58 mmol·L⁻¹之间的存活率相对其他各组更高,特别是到第 10 龄以后更为显著。蚤的存活率在碱度对照组到 4.58 mmol·L⁻¹之间的变化并不明显,但碱度等于 3.04 mmol·L⁻¹时的存活率相对较高。碱度在 6.43 mmol·L⁻¹到 8.98 mmol·L⁻¹之间在 10 龄以前变化并不明显,但在十龄以后随碱度的增高蚤的存活率递减。半数死亡时的寿命,对照组到 4.58mmol·L⁻¹均为 15.5d, 6.43mmol·L⁻¹组 14d, 7.92mmol·L⁻¹组 10.5d, 8.98mmol·L⁻¹

组 10d。

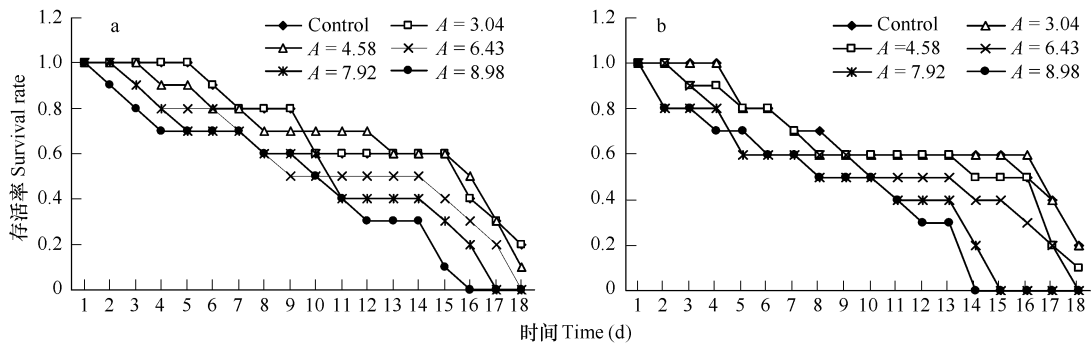


图 5 晋南品系蒙古裸腹溞(a)与内蒙品系蒙古裸腹溞在不同碱度下的存活率(b)

Fig. 5 Survival rate of two strains of *Moina mongolica* (Jinnan strain(a) and Neimeng strain(b)) at different alkalinities

内蒙品系也是碱度在对照组到 4.58 mmol·L⁻¹之间的存活率明显高于其他各组。溞的存活率在对照组到 4.58 mmol·L⁻¹之间在 13 龄之前差异不大,在 13 龄以后碱度为 4.58mmol·L⁻¹的实验组存活率降低。碱度在 6.43mmol·L⁻¹到 8.98mmol·L⁻¹之间的实验组在 10 龄以后表现出随碱度的增高溞的存活率下降的现象。半数死亡时的寿命按碱度依次均为 16,16.5,14,10,8d 和 8d。

2.2.2 碱度对两品系蒙古裸腹溞生长的影响

从图 6 可知,晋南品系在碱度为 2.05mmol·L⁻¹ (对照组)到 3.04mmol·L⁻¹的培养液中的生长差异很小,而且生长率明显高于其他各组。在碱度为 6.43mmol·L⁻¹到 8.98mmol·L⁻¹的培养液中的生长有随着碱度的增高而逐渐降低的趋势。在碱度为 8.98mmol·L⁻¹的培养液中的增长率最低。性成熟时的最大体长和一生最大体长都出现在碱度为 3.04 mmol·L⁻¹的实验组,分别为 958.8μm 和 1200μm。

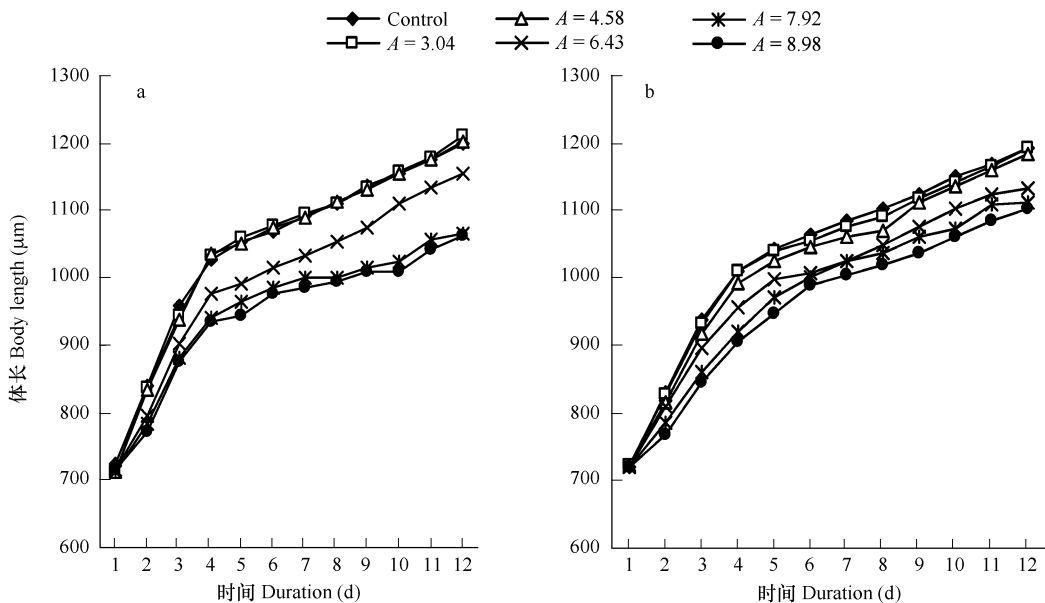


图 6 不同碱度下晋南(a)和内蒙(b)品系蒙古裸腹溞的体长的变化

Fig. 6 Body length of two strains of *Moina mongolica* (Jinnan strain(a) and Neimeng strain(b)) at different alkalinitise

内蒙品系在碱度为 3.04 mmol·L⁻¹的培养液中生长最快,在碱度 2.05mmol·L⁻¹ (对照组)到 4.58 mmol·L⁻¹的培养液中生长率高于其他各组。各组在 4 龄以后的生长比较稳定。在碱度为 6.43 mmol·L⁻¹到 8.89mmol·L⁻¹的培养液中的生长也有随着碱度的增长而逐渐降低的趋势。性成熟时的最大体长和一生最大体长都出现在碱度为 3.04 mmol·L⁻¹的实验组,分别为 931.2 μm 和 1190 μm。

两品系的蒙古裸腹蚤都有在幼龄期及繁殖初期第 1、2 成龄体长迅速增长,而后增长速度减缓的情况,而且在 4 龄以后两品系的增长都比较稳定,从总体上碱度对两品系的生长的影响比较相似。

2.2.3 碱度对两品系蒙古裸腹蚤生殖的影响

从图 7 可知,两品系的平均生殖次数和平均寿命在各实验组之间的差异都不显著。但两品系在碱度 $2.05\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 到 $4.58\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的范围内平均生殖次数较高。

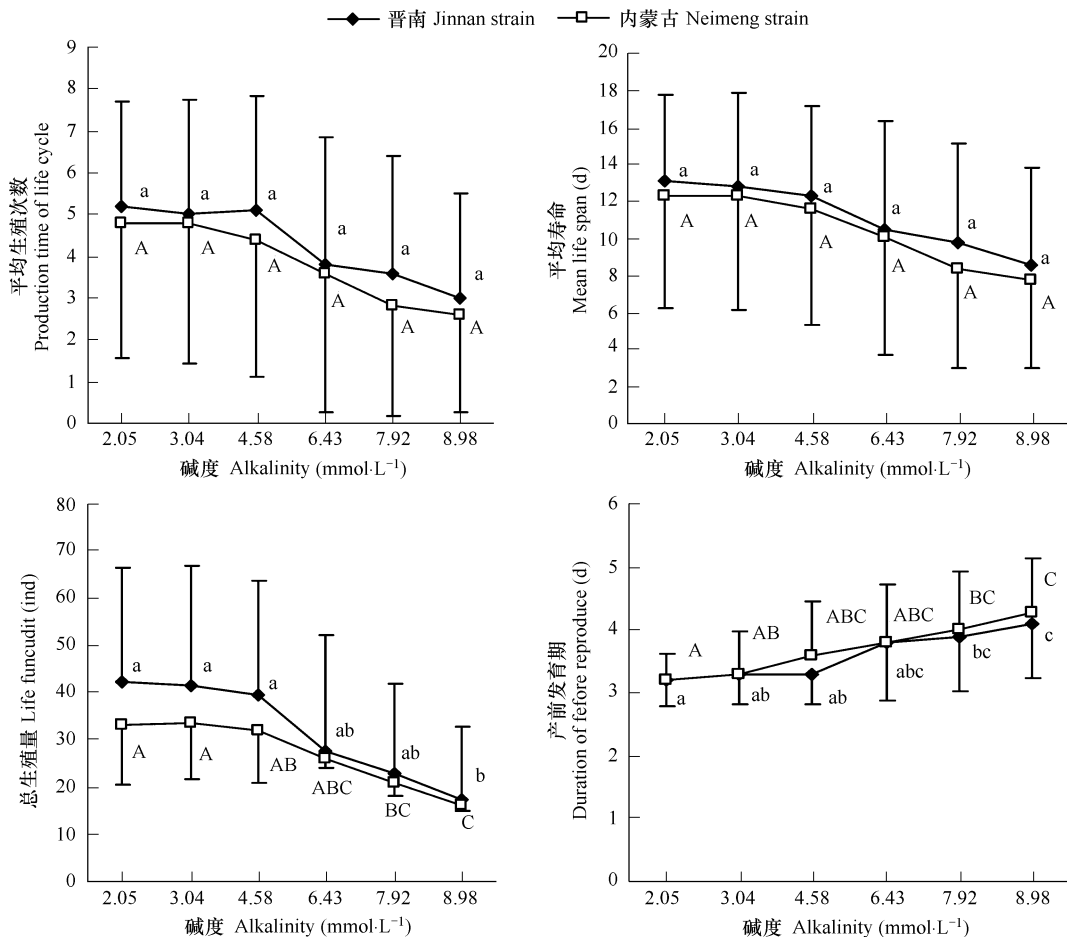


图 7 碱度对两品系蒙古裸腹蚤各生殖参数的影响

Fig. 7 The effects of alkalinitise on the reproductive parameters of two strains of *Moina mongolica*

图中同一品系不同字母表示组间有显著差异 ($P < 0.05$),小写字母表示晋南品系、大写字母表示内蒙品系 The values of different superscripts in figure are significantly difference ($P < 0.05$); capital: Jinnan strain; lowercase: Neimeng strain

晋南品系的总生殖量,碱度 $2.05\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 组到 $4.58\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 组与碱度 $8.98\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 组差异显著 ($P < 0.05$),内蒙品系也是碱度 $2.05\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 到 $4.58\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的实验组与碱度 $8.89\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的实验组差异显著 ($P < 0.05$)。

两品系的产前发育期的组间差异性呈现相同趋势,碱度 $2.05\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 到 $4.58\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 组与碱度 $8.89\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 组差异显著 ($P < 0.05$),碱度 $2.05\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 组与碱度 $7.92\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 组差异显著 ($P < 0.05$)。

碱度对两品系蒙古裸腹蚤的四种生殖参数的影响趋势基本相同。都是在碱度 $2.05\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ (对照组) 到 $4.58\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 实验组差异较小而且高于碱度 $6.43\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 到 $8.98\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的实验组。在 4 个生殖参数中都是晋南品系处于较高的参数水平。

碱度对两品系蒙古裸腹蚤各成龄期的平均累积产幼量的影响见图 8,也呈现出碱度 $3.04 \sim 4.58\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 组平均累积产幼量较大。两品系呈现相同的趋势。

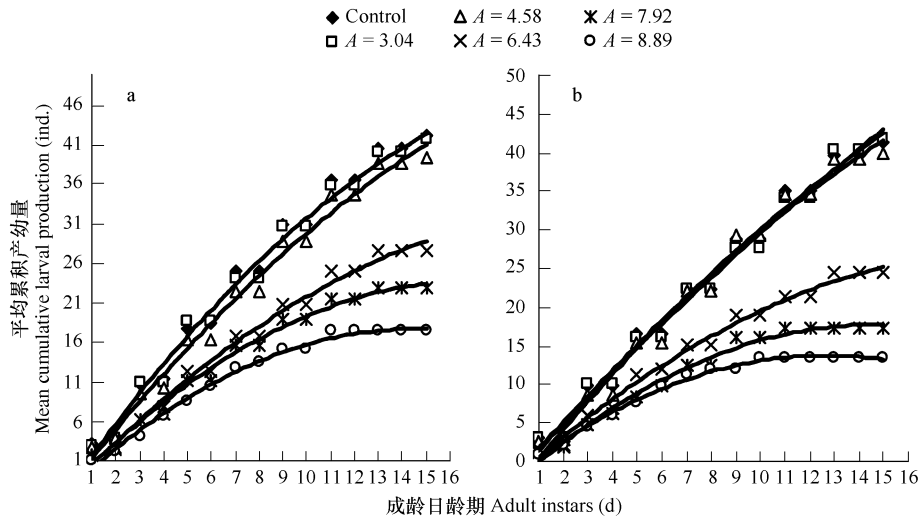


图 8 碱度对晋南品系(a)和内蒙品系(b)蒙古裸腹蚤成龄龄数对平均累积产卵数的影响

Fig. 8 The effect of alkalinitise on cumulative number of eggs and mature instars of two strains of *Moina mongolica*

从表 3 和 4 可知,两品系蒙古裸腹蚤种群参数随着碱度梯度的变化表现出相同的趋势。碱度在 2.05mmol·L⁻¹ (对照组)到 4.58mmol·L⁻¹ 的实验组内禀增长率的变化不大,而在碱度为 6.43mmol·L⁻¹ 以后则显著降低。晋南品系的最大内禀增长率出现在对照组,为 0.5573 ind·d⁻¹,内蒙品系出现在 3.04mmol·L⁻¹ 实验组,为 0.5376 ind·d⁻¹,两品系的内禀增长率的最低值都出现在碱度为 8.98mmol·L⁻¹ 的实验组,分别为 0.4151ind·d⁻¹和 0.4037ind·d⁻¹。周限增长率、平均世代周期、净生殖率也表现出与内禀增长率相同的趋势。综合看来碱度 2.05mmol·L⁻¹到 4.58mmol·L⁻¹是蒙古裸腹蚤繁殖的最适碱度范围。

表 3 碱度对晋南品系蒙古裸腹蚤的种群增长参数的影响

Table 3 The effects of alkalinitise on the population growth parameters of Jinan strain of *M. mongolica*

种群参数 Parameters	碱度 Alkalinity (mmol·L ⁻¹)					
	2.05	3.04	4.58	6.43	7.92	8.98
内禀增长率 r_m (ind·d ⁻¹)	0.5573	0.5535	0.5359	0.4675	0.4586	0.4151
周限增长率 λ (ind·d ⁻¹)	1.7459	1.7394	1.7090	1.5961	1.5819	1.5145
平均世代周期 T (d)	6.72	6.74	6.86	7.10	6.82	6.88
净生殖率 R_0 (ind)	44.90	41.70	39.50	27.70	22.80	17.40

表 4 碱度对内蒙品系蒙古裸腹蚤的种群变动参数的影响

Table 4 The effects of alkalinitise on the population growth parameters of Neimeng strain of *M. mongolica*

种群参数 Parameters	碱度 Alkalinity (mmol·L ⁻¹)					
	2.05	3.04	4.58	6.43	7.92	8.98
内禀增长率 r_m (ind·d ⁻¹)	0.5368	0.5376	0.5192	0.4539	0.4164	0.4037
周限增长率 λ (ind·d ⁻¹)	1.7105	1.7120	1.6807	1.5745	1.5166	1.4974
平均世代周期 T (d)	6.94	6.94	7.10	7.06	6.86	6.45
净生殖率 R_0 (ind)	41.40	41.80	39.90	24.60	17.40	13.50

3 讨论

3.1 pH 对两品系蒙古裸腹蚤生存、生长和生殖的影响

pH 的变化影响水生动物对氧的利用效率,pH 过高或过低都会提高动物的窒息点,降低对低氧的耐受力,通过对呼吸和代谢的作用从而影响动物的摄食、生长、发育、生殖和存活等^[13]。Виноградов 在其综述中指出,安全生活的 pH 幅度,海洋动物约为 7.6~8.4,内陆盐水和河口动物约为 6.5~9,淡水动物约为 5~9^[14]。

枝角类中有少数的耐酸性种类(*Polypheumus pediculus*, *Alonella nana*, *A. exigua*, *Chydorus sphaerious* 等)可在 pH 3.8 ~ pH 4.4 的酸性水体出现。但多数种类都出现在 pH 5 ~ pH 6 以上水体^[15]。枝角类对碱性环境的适应性较强,在我国三北地区内陆盐水中出现的 pH 高限达到 9.9 ~ 10.1^[2]。

在能适应的 pH 范围内,淡水动物生长、发育和生殖的最适 pH 值多在 7 ~ 8 之间。蒙古裸腹蚤的存活率、寿命、生长和生殖的各项指标也是在 pH 7 ~ pH 8 时最佳,pH 6 稍次之,9 ~ 10 较差,与大多数淡水动物相近。另一种盐水枝角类——西藏拟蚤最适的 pH 值也是 7 ~ 8^[16],看来,由于内陆盐水 pH 动态与淡水水体相似,盐水浮游动物对 pH 的要求可能与淡水浮游动物相近。

3.2 碱度对蒙古裸腹蚤生存、生长和生殖的影响

水的碱度对 pH 值的变化有缓冲作用,从而维持水体中 pH 的相对稳定,有利于水生生物的生活;一定的碱度值可促进有机物的分解,增强水的肥力,由于和许多重金属离子生成络合物,还能降低重金属对水生生物的毒性,抑制水生生物的生长、发育甚至致死^[13]。枝角类对高碱度的适应能力实验资料还很少,但据三北地区内陆盐水的调查,大型蚤和长刺蚤可在碱度 67.0 mmol·L⁻¹ 出现,对刺裸腹蚤可在 35.9 mmol·L⁻¹ 出现^[2]。1992 年 6 月内蒙黄旗海碱度高达 45.04 mmol·L⁻¹。鱼类大量死亡时,蒙古裸腹蚤大量繁殖形成优势种。而据赵文等的实验研究,碱度对西藏拟蚤 24 h 和 48 h 的半致死浓度分别达到 529.43 mmol·L⁻¹ 和 503.69 mmol·L⁻¹^[16]。可见枝角类对高碱度的适应能力是相当强的。

碱度对水生动物生长、发育、生殖等影响的资料更少。Huet 在《养鱼教科书》中提出:碱度 < 0.1 mmol·L⁻¹ 时鱼池生产力极低,0.1 ~ 0.3 mmol·L⁻¹ 时生产力低,0.3 ~ 1.5 mmol·L⁻¹ 时生产力中等,1.5 ~ 3.5 mmol·L⁻¹ 生产力随碱度升高而升高,> 3.5 mmol·L⁻¹ 养鱼效果反而降低^[13]。以上虽是反映鱼池浮游动物生活环境的碱度指标,也就是说 3.5 mmol·L⁻¹ 左右可能是淡水池塘习见枝角类和其他浮游动物最适的碱度值。

本实验表明,蒙古裸腹蚤的存活率、寿命、生长发育和生殖的各项指标都是在碱度 2.05 ~ 4.58 mmol·L⁻¹ 时最佳,碱度 6.43 ~ 8.98 mmol·L⁻¹ 各项指标都有递降的趋势。看来盐水种蒙古裸腹蚤在海水中生活的最适碱度上限约为 4.58 ~ 6.43 mmol·L⁻¹ 之间,明显高于淡水枝角类,这是对盐水碱度较高的适应。西藏拟蚤生活的最适碱度值达到 4.75 ~ 18.9 mmol·L⁻¹,更是对于苏打型盐湖碱度极高的生境的一种适应。

3.3 pH 和碱度对两品系蒙古裸腹蚤存活、生长和生殖影响上的差别

本实验表明,虽然 pH 和碱度对两品系蒙古裸腹蚤存活、生长和生殖的影响表现相同的趋势,但两者还是有明显差别的。首先在同样的 pH 或碱度条件下,晋南品系的生长和生殖指标及种群增长率都高于内蒙品系,其次 pH 和碱度对内蒙品系的影响在许多方面要大于对晋南品系的影响,显示晋南品系的生活力和适应力要高于内蒙品系。这种情况不能用原栖所环境的差异来解释,因为晋南硝池和内蒙扎格斯台淖尔在盐度、pH 和碱度等方面的差异并不大,主要原因应是两者在海水中驯养时间的长短所致。晋南品系 1982 年^[1]即在黑石礁海水中驯养,迄今已 20 多年了,内蒙品系 2002 年才在实验室驯养,不过 5a 时间,前者已充分适应了海水中的生活条件,后者尚在适应阶段。赵文等研究温度对两品系蒙古裸腹蚤种群增长和生殖的影响中,也得出同样的结果^[17]。

References:

- [1] He Z H, Qin J G, Wang Y. Occurrence and distribution of *Moina mongolica* Daday in China. J. Dalian Fish Univ., 1988, 3 (2): 9-14.
- [2] Zhao W, Jiang H, He Z H. Planktonic crustaceans of inland saline waters in Sanbei District, Northern, China. Journal of Dalian Fisheries University, 1996, 11(1): 1-13.
- [3] He Z H, QIN J G, Wang Y, Jiang H, Zhao W. Biology of *Moina mongolica* (Moinidae, cladocera) and perspective as live food for marine fish larvae: review. Hydrobiologia, 2001, 457: 25-37.
- [4] He Z H, Liu Y P, Han Y. Effects of temperature and salinity on the growth, reproduction and intrinsic increasing rate of *Moina mongolica* Daday. J Dalian Fish Univ, 1988, 3 (2): 1-8.
- [5] He Z H, Jiang X S. Salinity adaptability of *Moina mongolica* Daday under different temperature. J Dalian Fish Univ, 1990, 5 (2): 1-8.
- [6] He Z H, Zhang X L, Ayiguli. A limited temperature and optimal temperature of *Moina mongolica* Daday in marine waters. J Dalian Fish Univ,

- 1994,9(3):1-7.
- [7] Wang Y. The effect of temperature on oxygen consumption rates in *Moina mongolica* Daday. Journal of Shantou University, 1999,14(1):59-63.
- [8] Wang Y, He Z H, Cai Y. Effects of temperature and salinity on development of *Moina mongolica* Daday (Cladocera: Moinidae). Oceanologia et Limnologia Sinica, 2000, 31(1): 8-14.
- [9] Effect of temperature and salinity on intrinsic increasing rate of *Moina mongolica* Daddy (Cladocera: Moinidae) population. Chinese Journal of Applied Ecology, 2001, 12(1): 91-94.
- [10] An Y X, He Z H. Toxicity of 4 species heavy metal on *Moina mongolica* in marine waters. Journal of Fisheries of China, 1991, (4): 273-282.
- [11] Tong S Y, Lin C H, Wang X T. Analysis and appraisalment of nutrient compositions for *Moina mongolica* Daday. J Dalian Fish Univ, 1988, 3(4): 29-34.
- [12] He Z H, Wang Y, Cui H, Guo L Z, Qian H. Studies on the mass culture of *Moina mongolica* in seawater. Journal of Fisheries of China, 1998, 22(supp.): 17-23.
- [13] Lei Y Z. Water Chemistry of Freshwater Aquaculture. Nanning: Guangxi Science and technology Press, 1993. 65-77, 114-116, 164-166.
- [14] Виноградов Г А. Процессы ионной регуляции у пренюводных рыб и беспозвоночных. Физиология, биохимия и Токсикология Пренюводных Животных Л: Наука с, 1900, 3-28.
- [15] Мануйлова Е Ф. Ветвистоусые рачки (Cladocera) Фауны СССР: 1964, 57-59. Издательство «Наука», Москва.
- [16] Zhao W., Huo Y Z, Xue D N. Effects of alkalinity and pH on the survival, growth and neonate production of *Daphniopsis tibetana* Sars. Acta Hydrobiologia Sinica, 2007, 31(3): 16-22.
- [17] Zhao W, Xu X Z, Wang C, He Z H. Effects of temperature on population growth and reproduction of two strains of *Moina mongolica* Daday (Cladocera: Moinidae). Journal of Lake Sciences, 2004, 16(4): 365-370.

参考文献:

- [1] 何志辉, 秦建光, 王岩. 蒙古裸腹溞在我国发现及其分布. 大连水产学院学报, 1988, 2: 9-14.
- [2] 赵文, 姜宏, 何志辉. 三北地区内陆盐水的浮游甲壳类. 大连水产学院学报, 1996, 11(1): 1-13.
- [4] 何志辉, 刘治平, 韩英. 盐度和温度对蒙古裸腹溞生长、生殖和内禀增长率的影响. 大连水产学院学报, 1988, 3(2): 1-8.
- [5] 何志辉, 蒋响生. 不同温度下蒙古裸腹溞对盐度变化的适应能力. 大连水产学院学报, 1990, 5(2): 1-8.
- [6] 何志辉, 张雪亮, 阿依古丽. 蒙古裸腹溞在海水中的极限温度和最适温度. 大连水产学院学报, 1994, 9(3): 1-7.
- [7] 王岩. 温度对蒙古裸腹溞耗氧率的影响. 汕头大学学报(自然科学版), 1999, 14(1): 59-63.
- [8] 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.
- [9] 王岩, 何志辉. 温度和盐度对蒙古裸腹溞种群内禀增长能力的影响. 应用生态学报, 2001, 12(1): 91-94.
- [10] 安育新, 何志辉. 海水中四种重金属对蒙古裸腹溞的毒性. 水产学报, 1991, (4): 273-82.
- [11] 童圣英, 林成辉, 王学涛. 蒙古裸腹溞营养成分分析与评价. 大连水产学院学报, 1988, 3(4): 29-34.
- [12] 何志辉, 王岩, 崔红, 郭礼中, 钱红. 海水中大量培养蒙古裸腹溞的研究. 水产学报, 1998, 22(增刊): 17-23.
- [13] 雷衍之. 淡水养殖水化学. 南宁: 广西科学技术出版社, 1993. 65-77, 114-116, 164-166.
- [16] 赵文, 霍元子, 薛东宁. 碱度和 pH 对西藏拟溞的存活、生长和生殖的影响. 水生生物学报, 2007, 31(3): 16-22.
- [17] 赵文, 徐宪仲, 王超, 何志辉. 温度对两品系蒙古裸腹溞 (*Moina mongolica* Daday) 种群增长和生殖的影响. 湖泊科学, 2004, 16(4): 365-370.