

DOI: 10.3724/SP.J.1035.2010.00694

Cu²⁺和 Zn²⁺对西藏拟溞存活、生长和生殖的影响

赵文 霍元子 贾旭颖

(大连海洋大学生命科学与技术学院, 辽宁省水生生物学重点实验室, 大连 116023)

摘要: 在温度(15±0.5)°C, 盐度 15.5±0.5 的条件下, 研究了 Cu²⁺和 Zn²⁺对西藏拟溞(*Daphniopsis tibetana* Sars) 存活、生长和生殖的影响。结果表明, 西藏拟溞在各 Cu²⁺活度组中的存活率差异不显著, 而在 10^{-8.60} mol/L 组中的体长增长率显著高于其他各组。当水环境中 Cu²⁺活度为 10^{-8.30} 和 10^{-8.13} mol/L 时, 西藏拟溞的内禀增长率(r_m)为 0.2211 和 0.2171/d, 显著高于对照组, 而西藏拟溞在不同 Cu²⁺活度组中的产卵率均高于对照组, 为 0.9705—1.1742。西藏拟溞在各 Cu²⁺活度组中的存活率和生长率差异均不显著。当 Zn²⁺活度为 10^{-7.04}—10^{-6.82} mol/L 时, 西藏拟溞的 r_m 为 0.2249—0.2296/d, 显著高于对照组。西藏拟溞在 Zn²⁺活度为 10^{-7.04} mol/L 组中的产卵率最大, 为 1.0178, 10^{-6.82} mol/L 组次之, 为 0.867。当 Zn²⁺活度为 10^{-7.04}—10^{-6.82} mol/L 时, 西藏拟溞一生生殖次数显著高于对照组(1.58), 为 1.92—2.17 次。因此, 综合来看, 当水环境中的 Cu²⁺活度为 10^{-8.60}—10^{-8.13} mol/L、Zn²⁺活度为 10^{-7.04}—10^{-6.82} mol/L 时能明显的促进西藏拟溞的种群增长、发育和生殖。论文讨论了 Cu²⁺和 Zn²⁺对西藏拟溞的促长机理。

关键词: 西藏拟溞; Cu²⁺; Zn²⁺; 存活; 生长; 生殖

中图分类号: Q142 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2010)04-0694-08

为给海水经济水产动物育苗增添新的活饵料, 国内外学者以内陆水域枝角类为对象进行了一系列研究。淡水枝角类一般耐盐上限不超过 14^[1], 难以作为理想培养对象。蒙古裸腹溞(*Moina mongolica* Daday)在海水中的大量培养和投喂试验获得了一定效果^[2], 但这种溞属系喜暖性种类, 其不耐低温的生理特性, 使得在北方大量培养受到限制。赵文等^[3]对西藏盐湖采得的西藏拟溞(*Daphniopsis tibetana* Sars)的形态^[4]、生态分布^[3]、染色体组型^[5]、耗氧率^[6]、营养成分^[7]、碱度和 pH 对其生长的影响^[8]及海水中大量培养^[9]等方面进行了较详细的研究, 发现其耐低温性可弥补上述缺憾, 虽然生殖力低于裸腹溞属和溞属种类, 但仍高于海产桡足类, 有望克服蒙古裸腹溞在北方海水养殖中应用的局限性。

有关水环境中的金属离子对甲壳动物影响的研究日益深入。水环境中适量的金属离子能促进对虾的生长, 并能提高消化酶、AKP、ATPase 酶等的活

性^[10-12]。西藏拟溞自然生活的水体中 Li⁺的含量达到 10 mg/L 以上, 在长期自然驯化过程中已形成对金属离子的一定需求量, 另一方面, 某些金属离子是生物体必需的微量元素。因此有必要研究金属离子对西藏拟溞的生态效应, 一方面在于积累基础生物学资料, 为西藏拟溞自然种群的变动规律提供理论依据, 另一方面旨在探讨西藏拟溞对金属离子的最适需求量, 为加快该溞的发育速度和在海水中大规模培养提供理论依据。因此, 本文在研究了 Cu²⁺和 Zn²⁺对西藏拟溞毒性的基础(另文发表)上, 进行这两种金属离子对西藏拟溞存活、生长和生殖的影响研究。

1 材料与方法

1.1 溞种来源

西藏拟溞于 2001 年 12 月采自西藏纳木卡错, 驯养于盐度 15、温度 15 的海水中, 饲以盐生杜氏

收稿日期: 2009-04-28; 修订日期: 2010-02-26

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30371112, 30671625)资助

通讯作者: 赵文(1963—), 男, 博士, 教授/博导; 主要从事水产养殖生态学研究。E-mail: zhaowen@dlou.edu.cn

藻(*Dunaliella salina*)。同批实验中取同一健康母溞经孤雌生殖产生的同生群(Cohort)为实验对象。新生幼溞的平均体长为(840.67 ± 19.11) μm。

1.2 实验条件

实验用海水取自大连黑石礁近海,经沉淀和砂滤处理后用孔径为 0.45 μm 的滤膜过滤并煮沸消毒,用去离子水配制成盐度 15 的培养液,测得的水化学参数如下: pH = 7.8 ± 0.1, DO = (7.68 ± 0.46) mg/L, Ca²⁺ = (213.39 ± 3.64) mg/L, Mg²⁺ = (697.16 ± 2.99) mg/L, ALK = (77.56 ± 2.84) mg/L。试验用配置海水的 Cu²⁺和 Zn²⁺背景值用 746 VA Trace Analyzer 万通极谱仪测定,结果为: Cu²⁺为 0—0.32 μg/L; Zn²⁺为 0—0.56 μg/L。实验水温为(15 ± 0.5) °C,实验采用 125 mL 广口瓶,放入配制好的培养液 100 mL。每天早晚两次投喂盐生杜氏藻,密度保持在 3.0 × 10⁵ cell/mL,光周期为 14L:10D,光强 1800—2000 lx。

1.3 实验设计

配制 Cu²⁺和 Zn²⁺母液的质量浓度均为 1 g/L; 氨三乙酸(NTA)溶液配制成 2.5 × 10⁻³ mol/L。根据毒性试验的结果,设置 Cu²⁺和 Zn²⁺浓度, Cu²⁺: 10、20、30、40 和 50 μg/L; Zn²⁺: 20、40、60、80 和 100 μg/L。根据 Sunda^[13,14]提出的方程计算 Cu²⁺活度 A_{Cu}和 Zn²⁺的活度 A_{Zn}, 方程如下:

$$Cu_T = \frac{A_{Cu}}{R_{Cu}} \cdot \frac{A_{Cu}NTA_T 10^{12.96}}{A_{Cu}10^{12.96} + A_{Ca}10^{6.41} + A_{Mg}10^{5.41}} \quad (1)$$

$$Zn_T = \frac{A_{Zn}}{R_{Zn}} + \frac{A_{Zn}NTA_T 10^{10.45}}{A_{Zn}10^{10.45} + A_{Ca}10^{6.41} + A_{Mg}10^{5.41}} \quad (2)$$

式中, Cu_T、Zn_T和 NTA 分别为可溶性铜、锌和加入 NTA 的浓度; A_{Cu}、A_{Zn}、A_{Ca}和 A_{Mg}分别为海水中铜、锌、钙和镁的离子活度; 10^{12.96}、10^{10.45}、10^{6.41}和 10^{5.41}分别为 Cu²⁺、Zn²⁺、Ca²⁺和 Mg²⁺与 NTA 络合的稳定常数; R_{Cu}和 R_{Zn}为铜和锌的总无机络合系数,通常海水中为 10^{-1.8}和 10^{-1.0}, 方程(1)和(2)右边的前一项分别代表了铜和锌离子活度与海水中无机络合物浓度的比值; 后一项为铜和锌与有机络合剂 NTA 的作用结果,当无络合剂存在时为零。海水中 A_{Ca}和 A_{Mg}分别取 0.0021 和 0.014 mol/L。根据计算,得到 Cu 的离子活度分别为 10^{-8.60}、10^{-8.30}、10^{-8.13}、10^{-8.00}和 10^{-7.90} mol/L, Zn 离子的活度依次为 10^{-7.51}、10^{-7.21}、10^{-7.04}、10^{-6.91}和 10^{-6.82} mol/L。

Cu²⁺和 Zn²⁺对西藏拟溞种群增长能力的影响浓度梯度设置如上,每一梯度设置 5 个重复,每瓶

试验溶液中放入 10 只新生幼溞(龄长 < 12h),进行群体培养试验,每天 3 次观察记录西藏拟溞存活和产幼情况并及时将新生幼溞吸出,每天更换培养液 1 次,所有实验进行到西藏拟溞全部死亡为止。

Cu²⁺和 Zn²⁺对西藏拟溞存活、生长和生殖的影响 实验梯度设置同上,每一梯度设置 12 个重复,每瓶培养液中放入新生幼溞(龄长 < 12h)1 只。实验过程中,定时在显微镜下用目微尺测量溞的体长,每天 3 次观察溞的存活、生长和生殖情况,记录溞的产幼前发育期、产幼间隔、每窝生殖量、产幼数量、蜕皮次数、死亡个数、一生生殖次数和平均寿命等,及时将新生幼溞和死亡个体吸出,每天更换培养液 1 次。所有实验进行到西藏拟溞全部死亡为止。

1.4 数据分析

根据试验观察结果,编制各试验梯度下的生命表,计算内禀增长率(*r_m*)^[15]、生殖价(*V_x*)^[18,19]和其他种群增长的参数。应用 SPSS13.0 和 OriginPro7.5 对数据进行统计分析,并对结果进行单因素方差分析,当 *P* < 0.05 时,认为差异显著,并经 Duncan 多重比较。

2 结果

2.1 Cu²⁺和 Zn²⁺对西藏拟溞存活和生长的影响

实验结果表明,不同活度的 Cu²⁺和 Zn²⁺对西藏拟溞存活影响的趋势一致。进入 8—9 龄后,存活率下降到 30%左右。方差分析表明,不同活度的 Cu²⁺和 Zn²⁺对西藏拟溞存活的影响差异不显著,*P* 值分别为 0.9771 和 0.7673。

不同活度的 Cu²⁺和 Zn²⁺对西藏拟溞生长的影响(图 1)。西藏拟溞在各实验组中随着日龄的增加,体长增长较快。方差分析表明,10^{-8.60} mol/L 的 Cu²⁺组西藏拟溞的体长增长率与其他各组差异显著(*P* = 0.032); 而 Zn²⁺所有实验组中西藏拟溞的体长增长率差异不显著(*P* = 0.2659)。

2.2 Cu²⁺和 Zn²⁺对西藏拟溞生殖的影响

Cu²⁺对西藏拟溞生殖的影响 由表 1 可知, Cu²⁺为 10^{-8.30} mol/L 时,西藏拟溞的平均每胎产幼量和产幼间隔分别为(16.00 ± 5.93) ind.和(7.41 ± 1.91)d,显著高于和短于其他各组(*P* < 0.05); 平均寿命和一生生殖次数均以 10^{-8.30} mol/L 组最高,分别为(50.00 ± 15.65)d 和(2.83 ± 1.99)次,显著高于对照和

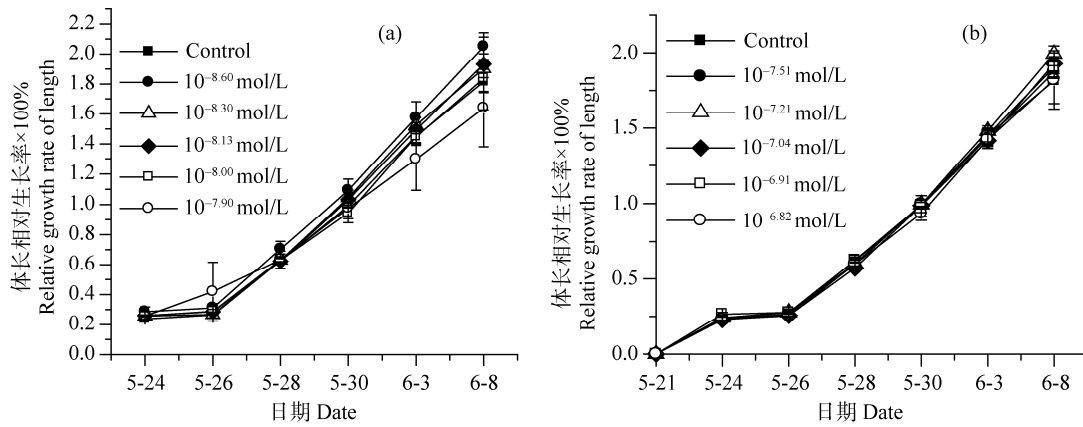


图 1 Cu²⁺(a)和 Zn²⁺(b)对西藏拟蚤生长的影响

Fig. 1 Effects of different concentrations of Cu²⁺ (a) and Zn²⁺ (b) on growth of *D. tibetana*

表 1 Cu²⁺对西藏拟蚤生殖参数的影响

Tab. 1 Reproductive measurements for *D. tibetana* at different Cu²⁺ concentrations

Cu ²⁺ (mol/L)	产幼前发育期 Age at first production (d)	平均每胎产幼量 No. neonates per clutch (ind.)	平均寿命 Mean life span (d)	一生生殖次数 Times of Production of life	产幼间隔 Mean interval between clutch (d)
Control	25.32 ^a (0.65)	14.05 ^a (6.19)	39.75 ^a (11.97)	1.58 ^a (1.16)	8.57 ^a (1.10)
10 ^{-8.60}	25.09 ^a (0.57)	13.85 ^a (6.84)	38.75 ^a (14.55)	1.67 ^a (0.97)	8.98 ^a (0.69)
10 ^{-8.30}	25.71 ^a (0.82)	16.00 ^b (5.93)	50.00 ^b (15.65)	2.83 ^b (1.99)	7.41 ^b (1.91)
10 ^{-8.13}	25.98 ^a (0.86)	14.50 ^a (7.30)	44.75 ^{ab} (15.97)	2.50 ^b (1.78)	8.42 ^a (1.32)
10 ^{-8.00}	26.48 ^a (1.02)	13.70 ^a (6.68)	48.17 ^b (16.47)	2.75 ^b (2.26)	8.36 ^a (1.63)
10 ^{-7.90}	25.99 ^a (1.29)	13.65 ^a (6.77)	48.00 ^b (16.90)	2.58 ^b (2.07)	8.32 ^a (2.07)

10^{-8.60} mol/L 组($P = 0.013$), 而与 10^{-8.13}—10^{-7.90} mol/L 组差异不显著($P = 0.376$)。西藏拟蚤在各实验组中的产幼前发育期差异均不显著($P > 0.05$)。

Cu²⁺对西藏拟蚤产卵率^[8]和生殖价的影响(图 2)。西藏拟蚤在不同活度 Cu²⁺组中的产卵率(a 值)为 0.9705—1.1742, 均高于对照组(0.8600), 而截距

(b 值)以 10^{-8.60} mol/L 组最大, 10^{-8.30} 和 10^{-8.13} mol/L 组的截距和对照组相近。图 2(b)为西藏拟蚤在各 Cu²⁺组中生殖价的变化趋势, 西藏拟蚤在 10^{-8.30} mol/L 组中生殖价的最大值为 90.67, 其他各组的是 30—63.5(10^{-8.60}—10^{-8.00} mol/L), 在整个生活史中, 西藏拟蚤在 10^{-8.30}—10^{-7.90} mol/L 组中的生殖价始终大于对照组和 10^{-8.60} mol/L 组。

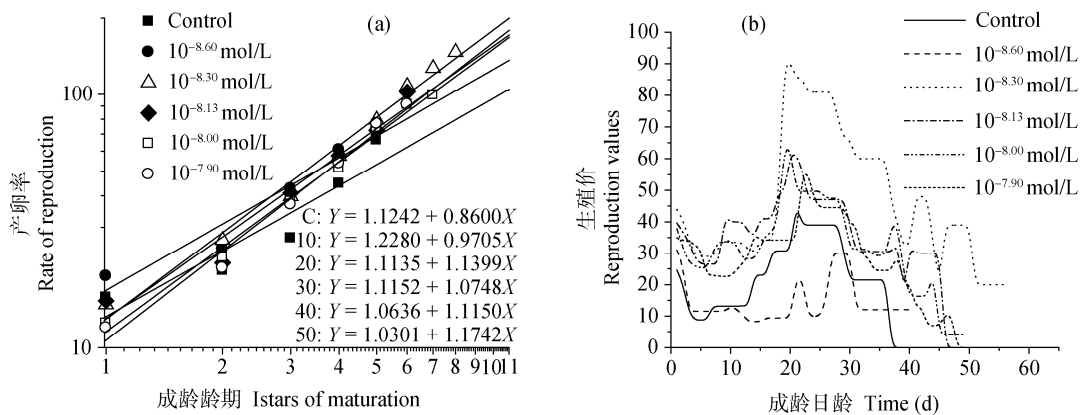


图 2 Cu²⁺对西藏拟蚤产卵率(a)和生殖价(b)的影响

Fig. 2 Effect of Copper on the rate of reproduction (a) and reproduction values (b) to *D. tibetana*

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。西藏拟蚤在 Cu²⁺为 10^{-8.30} mol/L 的条件下, r_m 最大, 为 0.2211/d(表 2), 10^{-8.13} mol/L、对照组和 10^{-8.60} mol/L 的 r_m 相近, 为 0.2161—0.2177/d, 而其他两组较低。周限增长率的大小与 r_m 的趋势相同。对于净生殖率 R₀, 10^{-8.30} mol/L 组中的西藏拟蚤最大, 达到了 43.83 ind., 而 10^{-8.13}—10^{-7.90} mol/L 组(35.92—39.67 ind.)显著高于对照(24.58 ind.)和 10^{-8.60} mol/L 组(23.25 ind.)。

Zn²⁺对西藏拟蚤生殖的影响 由表 3 可知, 10^{-7.51}—10^{-6.82} mol/L 的 Zn²⁺对西藏拟蚤产幼前发育期和产幼间隔的影响与对照组间差异不显著(P > 0.05)。西藏拟蚤在 Zn²⁺活度为 10^{-7.04} mol/L 的每胎产卵量为(15.65 ± 6.98) ind., 显著高于其他各组(P = 0.028)。西藏拟蚤在 10^{-7.04}—10^{-6.82} mol/L 组中一生生殖次数高于在低浓度组中。西藏拟蚤在各 Zn²⁺活度组和对照组中的平均寿命为 35.33—44.42d, 差异不显著。

不同 Zn²⁺对西藏拟蚤产卵率的影响较大(图 3)。

表 2 Cu²⁺对西藏拟蚤种群变动参数的影响
Tab. 2 Effects of Cu²⁺ on population dynamics parameters of *D. tibetana*

种群增长参数 Population dynamics parameters	Cu ²⁺ (mol/L)					
	Control	10 ^{-8.60}	10 ^{-8.30}	10 ^{-8.13}	10 ^{-8.00}	10 ^{-7.90}
净生殖率 Net reproduce rate R ₀	24.58	23.25	43.83	39.67	37.75	35.92
内禀增长率 Intrinsic rate of increase r _m	0.2173	0.2161	0.2211	0.2177	0.205	0.2048
周限增长率 Finite rate of increase λ	1.2427	1.2412	1.2475	1.2432	1.2275	1.2273
平均世代时间 Mean generation time T	17.66	16.57	22.69	21.45	22.48	21.08

表 3 Zn²⁺对西藏拟蚤生殖参数的影响
Tab. 3 Reproductive measurements for *D. tibetana* at different Zn²⁺ concentrations

Zn ²⁺ (mol/L)	产幼前发育期 Age at first production (d)	平均每胎产卵量 No. neonates per clutch(ind.)	平均寿命 Mean life soan (d)	一生生殖次数 Times of Production of life	产幼间隔 Mean interval between clutch (d)
Control	25.32 ^a (0.65)	14.05 ^a (6.19)	39.75 ^a (11.97)	1.58 ^a (1.16)	8.57 ^a (1.10)
10 ^{-7.51}	25.15 ^a (0.38)	13.12 ^a (6.26)	35.33 ^a (7.19)	1.55 ^a (0.52)	8.87 ^a (0.00)
10 ^{-7.21}	25.89 ^a (1.03)	12.65 ^a (6.48)	37.50 ^a (8.11)	1.55 ^a (0.69)	9.23 ^a (1.42)
10 ^{-7.04}	25.31 ^a (0.51)	15.65 ^c (6.98)	41.92 ^a (13.59)	2.17 ^b (1.33)	8.66 ^a (1.12)
10 ^{-6.91}	25.50 ^a (0.69)	13.92 ^a (5.56)	40.83 ^a (7.06)	2.00 ^b (0.60)	8.70 ^a (1.65)
10 ^{-6.82}	25.73 ^a (0.73)	14.00 ^a (6.98)	44.42 ^a (8.15)	1.92 ^b (1.04)	8.96 ^a (1.73)

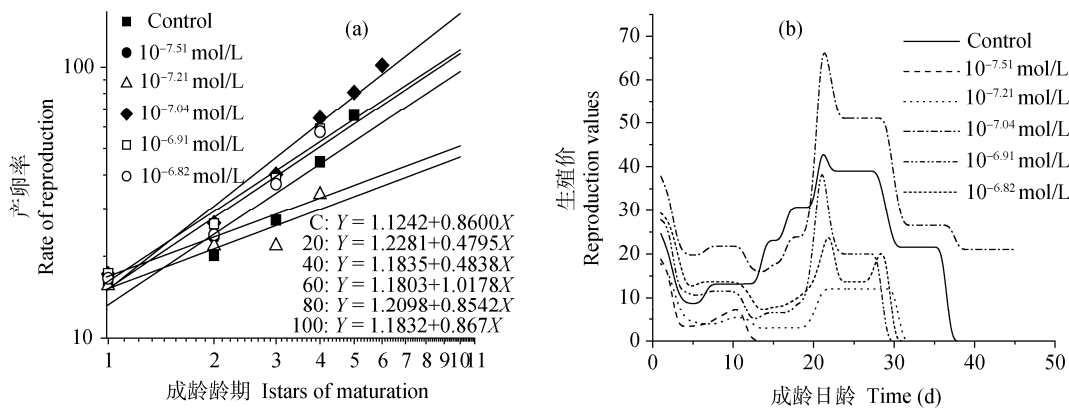


图 3 Zn²⁺对西藏拟蚤产卵率(a)和生殖价(b)的影响
Fig. 3 Effect of Zinc on the rate of reproduction (a) and reproduction values (b) to *D. tibetana*

西藏拟溞在 Zn^{2+} 活度为 $10^{-7.04}$ mol/L 组中的产卵率 (a 值) 最大, 为 1.0178, 其次是 $10^{-6.82}$ mol/L 组, 为 0.867, $10^{-6.91}$ mol/L 组的产卵率的值与对照组相似 (0.8542—0.8600); 而截距 (b 值), 则以 $10^{-7.51}$ mol/L 组最高, 为 1.2281, 其次是 $10^{-6.91}$ mol/L 组 (1.2098)。 Zn^{2+} 对西藏拟溞生殖价的影响见图 3(b)。除第 14—19 日龄外, 西藏拟溞在 $10^{-7.04}$ mol/L Zn^{2+} 组中的生殖价均大于对照组, 最大值为 71.5。西藏拟溞在 $10^{-6.91}$ mol/L 组中的前 6 个成龄日龄、 $10^{-6.82}$ mol/L 组中前 10 个日龄的生殖价大于对照组外, 其他日龄中生殖价的值均小于对照组。

高浓度的 Zn^{2+} 对西藏拟溞种群的增长有明显的促进作用, 表现为: 西藏拟溞种群的 r_m 在 $10^{-6.91}$ mol/L 时最大, 为 0.2296/d, 其次为 $10^{-7.04}$ mol/L (0.2284/d)、 $10^{-6.82}$ mol/L (0.2249/d) 和 $10^{-7.51}$ mol/L (0.2194/d), 对照和 $10^{-7.21}$ mol/L 组最小。净生殖率 (R_0) 以 $10^{-7.04}$ mol/L 组最大, 为 34.67 ind., 周限增长率 (λ) 以 $10^{-6.91}$ mol/L 最大, 为 1.2566, 这两项种群增长参数在 $10^{-7.04}$ — $10^{-6.82}$ mol/L 组中均大于对照组, 与 r_m 的变化趋势相同 (表 4)。

3 讨论

内禀增长率 (r_m) 能敏感反映出环境条件中最细致的改变, 是一个关于物种生殖能力最重要的指数^[15]; 产卵率 (a) 与枝角类的成龄龄数和各成龄产卵的平均数关系最为密切, 是综合因素的反应^[16,17]; 生殖价 (V_x) 表示在特定条件下, 某一年龄雌体平均的能对未来种群增长所作出贡献的期望, 是测度个体出生力和存活力的一个综合性指标^[18,19]。因此, 根据 V_x 、 r_m 和 a 值, 再加上净生殖率 (R_0)、周限增长率 (λ)、存活率和增长率等种群增长参数即可反映西藏拟溞种群在不同金属浓度条件下的存活、生长和生殖情况。因而可以通过种群增长参数的变化情

况来判断西藏拟溞对 Cu^{2+} 和 Zn^{2+} 的最佳需求量。

Cu 和 Zn 是水环境中的天然成分, 对生命活动具有重要作用。研究表明, 对生物健康生长的 Cu 含量需要 10^{-8} mol/L, 其含量稍高于 10^{-7} mol/L 时就可能危害生物体^[20]。Bossuy & Janssen 研究野外采集的 4 科 13 属 44 种枝角类对 Cu 的急性敏感性表明, 48h EC_{50} 范围为 5.3—70.6 $\mu\text{g Cu/L}$, 仅在栉溞亚属 (*Ctenodaphnia*) 观察到显著的种内差异, 而在尖额溞 (*Alonina*) 和溞亚属 (*Daphnia*) 存在显著的种间差异, 差异高达 12 倍以上, 且发现野外种比实验驯养种对 Cu 敏感得多^[21]。Muysen, *et al.* 研究了野外采集的 10 种淡水枝角类和实验室培养的大型溞 (*Daphnia magna*) 和模糊网纹溞 (*Ceriodaphnia dubia*) 对 Zn 的急性毒性, 结果表明, 野外采集种 48h EC_{50} 值范围为 (375 \pm 141) (长刺溞, *D. longispina*)—(4314 \pm 1513) $\mu\text{g Zn/L}$ (圆形盘肠溞, *Chydorus sphaericus*), 其中野外采集的大型溞为 2650 和 2909 $\mu\text{g Zn/L}$, 而室内驯化种大型溞和模糊网纹溞的 48h EC_{50} 值分别为 (416 \pm 86) 和 (1833 \pm 76) $\mu\text{g Zn/L}$, 说明与 Cu 实验相反, 室内驯养种比野外采集种对 Zn 敏感得多。Cu 对西藏拟溞的 48h LC_{50} 为 3.27 mg/L, 可见该溞对 Cu 的耐受性是较高的^[22]。而关于 Cu 和 Zn 对盐水枝角类种群增长的影响鲜有研究, 与淡水枝角类的研究比较, 0.1—0.4 mg/L 的 Cu 和暴露时间 (3—24h) 对模糊网纹溞的种群统计学实验表明, 较低和中间浓度的 Cu 和较短的暴露时间模糊网纹溞的总生殖量显著高于对照组, 但是净生殖率 (NRR) 和 r 或不受影响或下降, 表明同时考虑毒物浓度和暴露时间在生态毒理学评估中的重要性^[23]。本实验结果表明, 水环境中的 Cu^{2+} 活度为 $10^{-8.60}$ — $10^{-8.13}$ mol/L 时可显著促进西藏拟溞的生长, 加快种群的增长速度。 Zn^{2+} 在水环境中的离子活度为 $10^{-7.04}$ — $10^{-6.82}$ mol/L 时, 有明显的促进西藏拟溞种群增长, 增加个体生殖量

表 4 Zn^{2+} 对西藏拟溞种群变动参数的影响
Tab. 4 Effects of Cu^{2+} on population dynamics parameters of *D. tibetana*

种群增长参数 Population dynamics parameters	Zn^{2+} (mol/L)					
	Control	$10^{-7.51}$	$10^{-7.21}$	$10^{-7.04}$	$10^{-6.91}$	$10^{-6.82}$
净生殖率 Net reproduce rate R_0	24.58	18.75	16.25	34.67	27.75	29.33
内禀增长率 Intrinsic rate of increase r_m	0.2173	0.2194	0.1992	0.2284	0.2296	0.2249
周限增长率 Finite rate of increase λ	1.2427	1.2453	1.2205	1.2566	1.2581	1.2522
平均世代时间 Mean generation time T	17.66	13.63	14.76	18.83	15.63	16.74

的作用。

适量的 Cu²⁺和 Zn²⁺是生物体内一些生理生化机能所必需的^[24]。当细胞外环境中含有适量的 Zn²⁺时,进入内环境中的 Zn²⁺通过抑制金属催化的脂质过氧化反应而使原生质和内膜处于稳定状态^[25]。因此,在细胞外环境中含有适量浓度的 Cu²⁺和 Zn²⁺可使体内多种酶维持高的活性,促进生物体的生长发育并提高机体对环境刺激的应激能力。低浓度的 Cu²⁺可以提高对虾体内丝氨酸的含量^[26]和胃蛋白酶和类胰蛋白酶活性^[11]。刘存岐等^[12]研究指出海水中 10—40 μg/L 的 Cu²⁺对中国对虾糠虾和仔虾体内的 AKP 有明显的激活作用,而当 Cu²⁺浓度为 40—80 μg/L 时,中国对虾仔虾体内 ATPase 活性显著提高。高成年等^[27]研究指出,水环境中的 Zn²⁺保持在 10^{-7.30} mol/L 以下对中国对虾卵子孵化最佳,10^{-7.60} mol/L 对对虾无节幼体生长最佳;刘存岐等^[12]研究也表明,20—40 μg/L 的 Zn²⁺能够明显促进日本对虾仔虾的生长发育。Bossuyt & Janssen 研究表明,驯化可增加大型溞对 Cu 的耐受性,第一代和第三代溞最适 Cu 浓度分别为 5—12 μg Cu/L(0.5—4.1 pmol/L Cu²⁺)和 1—35 μg Cu/L(0.023—80 pmol/L Cu²⁺),Cu 浓度过高或过低均会导致毒性效应。驯化浓度达到 35 μg Cu/L(80 pmol/L Cu²⁺)并不影响大型溞的净生殖量和内禀增长率。因此在评价毒性实验结果特别是用于制定水质标准或金属生态风险分析时必须考虑存在于培养水中的 Cu 的有效背景浓度。本实验中当 Cu²⁺活度为 10^{-8.60}—10^{-8.13} mol/L、Zn²⁺活度为 10^{-7.04}—10^{-6.82} mol/L 时能明显的促进西藏拟溞的生长、发育和生殖,加快了种群的生殖速度,这可能与较低浓度的 Cu 和 Zn 离子提高了多种消化酶、AKP 和 Na⁺-K⁺ATPase 等的活性有关。关于 Cu²⁺和 Zn²⁺对西藏拟溞的促长机制还有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] He Z H, Zhang J G, Jiang H. Effects of salinity of seawater on the survival and intrinsic rate of increase of two populations of *Daphnia magna* [J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 1996, 11(3): 1—8 [何志辉, 张建国, 姜宏. 海水盐度对大型溞的存活和内禀增长率的影响. 大连水产学院学报, 1996, 11(3): 1—8]
- [2] He Z H, Qin J G, Wang Y, et al. Biology of *Moina mongolica* (Moinidae, cladocera) and perspective as live food for marine fish larvae : review [J]. *Hydrobiologia*, 2001, 457: 25—37
- [3] Zhao W, Wang Q H, Zheng M P, et al. A preliminary study on the biology of *Daphniopsis tibetana* Sars [J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2002, 17(3): 209—214 [赵文, 王巧晗, 郑绵平, 等. 西藏拟溞生物学的初步研究. 大连水产学院学报, 2002, 17(3): 209—214]
- [4] Zhao W, Wang Q H. The redescription of morphology in *Daphniopsis tibetana* Sars (Crustacea: Cladocera: Daphniidae) [J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2005, 20(3): 165—173 [赵文, 王巧晗. 西藏拟溞形态结构的再描述. 大连水产学院学报, 2005, 20(3): 165—173]
- [5] Zhao W, Zhang P, Huo Y Z, et al. Study of karyotype on *Daphniopsis tibetana* Sars (Cladocera: Daphniidae) [J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2004, 19(3): 167—170 [赵文, 张鹏, 霍元子, 等. 西藏拟溞的染色体核型研究. 大连水产学院学报, 2004, 19(3): 167—170]
- [6] Zhao W, Zhang L, Huo Y Z. The effect of salinity, temperature and body length on oxygen consumption of *Daphniopsis tibetana* Sars [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(7): 1149—1153 [赵文, 张琳, 霍元子. 温度、盐度和体长对西藏拟溞(*Daphniopsis tibetana*)耗氧率的影响. 生态学报, 2005, 25(7): 1549—1553]
- [7] Zhao W, Huo Y Z, Gao J. Analysis and appraisal of nutrient compositions for *Daphniopsis tibetana* Sars [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2006, 13(3): 446—451 [赵文, 霍元子, 高敬. 西藏拟溞营养成分的分析与评价. 中国水产科学, 2006, 13(3): 446—451]
- [8] Zhao W, Huo Y Z, Xue D N. Effects of alkalinity and pH on the survival, growth and neonate production of *Daphniopsis tibetana* Sars [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2007, 31(3): 332—338 [赵文, 霍元子, 薛东宁. 碱度和 pH 对西藏拟溞存活、生长和生殖的影响. 水生生物学报, 2007, 31(3): 332—338]
- [9] Huo Y Z, Zhao W, Liang M. The mass culture of water fleas (*Daphniopsis tibetana*) in sea water and its use as live food for larval redfin puffer (*Fugu rubripes*) [J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2006, 21(4): 325—330 [霍元子, 赵文, 梁淼. 海水中大量培养西藏拟溞及作为红鳍东方鲀鱼苗活饵料的研究. 大连水产学院学报, 2006, 21(4): 325—330]
- [10] Paez O P, Ruiz F C. Comparative bioaccumulation of trace metal in *Penaeus styaciostriis* in estuarine and wastal environments [J]. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 1995, 40(1): 35—44
- [11] Wang W N, Wang A L, Sun R Y. Effects of Cu²⁺, Zn²⁺, Fe³⁺ and Co²⁺ in freshwater on digestive enzyme and alkaline phosphatase activity of *Macrobrachium nipponense* [J]. *Acta Zoologica Sinica*, 2001, 47(1): 72—77 [王维娜, 王安利, 孙儒泳. 水环境中的铜锌铁钴离子对日本沼虾消化酶和碱

- 性磷酸酶的影响. 动物学报, 2001, 47(1): 72—77]
- [12] Liu C Q, Wang A L, Wang W N, *et al.* The effect of mental irons in marine water on the activity of alkaline phosphatase and ATPase of Chinese shrimp *Fenneropenaeus chinensis* larvae [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2001, 25(4): 298—303 [刘存岐, 王安利, 王维娜, 等. 海水中几种金属离子对中国对虾幼虾体内碱性磷酸酶和 ATPase 的影响. 水产学报, 2001, 25(4): 298—303]
- [13] Sunda W G, Gillespie P A. The response of a marine bacterium to cupric ion and its use to estimate cupric ion activity in seawater [J]. *Journal of Marine Research*, 1979, 37: 761—777
- [14] Sunda W G, Engel D W, Thuotte R M. Effect of chemical speciation on toxicity of cadmium to grass shrimp, *Palaeomonetes pugio*: Importance of free cadmium ion [J]. *Environmental Science & Technology*, 1978, 2: 409—413
- [15] Lin C S. The theoretical and experimental study of quantity dynamic of animal population I. Station, effect and application of experimental population and mathematics in study on the quantity dynamic of animal population [J]. *Acta Zoologica Sinica*, 1963, 15(3): 371—379 [林昌善. 动物种群数量变动的理论与实验研究 I. 试验种群与数理模式在动物种群数量变动研究中的地位、作用和应用. 动物学报, 1963, 15(3): 371—379]
- [16] Huang X F. The effect of temperiture on the development, growth and egg production in *Moina affinis* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1983, 8(1): 105—112 [黄祥飞. 温度对近亲裸腹溞发育、生长和卵的生产量的影响. 水生生物学集刊, 1983, 8(1): 105—112]
- [17] Huang X F. Study on the biology of three species of freshwater cladocera [J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 1985, 16(3): 189—194 [黄祥飞. 三种淡水枝角类生物学的研究. 海洋与湖沼, 1985, 16(3): 189—194]
- [18] Kreds C J. Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance. Fourth Edition [M]. Harper Collins College Publishers. 1994, 184—186
- [19] Sun R Y. The principal of Animal Ecology. Third Edition [M]. Beijing: Press of Beijing Normal University. 2001. 146—161 [孙濡泳. 动物生态学原理. 第三版. 北京: 北京师范大学出版社. 2001, 146—161]
- [20] Edding M, Tala F. Copper transfer and influence on a marine food chain [J]. *Environmental Contamination and Toxicology*, 1996, 57: 617—624
- [21] Bossuyt Bart T A, Janssen Colin R. Copper toxicity to different field-collected cladoceran species: intra- and inter-species sensitivity. *Environmental Pollution*, 2005, 136: 145—154
- [22] Muysen Brita T A, Bossuyt Bart T A, Janssen Colin R. Inter- and intra-species variation in acute zinc tolerance of field-collected cladoceran populations [J]. *Chemosphere*, 2005, 61: 1159—1167
- [23] Gama-Flores J L, Castellanos-Paez M E, Sarma S S S, *et al.* Life table demography of *Ceriodaphnia dubia* (Cladocera) exposed to copper at different levels and periods [J]. *J. Environ. Biol.*, 2007, 28(3): 691—696
- [24] Guilhermino L, Lopes M C, Carvalho A P, *et al.* Acetylcholinesterase activity in juveniles of *Daphnia magna* Straus [J]. *Bull. Environ. Contam. Toxicol*, 1996, 57: 979—985
- [25] Wu J. Biochemistry effect of minim mental on the marine organisms [J]. *Marine Environment Science*, 1991, 10(2): 58—63 [吴坚. 微量金属对海洋生物的生物化学效应. 海洋环境科学, 1991, 10(2): 58—63]
- [26] Lin R R, Li S J. Experimental study on the effect of Cu and Cd on amino acid concentration of *Calanus sinicus* [J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 1991, 22(3): 241—247 [林汝榕, 李少菁. 铜、镉对中华哲水蚤氨基酸含量的实验研究. 海洋与湖沼, 1991, 22(3): 241—247]
- [27] Gao C N, Qu K M, Zhang D X. Optimum zinc ion activity in seawater for egg hatching and nauplius metamorphosis of *Penaeus chinensis* [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1995, 2(1): 1—71 [高成年, 曲克明, 张度溪. 中国对虾卵子孵化及无节幼体变态水环境中 Zn^{2+} 的最佳活度. 中国水产科学, 1995, 2(1): 1—7]
- [28] Bossuyt Bart T A, Janssen Colin R. Acclimation of *Daphnia magna* to environmentally realistic copper concentrations [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C*, 2003, 136: 253—264

EFFECTS OF Cu²⁺ AND Zn²⁺ ON THE SURVIVAL, GROWTH AND NEONATE PRODUCTION OF *DAPHNIOPSIS TIBETANA* SARS

ZHAO Wen, HUO Yuan-Zi and JIA Xu-Ying

(College of Life Science and Technology, Liaoning Provincial Key Laboratory of Hydrobiology, Dalian Ocean University, Dalian 116023)

Abstract: Effects of Cu²⁺ and Zn²⁺ on the survival, growth and neonate production of *Daphniopsis tibetana* Sars were studied under (15 ± 0.5)°C and S=15.5 ± 0.5. The results showed that the survival rate of *D. tibetana*, reared at ion activity of Cu²⁺ = 10^{-8.60}—10^{-7.90} mol/L, had no significantly difference, but the growth rate at 10^{-8.60} mol/L was significantly higher than the others. When ion activity of Cu²⁺ was 10^{-8.60} and 10^{-8.13} mol/L, the intrinsic rate of increase (r_m) was 0.2211/d and 0.2171/d, which was significantly higher than that of the control, and the rate of egg production of *D. tibetana*, reared at ion activity of Cu²⁺ = 10^{-8.60}—10^{-7.90} mol/L, was 0.9705—1.1742, which was significantly higher than that of the control. The survival rate and growth rate of *D. tibetana* which reared at ion activity of Zn²⁺ = 10^{-7.51}—10^{-6.82} mol/L had no significantly difference. When ion activity of Zn²⁺ was 10^{-7.04}—10^{-6.82} mol/L, the intrinsic rate of increase (r_m) was 0.2249/d—0.2296/d, which was significantly higher than that of the control. The rate of egg production of *D. tibetana*, reared at ion activity of Zn²⁺ = 10^{-7.04} and 10^{-6.82} mol/L was 1.0178 and 0.867, which was higher than other groups. Times of production of life of *D. tibetana* was 1.92—2.17, which was significantly higher than other groups when reared at 10^{-7.04}—10^{-6.82} mol/L. In terms of results, we could conclude that the optimal ion activity of Cu²⁺ and Zn²⁺ was 10^{-8.60}—10^{-8.13} mol/L and 10^{-7.04}—10^{-6.82} mol/L, respectively. The mechanism of promoting growth, development and neonate production of *D. tibetana* was discussed in present paper.

Key words: *Daphniopsis tibetana* Sars; Cu²⁺; Zn²⁺; Survival; Growth; Neonate production