

养殖水体中的微型裸腹溞对高浓度鱼类化学信息素的反应: 以生命表研究为例

王松波^{1 2} 谢 平² 朱龙喜³

(1. 中南民族大学化学与材料科学学院, 武汉 430074 2. 中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072 3. 无锡市水文局, 无锡 214023)

摘要: 本文通过研究微型裸腹溞的生活史, 探讨了当东湖养殖的鲢鳙密度进一步增大时, 它们释放的化学信息素对微型裸腹溞的间接作用, 同时也讨论了微型裸腹溞在高密度鱼类捕食下种群能够延续的可能机制。在淡水生态系统中, 无视力的生物能通过化学物质的交流来感知环境中的捕食压力, 从而作出相应的调整策略。本研究结果显示高浓度的鱼类化学信息素对微型裸腹溞的生活史并没有显著影响, 意味着微型裸腹溞有可能通过与该鱼类的长期共存而适应了这类物质。但是我们的结果与前人的相比还是存在着很大的差异, 尤其是明显提高的总后代数、平均怀卵量和内禀增长力; 另外短的世代时间、小的初次繁殖时的体长和年龄有可能也是微型裸腹溞在高密度鱼类捕食压力下占优势的良好证据。

关键词: 化学信息素; 生活史; 平均怀卵量; 内禀增长力

中图分类号: Q143⁺.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2008)06-0868-06

浮游生物食性鱼类不仅能通过直接的捕食作用, 还能通过间接的作用如化学信息素 (Chemical cues) 来影响浮游动物。通常它们的选择性捕食能使浮游动物的群落结构由大变小, 这方面已有较多的相关研究报道。近年来, 淡水生态系统中有关生物之间通过化学物质进行交流的研究受到越来越多的重视^[1]。许多的研究显示: 捕食者或者受伤的同类个体释放的化学信息素能够改变枝角类的生活史和形态结构^[2-6]。

在大的浮游生物食性鱼类的捕食压力下, 大型枝角类如 *Daphnia* 的密度通常很小或者完全消失, 然而小型枝角类如 *Bosmina* 和 *Moina* 却常常是这类水体中的优势类群^[7,8], 小的个体和大的内禀增长力被认为是这些小型种类抵抗鱼类捕食的重要原因^[8,9]。生命表在解释一些自然现象时具有很好的应用价值。目前已有关于微型裸腹溞生命表的研究报道, 但这些研究主要集中在温度和食物对它们的影响上^[10-12]。对于同属的多刺裸腹溞 (*M. macrocopa*), 有研究关注其繁殖模式、母性效应和同种个体化学信息素对它们的影响^[13]。

生活在不同生境 (有无捕食者) 中的 *Daphnia* 克隆系对同一捕食者释放的化学信息素反应不一^[14]。目前在化学信息素的研究中, 更多的是探讨化学信息素的有无对受试对象的影响。而对于那些与捕食

者共存多年的生物个体, 当捕食者的密度进一步增大后, 它们释放的化学信息素又会对猎物产生什么样的影响呢? 从这个问题出发, 本文的研究目的有两个, 一是探讨当滤食性鱼类的密度增大时, 它们释放的化学信息素对之前已经生活在该水体中的微型裸腹溞的生活史有什么影响; 二是通过获得的生命表参数探讨微型裸腹溞对鱼类捕食的可能适应机制。

1 材料与方法

实验所用的微型裸腹溞 (*Moina micrura* Kurz 1874) 从东湖湖水中分离而来。在实验之前, 该种以单个体的形式在培养箱中连续驯养了一个月 (光强 4500 lx, 光照周期 14h:10h), 喂以 112 μ m 的浮游生物网过滤四次的湖水。

7条总重 1291g 捕自东湖的鳊鱼被放养在直径为 1m 的一个玻璃缸中。在实验之前, 放掉玻璃缸中的水, 注入新鲜的湖水, 深度保持在 0.3m。2d 之后用这种处理过的水做实验。2006 年 11 月 23 日正式开始实验。湖水和含有高浓度鱼类化学信息素的处理水经 112 μ m 的浮游生物网过滤, 按照 10:1:5:1:1:1 的比例加入到 50mL 的玻璃杯中。由于目前对鱼类释放的化学信息素所知甚少, 如化学结构、半衰期等,

收稿日期: 2007-07-12 修订日期: 2008-06-12

基金项目: 国家科技基础性工作专项“中国湖泊水质、水量和生物资源调查”资助

作者简介: 王松波 (1979-), 男, 汉族, 湖北京山人; 研究方向为浮游动物的群落结构与功能。E-mail: wangsb18@yahoo.com.cn

通讯作者: 谢平, E-mail: xiping@ihb.ac.cn

所以我们就只能用大致相对应的鱼类现存量来代替真正的化学信息素浓度。如果以东湖鲢鳙的平均现存量 $190\text{g}/\text{m}^2$ 来计算^[15], 那么混合水样中的鱼类现存量则分别相当于 322 、 432 和 $917\text{g}/\text{m}^2$ 。过滤的湖水也当作一个处理, 这样就形成了一个不断增大的浓度梯度。培养液每天换水一次, 每个处理设置了 8 个重复, 培养条件同上。

新出生的小于 12h 的幼蚤 (平均体长 0.66mm) 被用于生活史实验。生活史参数包括初次繁殖时的体长 (从卵出现时算起) 和第一代幼体体长、平均怀卵量和总怀卵量。每隔两天测定一次体长。实验期间几个指标的计算公式分别为:

绝对生长率: $g = (L_2 - L_1) / (t_2 - t_1)$, 其中 L 指 t 时刻时的体长

世代时间: $T = \sum x l_x m_x / \sum l_x m_x$

内禀增长力: $\sum l_x m_x \exp[-r_m x] = 1$ 其中 x 为按年龄分段的中值, l_x 为 x 期开始时的存活率, m_x 为 x 期间平均每雌体生产雌体数。数据分析采用单因素方差分析 (ANOVA), 不同处理间的差异性检验用 Tukey-test 比较, 显著性水平设置为 $\alpha < 0.05$ 。

2 结 果

2.1 湖水中浮游植物的现存量和优势种属

实验时湖水中浮游植物的 Chl *a* 含量为 $27\mu\text{g}/$

L , 相当于 $0.625\text{mg C}/\text{L}$ 。其总密度为 0.4×10^6 个 / mL , 优势属依次为平裂藻属 (*Merismopedia*)、栅藻属 (*Scenedesmus*)、小环藻属 (*Cyclotella*)、隐藻属 (*Cryptomonas*) 和颤藻属 (*Oscillatoria*)。

2.2 生长实验

实验期间, 除了 2 个个体因意外死亡外, 其余所有的个体在前 3 窝都生长良好。第 3 窝时在中高处理中的产仔数有增加的趋势, 但统计分析表明同一窝的产仔数之间无显著差异 (Hosptoc Turkey-test $p > 0.05$) (图 1a)。前 3 窝的平均产仔数分别达到了 12.4、21.1 和 26.8 个。第 5 天时, 个体开始死亡。到第 10 天, 所有的个体都死亡了, 实验到此结束。绝对生长率 ($0.084\text{--}0.096\text{mm}/\text{d}$) 和最大体长 ($1.30\text{--}1.45\text{mm}$) 在各处理间没有显著变化 (分别为 $F_{3,26} = 1.67, p = 0.20$ $F_{3,26} = 1.69, p = 0.19$) (图 1b)。同时初次繁殖时的体长 ($0.82\text{--}0.83\text{mm}$) 和新出生的个体大小 ($0.52\text{--}0.54\text{mm}$) 在各处理组间也没有显著变化 (分别为 $F_{3,26} = 0.32, p = 0.81$ $F_{3,26} = 1.38, p = 0.27$) (图 1c)。总的后代数和平均怀卵量在各处理间同样不存在显著差异 (分别为 $F_{3,26} = 2.78, p = 0.06$ $F_{3,26} = 0.85, p = 0.48$) (图 1d), 它们的平均值分别达到了 115 和 22.9。世代时间 ($3.82\text{--}4.11\text{d}$) 和 r_m ($1.22\text{--}1.24/\text{d}$) 在各处理组间的变化范围也很小 (图 2)。

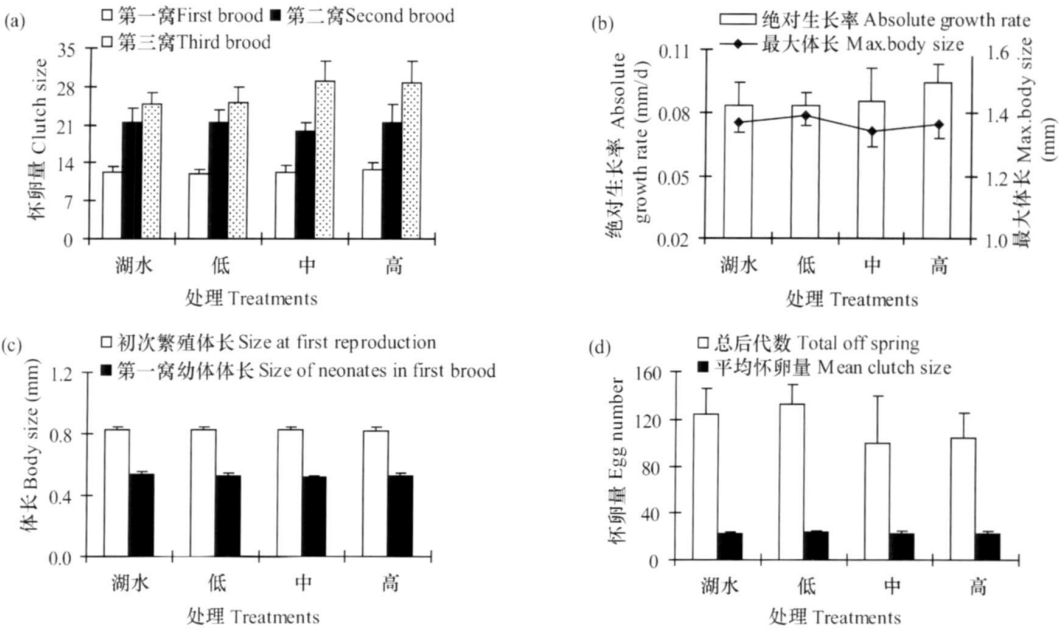


图 1 生活史参数

Fig 1 Life history parameters

a. 前三窝的怀卵量; b. 绝对生长率和最大体长; c. 初次繁殖时的体长和第一窝幼体大小; d. 总后代数和平均怀卵量

a. clutch size in the first three broods; b. absolute growth rate and maximum body size; c. size at first reproduction and size of neonates in first brood; d. total offspring and mean clutch size

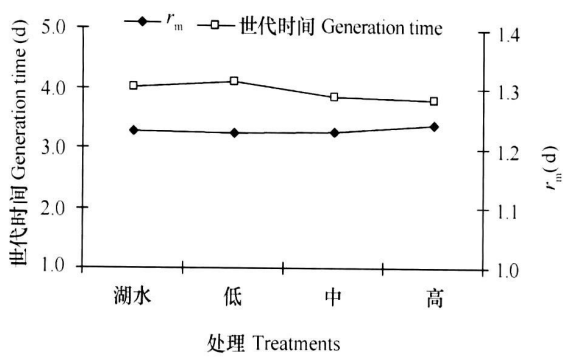


图 2 世代时间和内禀增长力在各处理中的变化
Fig. 2 Dynamics of generation time and intrinsic rate of population increase in different treatments

3 讨论

东湖枝角类的长期变化已经在文献 [9 16] 中详细描述了。上述文章所使用的数据来自于 2000 年之前, 在本文中我们把最近四年的数据也做了总结 (图 3)。微型裸腹蚤和短尾秀体蚤 (*Diaphanosoma brachyurum*) 是东湖绝对的优势枝角类。微型裸腹蚤的密度在 0.05 到 6.2 个/L 之间变化, 这个密度与 1985 年东湖蓝藻爆发前的密度相当, 但是与 1985 年之后的相比要小得多。1985 年后微型裸腹蚤密度的不断增加被认为是鱼类选择性捕食的结果, 即鱼类的捕食强烈地抑制了 *Daphnia*, 间接地提高了微型裸腹蚤的食物资源^[9]。但随着东湖鱼类养殖密度的不断增大, 微型裸腹蚤的密度在 1993—1996 年处于下降的趋势。因此, 可以推测 2003—2006 年这 4 年间如此低的密度也应该与东湖现在更高的鱼类放养量有关。但微型裸腹蚤的种群并没有因此消失, 是幸存的两个优势枝角类之一, 表明它们对鱼类的捕食还是有一定的适应对策的。

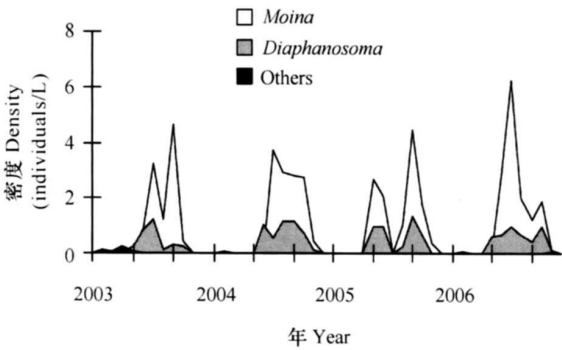


图 3 东湖 I 站各类枝角类的季节变化 (2003—2006)
Fig. 3 Seasonal changes in density of various cladocerans at station I during 2003—2006

当食物不足或质量不高时, 生物体将把更多的能量用于繁殖, 而不是生长, 生物体在个体较小时就可以达到性成熟^[17]。在黄祥飞^[12]的实验中, 培养液除了用 64μm 的浮游生物网过滤的东湖湖水外, 还加喂了总密度为 2×10^5 的小球藻和栅藻, 微型裸腹蚤的绝对生长率为 0.06mm/d。在本研究中微型裸腹蚤的培养液仅为 112μm 的浮游生物网过滤的东湖湖水, 而其绝对生长率平均达到了 0.087mm/d 几乎为上述实验中的 1.5 倍, 而且培养温度 (25℃) 也较黄祥飞^[12]中的 30℃ 要低。从这个结果上讲, 我们实验中的食物应该是充足的。另外, 微型裸腹蚤的最大体长以及绝对生长率在各处理间也没有显著差异, 表明化学信息素的增加对于微型裸腹蚤的生长没有不利影响。这个结果与大型的 *Daphnia* 对鱼类信息素的反应相反^[18]。其他的研究也发现, 当 *Daphnia* 生活在有鱼类化学信息素的环境中时, 它们的个体较正常情况下要小^[19 20]。在我们连续四年的采样中, 野外观察到的微型裸腹蚤最大体长是 1mm。在本研究中, 微型裸腹蚤的最大体长达到了 1.45mm, 意味着鱼类的直接捕食, 相比于化学信息素, 是促进微型裸腹蚤个体小型化的主要因素。鱼类的直接捕食也被认为是象鼻蚤 (*Bosmina*) 个体变小的主要因子^[10]。在形态上通过大小的改变也许是浮游动物逃避鱼类捕食最有效的方式之一^[21]。

在我们的实验中, 虽然微型裸腹蚤总后代数在湖水和低浓度处理中要比在中高浓度中的多一些, 但它们之间并没有统计学上的差异。平均怀卵量、初次繁殖时的体长和第一窝的幼体大小在各处理组间也没有显著差异。这些结果表明高浓度的鱼类化学信息素并没有影响到微型裸腹蚤的繁殖, 但其在初次繁殖时的年龄和体长上相比 *Daphnia* 要小很多。东湖早期的优势枝角类隆线蚤亚种 (*D. carinata* ssp.) 和透明蚤 (*D. hyalina*) 从出生到初次性成熟大概需要 2.5—4.3d 的时间^[12], 而本研究中微型裸腹蚤只需要 < 2d 的时间 (表 1)。在初次繁殖体长上, 我们的结果是微型裸腹蚤在 0.83mm 时开始繁殖。黄祥飞^[12]报道微型裸腹蚤在 0.68mm 时开始繁殖, 这可能与不同的温度设置有关, 因为温度高, 性成熟就早。但无论如何这 2 个体长相比于东湖的优势 *Daphnia* 初次繁殖的体长 (1.24—1.86mm) 要小很多^[22]。这些因素有可能是微型裸腹蚤在高密度鱼类捕食下能形成优势种群的原因。

表 1 微型裸腹蚤生活史参数的比较
Tab. 1 Comparisons of life history parameters of *Moina microps*

温度 Temperature (℃)	初次繁殖年龄 Age at first reproduction (d)	平均怀卵量 Mean clutch size (individuals)	总后代数 Total offspring (individuals)	寿命 Life span (d)	世代时间 Generation time (d)	内禀增长力 r_m (/d)	参考文献 References
25	1.8—1.9	22.1—23.6	99.7—133 2—43	7.27—8.77 5—6	3.82—4.11 10—11	1.22—1.24 0.11—0.69	本研究 Samra <i>et al.</i> (2005)
23	2—3.5	3—10				0.30—0.70	Fileta <i>et al.</i> (2004)
23	2—4	2—10 2—4.2	15—70			0.30—0.70	Fernão-Filho <i>et al.</i> (2003) Ovie & Egborge (2002)
25—29						1.20	Paganó <i>et al.</i> (2000)
31						0.62—0.97	Bonou & Saint-Jean (1998)
26—27			3.6—18 5.75—30.0	4—11.4 7.75—14.5	4.10—7.01 5.78—8.57	0—0.44 0.29—0.43	Jana & Chakrabarti (1993a) Jana & Chakrabarti (1993b)
30	1.7	5.3	48	10.7		0.97	黄祥飞 (1985)
29—33	3—4		0.65—51.4	9—19	5.96—10.90	0.20—0.30	Jana & Pal (1985)
28—30	2	5.7	61.18	13			Munugan (1975)

浮游动物对不利生存环境适应进化的报道还是很多的。如通过孵化湖泊沉积物中的休眠卵, Hairston *et al.*^[23]发现 Constance 湖在富营养化的过程中 (1960—2000), *Daphnia galeata* 对蓝藻的耐受力增强了。当生活在拥挤环境中的母体所产的后代再次生活在拥挤环境中时, 它们进行两性生殖的几率也会降低^[13]。因此, 对于我们结果中各处理间并没有显著差异的可能解释是该物种在长期与鲢鳙的共存中已经适应了它们释放的化学信息素。但在具体的生活史参数上, 我们的研究与前人的相比还是有许多的不同之处 (表 1)。在黄祥飞^[12]的研究中东湖微型裸腹蚤的平均怀卵量和总的后代个体数是 5.3 和 48 在 Munugan^[24] 和 Ovie 和 Egborge^[10] 的研究中, 平均怀卵量是 5.7 和 < 5, 在 13d 和 8d 的时间里分别产了 61.18 和 < 40 个后代; 在我们的研究中这两个指标变成了 22.2—23.6 和 99.7—133。另外微型裸腹蚤的世代时间 (3.82—4.11d) 也比同类其他研究 (4.10—11d) 或 *Daphnia* 要小很多, 但内禀增长力 (1.22—1.24/d) 却要大许多^[25] (表 1)。这些结果意味着微型裸腹蚤有可能已经通过生活史的改变, 如增加每窝的怀卵量和在较短的时间里产生更多的后代, 来维持鱼类捕食压力下的种群数量。

总之, 在本研究中, 高浓度的鱼类化学信息素对微型裸腹蚤的生活史没有产生显著的影响。但有些生活史参数相比于黄祥飞^[12] 的研究还是有许多的

不同之处。微型裸腹蚤有可能已经通过生活史的改变而进化了对不断增大的鱼类捕食的抵抗力。另外, 浮游动物能够通过行为的改变, 如垂直和水平迁移, 来逃避鱼类的捕食。Voş *et al.*^[26] 的定量研究表明 *Daphnia* 的垂直变化对于鱼类捕食的逃避要强于改变初次繁殖时的体长。但行为和生活史的改变对于微型裸腹蚤逃避鱼类捕食的作用孰轻孰重有待进一步的研究。

参考文献:

[1] Blumark C, Hansson L A. Chemical communication in aquatic systems: an introduction [J]. *Oikos*, 2000, **88**: 103—109

[2] Walls M, Laurin-Muhtala C, Ketola M, *et al.* Phenotypic plasticity of *Daphnia* life history traits: the role of predation, food level and toxic cyanobacteria [J]. *Freshwater Biology*, 1997, **38**: 353—364

[3] Stibor H, Lampert W. Components of additive variance in life history traits of *Daphnia hyalina*: seasonal differences in the response to predator signals [J]. *Oikos*, 2000, **88**: 129—138

[4] Kappes H, Sinsch U. Temperature- and predator-induced phenotypic plasticity in *Bosmina coreuta* and *B. pellicula* (Crustacea: Cladocera) [J]. *Freshwater Biology*, 2002, **47**: 1944—1955

[5] Weber A, Vesela S. Optimizing survival under predation: chemical cues modify curvature in *Daphnia galeata* [J]. *Aquatic Ecology*, 2002, **36**: 519—527

[6] Wohlfahrt B, Mikolajewski D, Joop G, *et al.* Are behavioural traits in prey sensitive to the risk imposed by predatory fish [J]? *Freshwater Biology*, 2006, **51**: 76—84

[7] Guhli R D. Zooplankton structure in the Loosdrecht lakes in re-

- lation to trophic status and recent restoration measures [J]. *Hydrobiologia*, 1990, **191**: 173—188
- [8] Xie P, Wu L. Enhancement of *Moina micrura* by the filter-feeding silver and bighead carps in a subtropical Chinese lake [J]. *Archiv für Hydrobiologie*, 2002, **154**(2): 327—340
- [9] Ślusarczyk M. Impact of fish predation on a small-bodied cladoceran: limitation or stimulation [J]? *Hydrobiologia*, 1997, **342** / **343**: 215—221
- [10] Ovi S I, Egborge A B M. The effect of different algal densities of *Scenedesmus acuminatus* on the population growth of *Moina micrura* Kurz (Crustacea: Anomopoda: Moinidae) [J]. *Hydrobiologia*, 2002, **477**: 41—45
- [11] Fileto C, Arcifa M S, Felfino-Filho A S, *et al*. Influence of phytoplankton fractions on growth and reproduction of tropical cladocerans [J]. *Aquatic Ecology*, 2004, **38**: 503—514
- [12] Huang X F. Studies on the biology of three freshwater cladoceran species [J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 1985, **16**(3): 188—195 [黄祥飞. 三种淡水枝角类生物学的研究. 海洋与湖沼, 1985, **16**(3): 188—195]
- [13] Zadereev Y S. Maternal effects, conspecific chemical cues, and switching from parthenogenesis to gametogenesis in the cladoceran *Moina macrocarpa* [J]. *Aquatic Ecology*, 2003, **37**: 251—255
- [14] Pijanowska J, Kowalczyk A. Cues from injured *Daphnia* and from cyclopoids feeding on *Daphnia* can modify life histories of conspecifics [J]. *Hydrobiologia*, 1997, **350**: 99—103
- [15] Lu M, Xie P, Tang H, *et al*. Experimental study of trophic cascade effect of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) in a subtropical lake, Lake Donghu on plankton community and underlying mechanisms of changes of crustacean community [J]. *Hydrobiologia*, 2002, **487**: 19—31
- [16] Yang Y, Huang X, Liu J. Long-term changes in crustacean zooplankton and water quality in a shallow, eutrophic Chinese lake densely stocked with fish [J]. *Hydrobiologia*, 1999, **391**: 195—203
- [17] Burak E S. Life tables of *Moina macrocarpa* (Straus) in successive generations under food and temperature adaptation [J]. *Hydrobiologia*, 1997, **360**: 101—108
- [18] Burks R L, Jeppesen E, Lodge D M. Macrophyte and fish chemicals suppress *Daphnia* growth and alter life-history traits [J]. *Oikos*, 2000, **88**: 139—147
- [19] Machačák J. Indirect effect of planktivorous fish on the growth and reproduction of *Daphnia galeata* [J]. *Hydrobiologia*, 1991, **225**: 193—197
- [20] Reede T. Life history shifts in response to different levels of fish kairomones in *Daphnia* [J]. *Journal of Plankton Research*, 1995, **17**: 1661—1667
- [21] Brooks J L, Dodson S I. Predation, body size, and composition of plankton [J]. *Science*, 1965, **150**: 28—35
- [22] Huang X F. Effect of temperature on development and growth of *Daphnia hyalina* and *D. carinata* spp. [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1984, **8**(2): 207—223 [黄祥飞. 温度对透明和隆线亚种发育、生长的影响. 水生生物学集刊, 1984, **8**(2): 207—223]
- [23] Hairston Jr N G, Lampert W, Căcerest C E, *et al*. Rapid evolution revealed by dominant eggs [J]. *Nature*, 1999, **401**: 446
- [24] Mungan N. Egg production, development and growth in *Moina micrura* Kurz (1874) (Cladocera: Moinidae) [J]. *Freshwater Biology*, 1975, **5**: 245—250
- [25] Sama S S S, Nandini S, Gukti R D. Life history strategies of cladocerans: compositions of tropical and temperate taxa [J]. *Hydrobiologia*, 2005, **542**: 315—333
- [26] Vos M, Flük B J G, Vijverberg J *et al*. From inducible defences to population dynamics: modeling refuge use and life history changes in *Daphnia* [J]. *Oikos*, 2002, **99**: 386—396
- [27] Felfino-Filho A S, Arcifa M S, Fileto C. Resource limitation and food quality for cladocerans in a tropical Brazilian lake [J]. *Hydrobiologia*, 2003, **491**: 201—210
- [28] Pagano M, Saint-Jean L, Arfi R, *et al*. Population growth capacities and regulatory factors in monospecific cultures of the cladocerans *Moina micrura* and *Daphnia excrucians* and the copepod *Themacypops decipiens* from Côte d'Ivoire (West Africa) [J]. *Aquatic Living Resources*, 2000, **13**: 163—172
- [29] Bonou C A, Saint-Jean L. The regulation mechanisms and yield of brackish water populations of *Moina micrura* reared in tanks [J]. *Aquaculture*, 1998, **160**: 69—79
- [30] Jana B B, Chakrabarti R. Life table responses of zooplankton (*Moina micrura* Kurz and *Daphnia carinata* King) to manure application in a culture system [J]. *Aquaculture*, 1993, **117a**: 273—285
- [31] Jana B B, Chakrabarti R. The effect of management protocols for juvenile carp (*Cyprinus carpio*) culture on life history responses of a zooplankton food source *Moina micrura* (Kurz) [J]. *Aquaculture*, 1993, **110b**: 285—300
- [32] Jana B B, Pal G P. 1985. The life history parameters of *Moina micrura* (Kurz) grown in different culturing media [J]. *Water Research*, 1985, **19**: 863—867

THE RESPONSES OF *MOINA MICRURA* IN AQUACULTURE LAKES TO HIGH CONCENTRATIONS OF CHEMICAL CUES FROM PLANKTIVOROUS FISH: A LIFE TABLE DEMOGRAPHIC STUDY

WANG Song-Bo^{1,2}, XIE Ping² and ZHU Long-Xi³

(1. College of chemistry and Materials, South-central university for Nationalities, Wuhan 430074; 2. Institute of Hydrobiology,

Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072; 3. Bureau of Wuxi Hydrology, Wuxi 214023)

Abstract A life table demographic study was performed to explore the responses of *Moina micrura* in aquaculture lakes to high concentrations of chemical cues from planktivorous fish, and the underlying mechanism accounting for the dominance of *M. micrura* under planktivorous fish predation was also discussed. In aquatic systems, the non-visual animals usually assess predation risk through chemical communication. During the experiment, the test cladoceran *M. micrura* Kurz, 1894 was isolated from Lake Donghu, a subtropical eutrophic lake densely stocked with planktivorous fish. The species was kept in an environmental chamber at 25°C and a 14h:10h photoperiod cycle, and cultured with filtered lake water (by 112 µm mesh net) for about one month. Neonates less than 12h old with an average body size of 0.66 mm, were used for life table experiment. Seven bighead carps (a total weight of 1291 g) were collected from Lake Donghu and maintained in an aquarium with a diameter of 1 m. Prior to the experiment, the water in the aquarium was renewed with fresh lake water and the fishes were maintained for two days at a water depth of 0.3 m. The conditioned water and the lake water were both filtered through a 112 µm mesh net and added to the beakers in a gradient of 10:1, 5:1 and 1:1, making a final volume of 50 mL. Meanwhile, the filtered lake water was used for control treatment. The culture water was renewed daily. Eight replicates were set for each treatment. The data were analyzed by ANOVA and Tukey-test was used to compare the differences between treatment means ($\alpha < 0.05$). In the third brood, the number of offspring in the median and high treatments tended to increase, but no statistical difference was found between the treatments in each brood (Hos-t-poc; Tukey-test, $p > 0.05$). The averaged clutch size was 12.4, 21.1 and 26.8 in the first three broods, respectively. The absolute growth rate (0.084–0.096 mm/d) and the maximum body size (1.30–1.45 mm) showed no significant difference between treatments ($F_{3,26} = 1.67$, $p = 0.20$; $F_{3,26} = 1.69$, $p = 0.19$, respectively). Also, the treatments had no significant effect on the size at first reproduction (0.82–0.83 mm) ($F_{3,26} = 0.32$, $p = 0.81$) and the size of neonates in the first brood (0.52–0.54 mm) ($F_{3,26} = 1.38$, $p = 0.27$). Likewise, no difference was found in total offspring and mean clutch size in the four treatments ($F_{3,26} = 2.78$, $p = 0.06$; $F_{3,26} = 0.85$, $p = 0.48$, respectively). The averages for total offspring and mean clutch size were 115 and 22.9, respectively. The generation time (3.82–4.11 d) and r_m (1.22–1.24/d) both showed a narrow range between treatments. These results suggest that high concentrations of fish cues have no significant effects on *M. micrura* inhabiting in lakes with dense planktivorous fish. *M. micrura* may have accustomed to the cues from their long-term coexistence with planktivorous fish. However, total offspring, mean clutch size and intrinsic rate of population increase were much larger when compared to those values reported in other studies, suggesting that *M. micrura* may have already evolved a strong resistance to planktivorous fish predation through life history changes. In addition, decreased generation time, age and size at first reproduction may be also responsible for their resistance to planktivorous fish predation.

Key words Chemical cues; Life history; Mean clutch size; Intrinsic rate of population increase