

温度对发头裸腹蚤 (*Moina irrasa*) 种群动态和两性生殖的影响^{*}

张 赛, 邓道贵^{**}, 李玉颖, 孟小丽, 任盼盼, 雷 娟, 金显文

(淮北师范大学生命科学学院资源植物生物学安徽省重点实验室, 淮北 235000)

摘 要: 在食物浓度为 4×10^5 cells/ml 栅藻的条件下, 研究了 4 种温度 (15、20、25、30℃) 对发头裸腹蚤种群动态及两性生殖的影响. 结果表明, 在 4 种温度下, 发头裸腹蚤种群密度在实验初期逐渐增大, 达到密度最大值后呈现下降的趋势. 随着温度的升高, 发头裸腹蚤成熟时间、首次产幼蚤时间以及达到最大种群密度所需时间均缩短, 但母蚤成熟时的体长及首次所产幼蚤体长则呈缩短的趋势. 除 30℃ 外, 随着温度的升高, 发头裸腹蚤最大种群密度依次增大. 4 种温度下, 发头裸腹蚤的平均最大种群密度分别是 882 ± 136 ind./ (200ml)、 1351 ± 141 ind./ (200ml)、 1643 ± 105 ind./ (200ml) 和 1226 ± 82 ind./ (200ml). 发头裸腹蚤在所有实验组均产生雄体及卵鞍, 且雄体密度随种群密度的增加而增大. 发头裸腹蚤平均最大雄体密度和最大累积卵鞍数均出现在 25℃, 分别为 169 ind./ (200ml) 和 1444 ind./ (200ml). 研究表明温度过高或过低都不利于发头裸腹蚤的种群增长, 且发头裸腹蚤的卵鞍形成倾向于受温度、食物和种群密度的共同影响.

关键词: 发头裸腹蚤; 温度; 种群动态; 卵鞍; 雄体

Effect of temperature on population dynamic and sexual reproduction of *Moina irrasa*

ZHANG Sai, DENG Daogui, LI Yuying, MENG Xiaoli, REN Panpan, LEI Juan & JIN Xianwen

(Anhui Key Laboratory of Resource and Plant Biology, School of Life Science, Huaibei Normal University, Huaibei 235000, P. R. China)

Abstract: Population dynamics and sexual reproduction of *Moina irrasa* were studied under four temperatures (15, 20, 25, 30℃) and food concentrations of 4×10^5 cells/ml. The results showed that population density of *M. irrasa* presented a trend of gradual increase at first stage and decreased after it reached the density peak under four temperatures. With the increase of temperature, mature time, first reproduction time and the time reaching maximal population density declined, while body length of mother at mature and first offspring-produced decreased. In addition, the maximal population density of *M. irrasa* increased with increasing temperatures except 30℃. Mean maximal population densities of *M. irrasa* were 882 ± 136 ind./ (200ml), 1351 ± 141 ind./ (200ml), 1643 ± 105 ind./ (200ml), 1226 ± 82 ind./ (200ml) under four temperatures, respectively. The males and ephippia of *M. irrasa* were observed in all experimental groups, and male density increased with the increase of population density. The maximal male density and accumulative number of ephippia of *M. irrasa* occurred at 25℃, i. e. 169 ind./ (200ml) and 1444 ind./ (200ml). Relationship between temperature and the number of ephippia of *M. irrasa* was observed. Our results suggested that extreme temperature was not good for population growth of *M. irrasa*, and the formation of ephippia of *M. irrasa* was affected by temperature, food and population density together.

Keywords: *Moina irrasa*; temperature; population density; ephippium; male

发头裸腹蚤 (*Moina irrasa*) 是习见的淡水枝角类, 栖息于湖泊、池塘以及缓流的江河中, 具生殖力强、繁殖速度快的特点, 在天然水域中往往成为优势种群, 是一种良好的育苗活饵料蚤种^[1-2]. 枝角类的生活史中具有异型有性世代交替现象, 即孤雌生殖与两性生殖的交替, 在环境恶化时常产生卵鞍 (或休眠卵).

^{*} 国家自然科学基金项目 (30840025, 31070387) 和安徽省教育厅自然科学研究项目 (KJ2008B059, KJ2010A300, KJ2009B251Z) 联合资助. 2010-03-18 收稿; 2010-09-06 收修改稿. 张赛, 男, 1984 年生, 硕士研究生; E-mail: zhangsaisz@163.com.

^{**} 通讯作者; E-mail: dengdg@263.net.

温度和种群密度是影响裸腹蚤属种类生长与生殖的重要因素. 目前国内外研究主要针对温度对裸腹蚤属个体生长发育与生殖的影响^[2-8], 而关于不同温度下裸腹蚤属种群动态和两性生殖等方面的资料报道较少^[9-10]. 赵文等^[9]和陆正和等^[10]分别研究了温度对蒙古裸腹蚤和发头裸腹蚤的种群动态影响. 陆正和等在发头裸腹蚤种群动态的过程中观察到了雄体和休眠卵的产生^[10]. 然而, 对裸腹蚤属种类的种群动态和生殖转化的机理研究还很不成熟, 不同温度下裸腹蚤的雄体产生和卵鞍形成的定量研究没有被关注. 本文研究了不同温度对发头裸腹蚤种群动态、雄体产生和卵鞍形成的影响, 探讨在不同温度下种群密度的变化对发头裸腹蚤的雄体产生和卵鞍形成的作用机制, 以期对发头裸腹蚤的人工规模培养提供技术参考, 为渔业养殖中活体生物饵料的生产服务.

1 材料和方法

1.1 实验材料

发头裸腹蚤种采自淮河水域, 经分离鉴定后, 在 20℃ 光照培养箱中培养一年以上. 实验开始前, 蚤种分别放在 15、20、25、30℃ 的智能光照培养箱中进行实验蚤的培养. 为保证实验的可比性, 实验蚤均来源于同一母蚤的同一子代的幼蚤(出生时间不超过 12h). 实验用培养液为淮北塌陷区东湖湿地公园的池塘水, 煮沸过滤后使用. 食物为用水生 4 号(HB-4)培养基在 25℃ 人工智能气候箱中充气培养的斜生栅藻(*Scenedesmus obliquus*).

1.2 实验方法

实验分别在 15、20、25、30℃ 的智能光照培养箱中进行, 光照时间为 L:D=12h:12h, 光照强度为 2500lx. 每个温度设三个重复. 实验容器为 250ml 的烧杯, 内盛 200ml 培养液, 每个烧杯中放入 15 只幼蚤(出生时间不超过 12h). 食物为栅藻, 密度为 4×10^5 cells/ml. 实验持续 30d, 每天更换培养液. 记录成熟时间(即首次抱卵时间)、首次产幼蚤时间、成熟时体长(即首次抱卵时母蚤体长). 幼蚤置于显微镜下观察, 辨别雌、雄体, 并记录种群数量、雄体数以及产出的卵鞍.

2 结果

2.1 温度对发头裸腹蚤生长发育及种群动态的影响

随着温度升高, 发头裸腹蚤成熟时间和首次产幼蚤时间提前, 成熟时体长(首次抱卵体长)呈缩短的趋势. 15、20、25、30℃ 下, 发头裸腹蚤成熟时间分别为 10、4、3、2d, 首次产幼蚤时间分别为 14、6、4、3d. 另外, 发头裸腹蚤最大成熟体长为 1.21 ± 0.01 mm, 出现在 15℃ 下, 20、25、30℃ 下成熟体长分别为 1.16 ± 0.01 、 1.08 ± 0.03 、 1.05 ± 0.02 mm.

在 4 个温度下, 发头裸腹蚤种群密度在实验初期均逐渐增大, 达到最大值后呈现下降的趋势(图 1a). 15、20、25、30℃ 下发头裸腹蚤平均最大种群密度分别是 882 ± 136 、 1351 ± 141 、 1643 ± 105 、 1226 ± 82 ind./ (200ml). 随着温度的升高, 发头裸腹蚤种群密度达到最大值的时间缩短, 分别为 24、22、22、16d. 温度(15–25℃)与发头裸腹蚤最大种群密度之间存在显著的正相关性($r=0.9313$, $n=9$, $P<0.01$).

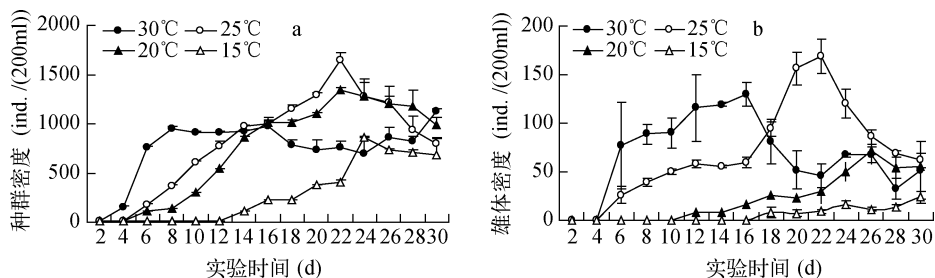


图 1 不同温度下发头裸腹蚤种群密度(a)、雄体密度(b)的变化

Fig. 1 The changes of population density(a) and male density(b) of *M. irrasa* under different temperatures

2.2 温度对发头裸腹蚤雄体和卵鞍形成的影响

实验期间,所有实验组都出现雄体,且较高温度(25℃和30℃)下产生的雄体密度明显高于较低温度(15℃和20℃)(图1b).随着温度的升高,发头裸腹蚤出现雄体的时间和达到最大雄体密度的时间均提前,4种温度下分别为18、10、8、5d及30、26、22、16d,发头裸腹蚤平均最大雄体密度分别为 24 ± 6 、 72 ± 13 、 169 ± 17 、 147 ± 5 ind./ (200ml),最大雄体密度与温度之间呈显著的正相关($r=0.885$, $n=12$, $P<0.01$).对比图1a和图1b可以发现,发头裸腹蚤雄体密度与种群密度变化呈现相似的趋势,处于持续上升阶段时的种群密度与对应的雄体密度呈显著的正相关($P<0.01$),15、20、25、30℃下相关性分别为: $r=0.941$, $n=12$; $r=0.940$, $n=11$; $r=0.929$, $n=11$; $r=0.961$, $n=8$.

4个温度组均有卵鞍产生,首次抱卵鞍时间分别为20、12、8、5d,且较高温度(25℃和30℃)下产生卵鞍数明显高于较低温度(15℃和20℃)(图2).25℃下所产的卵鞍累积数最多,为1444 ind./ (200ml).温度与发头裸腹蚤卵鞍数之间呈显著的相关性($r=0.730$, $n=12$, $P<0.01$).

3 讨论

3.1 温度对发头裸腹蚤生长发育与种群动态的影响

温度是影响枝角类生长和生殖的重要外界因素^[2,4,11].在单克隆培养实验中,发头裸腹蚤的性成熟时间随温度的升高明显缩短,在15、20、25、30℃下的性成熟时间分别约为4、2、5、1.4、1d;发头裸腹蚤的成熟体长变短^[2,8].葛家春等^[7]也得出类似的结论.在本研究的种群培养实验中,尽管发头裸腹蚤的成熟时间和成熟体长也呈现随温度升高而缩短的趋势,但与单克隆培养相比,低温(15℃)明显推迟了发头裸腹蚤的成熟时间(由单克隆培养的4d延长到种群培养的10d).低温下,种群培养明显推迟发头裸腹蚤性成熟时间的原因有待于进一步探讨.

陆正和等^[10]发现,25℃下发头裸腹蚤的种群密度增长快于20℃,随着种群密度的增大,发头裸腹蚤因食物不足、代谢物增多和溶氧量下降等因素而使其两性生殖,种群密度随即下降,本研究结果与之一致.在一定时间范围内,温度(15–25℃)和发头裸腹蚤最大种群密度呈显著正相关($r=0.931$, $n=9$, $P<0.01$),温度偏高(30℃)或偏低(15℃)都不利于发头裸腹蚤种群增长.另外,在本实验中,4种温度下发头裸腹蚤种群密度均在实验初期逐渐增大,达到最大值后发头裸腹蚤的抱卵量下降或不抱卵,种群数量相对稳定或下降,这种现象也发生在一个德国水库里. Hülsmann 分析 *Daphnia galeata* 出现仲夏衰落的原因后发现,当种群增长到一个相对高的密度(>30 ind./L)时, *D. galeata* 的成熟个体产生的后代将一直处于低的水平,以致后来的 *D. galeata* 种群个体大都处于相对一致的发育期.当所有的高峰个体达到它们的最大寿命时, *D. galeata* 种群密度将显著下降^[12].

3.2 温度和种群密度对发头裸腹蚤雄体产生和卵鞍(或休眠卵)形成的影响

温度和种群密度是影响枝角类雄体产生的重要因子. D'Abramo 认为温度抑制多刺裸腹蚤的摄食率,进而影响卵的性别发育^[13]. Suomalainen 指出大型蚤在30℃高温和10℃低温下易出现雄体,而裸腹蚤在低温14–17℃时易产生雄体^[14].但邓道贵等观察到大型蚤在高温(30℃)下产生的雄体密度明显低于较低温度(15℃和20℃)^[15].除温度外,陆正和等发现种群密度的增加导致发头裸腹蚤生存空间的限制和食物浓度的不足,从而诱导其进行两性生殖,产生雄体和休眠卵^[10].但 Innes 认为蚤状蚤雄体的产生不受种群密度的影响,在首次产幼蚤数中雄体比例可达40%,且雄体的出现刺激了两性雌体(sexual female)的产生^[16].本研究所有的实验组均产生雄体,低温(15℃)下发头裸腹蚤雄体出现的时间最晚,数量也最少.随着温度升高和种群密度的增大,雄体密度也随之增加,处于持续上升阶段时的种群密度与对应的雄体密度之间($P<0.01$)呈显著的正相关性.因此,我们认为发头裸腹蚤雄体的产生除受温度影响外,更受到种群密度大小的制约.

较多的研究表明,枝角类卵鞍(或休眠卵)的形成主要受温度、食物条件和种群密度的影响^[15, 17–21].在短光照下,种群密度在0.06–0.60 ind./ml范围内,大型蚤产生体眠卵的数量与种群密度呈线性相关^[17]. Car-

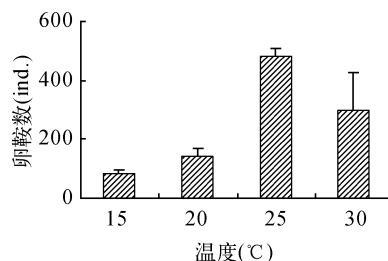


图2 不同温度下发头裸腹蚤卵鞍数
Fig. 2 The number of ephippia of *M. irrasa* under different temperatures

valho 和 Hughes^[18]发现,在高的种群密度下,大型蚤雌蚤间增加的碰撞率与其产生的卵鞍个数之间有显著相关性。Fitzsimmons 和 Innes^[19]发现,拥挤诱导蚤状蚤增加休眠卵,减少幼体后代;随着母蚤的衰老,后代性比更倾向于雄体。Smith 等^[20]发现,食物质量数量比与种群密度的共同作用能够诱导 *Daphnia lumholtzi* 的卵鞍形成。邓道贵等^[15]发现在 15℃ 和 20℃ 下,食物浓度与大型蚤休眠卵(或卵鞍)累积数之间均呈显著的负相关性,认为大型蚤休眠卵(或卵鞍)的形成受温度、食物浓度与种群密度的共同影响。本研究中,4 个温度下所有实验组发头裸腹蚤都产生卵鞍(或休眠卵),25℃ 和 30℃ 下所产的卵鞍(或休眠卵)数明显高于 15℃ 和 20℃,且温度与发头裸腹蚤的卵鞍数呈显著相关性($r=0.730, n=12, P<0.01$)。另外,在实验后期,当发头裸腹蚤种群达到较高的密度时,尽管每天更换高食物浓度的培养液,但我们观察到在下次更换培养液前烧杯中的培养液已较透明,反映出单位体积内每个蚤类的食物资源是缺乏的。因此,我们认为适宜的温度(20℃、25℃)能明显增大发头裸腹蚤的种群密度,而较高的种群密度和食物不足导致发头裸腹蚤雄体和两性生殖雌体的产生,促进发头裸腹蚤卵鞍(或休眠卵)的形成。

致谢:感谢薛琰、李艳、李秀秀、王龙龙同学在实验过程中给予的帮助!

4 参考文献

- [1] 蒋燮治,堵南山. 中国动物志(淡水枝角类). 北京: 科学出版社, 1979.
- [2] Deng DG, Xie P. Effect of food and temperature on the growth and development of *Moina irrasa* (Cladocera: Moinidae). *Journal of Freshwater Ecology*, 2003, **18**(4): 503-513.
- [3] 王 岩,何志辉,蔡 云. 温度和盐度对蒙古裸腹蚤发育的影响. 海洋与湖沼, 2000, **31**(1): 8-14.
- [4] 何志辉. 温度对多刺裸腹蚤(*Moina macrocopa* Straus)的繁殖力和内禀增长能力(r_m)的影响. 大连水产学院学报, 1983, **1**: 1-8.
- [5] Murgan N. Egg production, development and growth in *Moina micrura* kürz (Cladocera: Moinidae). *Freshwater Biology*, 1975, (2): 245-250.
- [6] 黄祥飞. 温度对近亲裸腹蚤发育、生长和卵的生产量的影响. 水生生物学集刊, 1983, **8**(1): 105-112.
- [7] 葛家春,黄 诚. 发头裸腹蚤生长、生殖的研究. 水生生物学报, 1999, **23**: 112-119.
- [8] 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.
- [9] 赵 文,徐宪仲,王 超等. 温度对两品系蒙古裸腹蚤种群增长和生殖的影响. 湖泊科学, 2004, **16**(4): 365-370.
- [10] 陆正和,杨家新,王 笑. 食物种类及温度对发头裸腹蚤种群动态的影响. 淡水渔业, 2002, **32**(3): 38-39.
- [11] 邓道贵,靳 英,柳 明等. 温度和食物浓度对老年低额蚤生长及生殖的影响. 水生生物学报, 2006, **30**(3): 298-303.
- [12] Hülsmann S. Recruitment patterns of *Daphnia*: a key for understanding midsummer declines? *Hydrobiologia*, 2003, **491**: 35-46.
- [13] D'Abramo LR. Ingestion rate decrease as the stimulus for sexuality in populations of *Moina macrocopa*. *Limnology and Oceanography*, 1980, **25**: 422-429.
- [14] Suomalinen E. Parthenogenesis in animals. *Advances in Genetics*, 1950, **3**: 193-253.
- [15] 邓道贵,孟 琼,殷四涛等. 温度和食物浓度对大型蚤 *Daphnia magna* 种群动态和两性生殖的影响. 生态学报, 2008, **28**(9): 4268-4276.
- [16] Innes DJ. Sexual reproduction of *Daphnia pulex* in a temporary habitat. *Oecologia*, 1997, **11**(1): 53-60.
- [17] Stross RG, Hill JC. Diapause induction in *Daphnia* requires two stimuli. *Science*, 1965, **150**: 1462-1464.
- [18] Carvalho GR, Hughes RN. The effect of food availability, female culture density and photoperiod on ephippia production in *Daphnia magna* Straus (Crustacea, Cladocera). *Freshwater Biology*, 1983, **13**: 37-46.
- [19] Fitzsimmons JM, Innes DJ. Inter-genotype variation in reproductive response to crowding among *Daphnia pulex*. *Hydrobiologia*, 2006, **568**: 187-205.
- [20] Smith AS, Acharya K, Jack J. Overcrowding, food and phosphorus limitation effects on ephippia production and population dynamics in the invasive species *Daphnia lumholtzi*. *Hydrobiologia*, 2009, **618**: 47-56.
- [21] 曹文清,林元烧,郭东晖. 若干生态因子对蒙古裸腹蚤生殖方式转变效应的实验. 台湾海峡, 2001, **20**(增刊): 190-195.