

温度和食物浓度对老年低额哲水蚤生长与生殖的影响

邓道贵 靳英柳 明原丽霞

(淮北煤炭师范学院生物系, 淮北 235000)

摘要: 在 20℃ 和 25℃ 培养温度下研究了 3 种食物浓度对老年低额哲水蚤 (*Simoecephalus vetulus* OF Møller) 生长与生殖的影响。结果表明: 老年低额哲水蚤有 4 个幼龄(在 20℃、低食物浓度下有 5 个)和 10—13 个成龄。成龄的龄期明显高于幼龄, 第一成龄的发育时间一般最长。在相同温度下, 老年低额哲水蚤的首次怀卵所需时间及各龄期一般随食物浓度的增加而缩短, 而各龄的平均体长及其生殖量则呈相反的趋势。在相同的食物条件下, 25℃ 老年低额哲水蚤在生长后期的平均体长明显高于 20℃, 而各龄期却小于 20℃。最大体长是 2.82mm, 出现在 25℃、高食物浓度下的第 16 龄。老年低额哲水蚤的平均最大生殖量和最大内禀增长率分别为 144 个和 0.41/d, 均出现在 25℃ 和高食物浓度下。统计分析显示老年低额哲水蚤的生殖量与体长之间存在显著的相关性。老年低额哲水蚤的食物浓度域值小于 1×10^4 cells/mL (*Scenedesmus obliquus*)。作者探讨了老年低额哲水蚤在渔业生产中作为活体饵料养殖对象的可能性。

关键词: 老年低额哲水蚤; 食物浓度; 生长; 生殖

中图分类号: Q958 文献标识码: A 文章编号: 1009-3207(2006)03-0298-06

枝角类是淡水生态系统中常见的浮游甲壳动物, 是淡水食物链中不可缺少的组成成分。因其具有营养丰富、生殖量高、易培养等特点, 也是鱼虾蟹类苗种培育中活饵料的理想对象。温度与食物是影响枝角类生长和发育的两个重要因素。有关枝角类生物学的研究, 国内外一般多以溞属和裸腹溞属种类作为研究对象^[1-11], 而对低额哲属的种类研究仅见少量的报道^[12-15]。老年低额哲是个体较大、怀卵量高、适应性广的习见淡水枝角类。以前对老年低额哲的研究多停留在单个食物密度培养^[12, 13]下进行, 本文在 20℃ 和 25℃ 下研究了 3 种食物浓度对老年低额哲生长与生殖的影响, 旨在丰富枝角类生物学方面的内容, 也为探索大规模人工培养老年低额哲增添了初步的基础资料。

1 材料与方法

试验材料老年低额哲采自淮北煤矿塌陷区水体。经鉴定分离后, 在实验室内培养三代以上。取来自同一母体的新生幼哲作为试验哲, 用曝气 3 天

的自来水做培养液。食物为用水生 4 号培养基养成的斜生栅藻 (*Scenedesmus obliquus*), 实验设立高、中、低 3 个浓度梯度, 其密度分别为 2×10^5 cells/mL、 1×10^5 cells/mL、 1×10^4 cells/mL。

实验分别在 20℃ 和 25℃ 的光照培养箱中进行, 光照时间为 L:D=12:12。每个食物浓度设 10 个平行组, 每个平行组放入 1 个幼哲。所有幼哲均来自同一母哲, 出生后时间不超过 12h。每个幼哲单独培养于盛 40mL 培养液的小烧杯中。试验期间, 每天上午、下午、晚上各观察一次。测量个体体长、记录龄期、产仔数和存活数, 所产幼哲及时从亲哲容器内移出。每天更换培养液以保证食物浓度的准确性。亲哲一生均单独培养, 直至死亡。

老年低额哲的内禀增长率(r_m)根据下列公式估算^[11]

$$1 = \sum_{x=0}^N e^{-r_x l_x m_x}$$

r 为老年低额哲种群的每日增长率(d^{-1}), x 为年龄值(d), l_x 为年龄 x 时的存活率, m_x 是年龄 x 时的产卵数。

收稿日期: 2005-10-31; 修订日期: 2005-12-6

基金项目: 安徽省教育厅自然科学基金资助项目(2000JK228B)

作者简介: 邓道贵(1969—), 男, 安徽巢湖人, 副教授, 博士, 主要从事无脊椎动物繁殖生物学和浮游生物生态学研究。E-mail: dengdg@263.net

2 结果

2.1 温度和食物浓度对老年低额须鲶体长和龄期的影响

老年低额须鲶有 4 个幼龄(在 20℃、低食物浓度下有 5 个)和 10—13 个成龄。在相同的温度下,高、中食物浓度对老年低额须鲶的各龄平均体长影响较小,但明显高于低食物浓度。在相同的食物浓度下,25℃老年低额须鲶在生长后期的平均体长高于 20℃。老年低额须鲶在幼龄和前几个成龄体长增长较快,而生长后期其体长增长缓慢(图 1)。最大体长是 2.82mm,出现在 25℃、高食物浓度下的第 16 龄。在相同的温度条件下,食物浓度对老年低额须鲶第一次怀卵体长影响较小

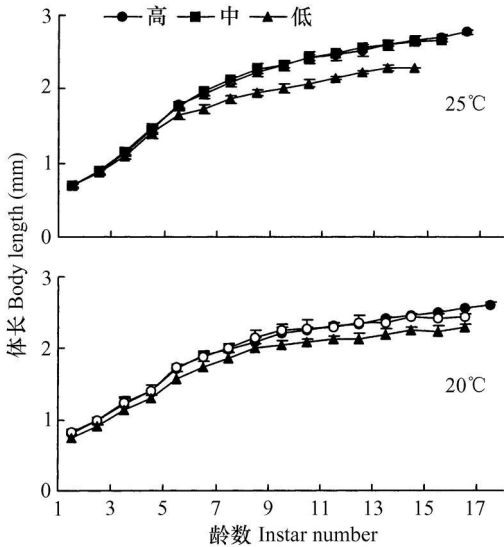


图1 在两种温度与 3 种食物浓度下老年低额须鲶平均体长
Fig.1 Mean body length of *S. vetulus* under two temperatures (20℃ and 25℃) and three food concentrations (high, middle and low). Bars represent one standard deviation

(25℃低食物浓度下的体长除外)(表 1)。
老年低额须鲶在 20℃时相邻龄数间的发育时间比 25℃长(图 2)。在相同的温度下,食物浓度对老年低额须鲶各龄期的影响较小。老年低额须鲶成龄的龄期显著高于幼龄,第一成龄的发育时间一般最长。在 20℃,与较高食物浓度条件相比,低食物浓度下第 2 龄的龄期相对延长而第 5 龄的龄期相对较短。

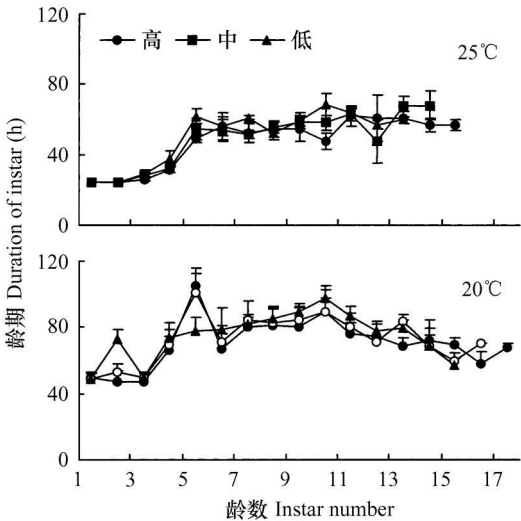


图 2 温度和食物浓度与老年低额须鲶各龄期间的关系
Fig.2 Relationship between duration of instar and instar number of *S. vetulus* under two temperatures and three food concentrations. Bars represent one standard deviation

25℃下食物浓度对老年低额须鲶第一次怀卵时间影响不大,但 20℃下食物浓度对老年低额须鲶第一次怀卵时间却有较大的影响(表 1)。20℃低食物浓度培养下的老年低额须鲶首次怀卵需 11.63±0.31(d),比高、中浓度下的须鲶所需时间明显延长。

表 1 两种温度和 3 种食物浓度条件下老年低额须鲶生长与生殖特征
Tab.1 Characteristics of growth and reproduction of *S. vetulus* under two temperatures and three food concentrations

项目	20℃			25℃		
	高	中	低	高	中	低
平均寿命(d)	41.2	37.7	44.1	26.0	20.7	20.2
最高寿命(d)	52.1	49.6	47.9	29.8	30.2	27.0
平均生殖量(个)	99.6±35.9	66.5±28.9	57.8±17.9	144±40.3	98±44.2	43.1±14.0
最大生殖量(个)	141	116	78	194	150	55
最大体长(mm)	2.63	2.47	2.33	2.82	2.68	2.29
第一次怀卵时间(d)	8.68±0.45	9.19±0.38	11.63±0.31	4.39±0.09	4.49±0.16	4.77±0.26
第一次怀卵体长(mm)	1.72±0.06	1.73±0.04	1.74±0.08	1.79±0.04	1.77±0.05	1.64±0.06
内禀增长率(r _m)	0.214	0.201	0.171	0.411	0.373	0.272
世代时间(d)	32.9	30.7	30.5	17.9	19.6	17.1
平均寿命/世代时间	1.25	1.23	1.45	1.45	1.18	1.18

2.2 温度和食物浓度对老年低额鰶生殖的影响

20℃和25℃高、中食物浓度下的老年低额鰶产卵数均明显高于低食物浓度下的产卵数(图3)。20℃和25℃下老年低额鰶最高产卵数分别出现在高

浓度的第13、第9龄,为32个和28个。在不同的温度和食物条件下,产卵数的波动曲线表明老年低额鰶在生长过程中生殖生长可能与营养生长存在一定的交替现象(图3)。

在相同的温度下,老年低额鰶的平均生殖量和最大生殖量均随食物浓度的下降而逐渐减少(表1)。在高食物浓度下,20℃和25℃温度下的老年低额鰶一生的平均生殖量分别为 99.6 ± 35.9 个和 144 ± 40.3 个,而在低食物浓度下,20℃和25℃温度下的老年低额鰶一生的平均生殖量分别为 57.8 ± 17.9 个和 43.1 ± 14.0 个。统计分析显示:在不同的温度和食物条件下,老年低额鰶的产卵数与体长之间均存在极显著的相关性($P < 0.01$)(图4)。

从表1可看出,温度和食物浓度均影响老年低额鰶的内稟增长率。不同温度下,最高内稟增长率均出现在高食物培养条件下(20℃为0.214和25℃为0.411),且随食物浓度的下降而下降。20℃($r = 0.95$)和25℃($r = 0.96$)老年低额鰶内稟增长率与食物浓度水平均呈显著的相关性($P < 0.05, n = 3$)。

图3 在两种温度和3种食物浓度下老年低额鰶的产卵数
Fig. 3 Eggs of *S. vetulus* under two temperatures and three food concentrations. Bars represent one standard deviation

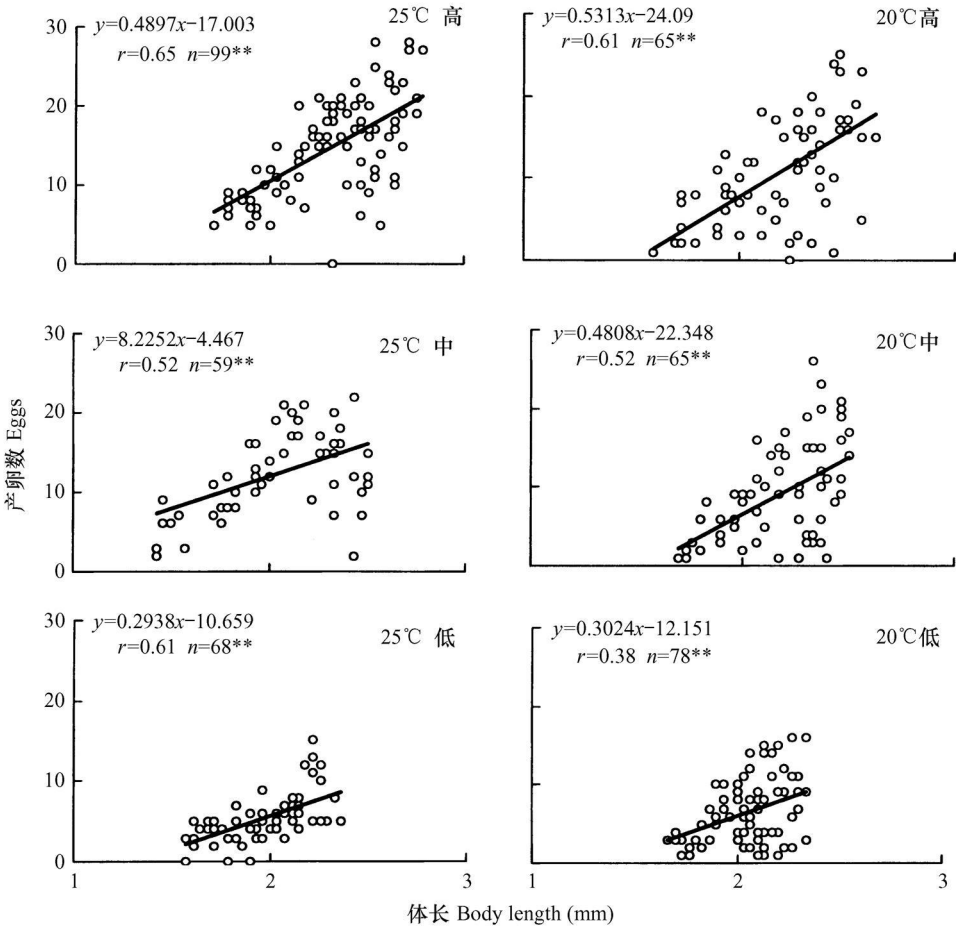
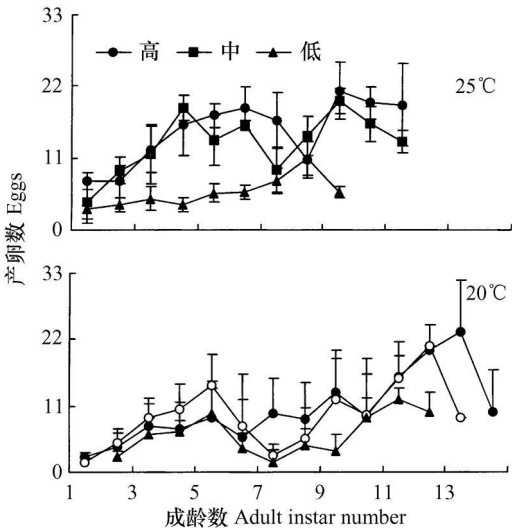


图4 两种温度和3种食物浓度下老年低额鰶的体长与产卵数间的关系
Fig. 4 Relationship between body length and eggs of *S. vetulus* under two temperatures and three food concentrations

2.3 温度和食物浓度对老年低额溞存活率和寿命的影响

在 25℃ 中、低食物浓度下, 老年低额溞在第 7 龄后开始出现死亡现象, 而高浓度在第 11 龄后才出现死亡, 且高浓度的存活率始终高于中、低浓度。20℃ 下不同浓度死亡开始出现在 4—6 龄, 且高浓度的存活率低于低浓度(图 5)。温度和食物浓度影响老年低额溞的平均寿命和最高寿命(表 1)。在 20℃ 下, 老年低额溞在高、中食物浓度下的最高寿命均大于低食物水平, 而平均寿命均小于低食物水平。在 25℃ 下, 老年低额溞在高、中食物浓度下的最高寿命和平均寿命均高于低食物浓度水平。

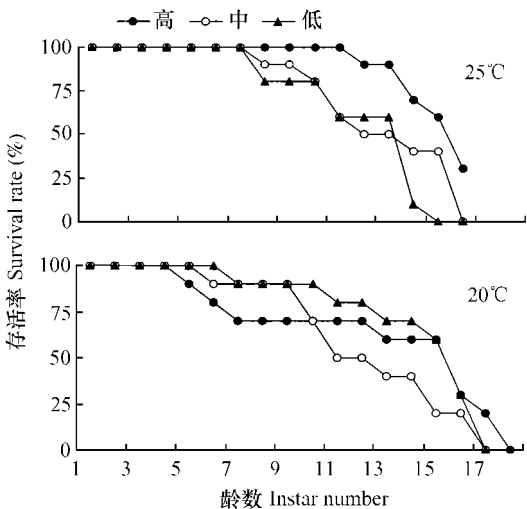


图5 两种温度和 3 种食物浓度下老年低额溞的存活率(%)
Fig. 5 Survival rates(%) of *S. vetulus* under two temperatures and three food concentrations

3 讨论

3.1 食物浓度与生长、生殖的关系

已有研究结果表明, 食物浓度影响枝角类的生长与发育^[1,2,9]。当食物浓度不足时, 多刺裸腹溞(*Moina macrocopa*) 的成熟时间及龄期延长、生殖率下降^[3]。相似的结论也被 Nandini 和 Sama 证实^[9]。与上述结果一致的是: 在本实验中, 老年低额溞的生长与生殖参数(除龄期外)都明显受食物水平制约。本研究表明: 随食物浓度增加, 老年低额溞的首次怀卵时间呈提前趋势, 即高浓度下培养的溞最早开始怀卵, 低浓度下的溞首次怀卵时间最迟。这与堵南山等对隆线溞的研究情况相反, 即隆线溞在食物浓度低时怀卵时间较高食物浓度时提前^[4]。另外, 在高、中食物浓度下, 老年低额溞幼龄期 4 个, 而

低浓度培养的老年低额溞幼龄期为 5 个, 与王丹丽等老年低额溞幼龄期 4—5 个的研究结果相一致^[12]。

Lampert 和 Schoeber 最早建议把食物浓度域值(Threshold food concentration)作为影响种群密度的一个因素^[16]。后来, 这一概念被很多生态学家运用并给予了具体的定义: 即造成种群净生殖率为 1 时的食物浓度^[17]或种群增长率为零时的食物浓度^[18]。在本研究中, 老年低额溞的净生殖率远大于 1、种群增长率也大于 0, 说明老年低额溞所需的食物浓度域值应小于 1×10^4 cells/mL 栅藻密度。这一结果与 Nandini 和 Sama 的结论相一致^[9]。有研究显示: 食物浓度域值与枝角类体长大小密切相关, 对溞科来说, 大型种类比小型种类具更小的域值^[5, 19]。Nandini 和 Sama 在研究了几种枝角类后发现: 当枝角类的体长小于 1.3mm 时, 食物浓度域值随体长的增加而增加, 而当枝角类的体长大于 1.3mm 时食物浓度域值呈现相反的趋势^[9]。因此, 老年低额溞具较低的食物浓度域值可能与该溞的个体较大(本实验中体长可达 2.8mm)有关。

一些研究表明, 在一定的条件下, 过高的食物密度不利于枝角类的生长与生殖。Nandini 和 Sama 发现老年低额溞的种群参数(平均寿命、净生殖力、世代时间、种群增长率)在较低的食物密度下具有更高的水平。并认为随着食物密度增加而老年低额溞存活率和生殖率下降的原因可能是由于食物聚集的影响^[10]。事实上, 在高的食物浓度下, 某些枝角类为了清除食物对胸部附肢的障碍而花费更多的能量, 使其处于饥饿状态^[6]。本研究观察发现, 在较低的温度下, 生活在较高食物水平下的老年低额溞(尤其是在幼龄期)其身体更容易被自身产生的排泄物所缠绕, 影响其胸部附肢活动, 不利于其生长和繁殖。此外, 老年低额溞具仰游习性, 常贴烧杯的底壁和侧壁运动, 也增加了这种不利现象的发生。

3.2 温度和生长与生殖的关系

本研究显示, 老年低额溞的生殖与发育参数均受温度影响, 且寿命、第一次怀卵时间与温度呈现相反的趋势。25℃ 下老年低额溞的生殖量、最大体长及内禀增长率均比 20℃ 下高, 说明前者更适合老年低额溞的生长, 这与该溞适于生活在较高水温环境下的现象相一致^[20]。另外, 老年低额溞随温度的升高, 生长加快, 龄期缩短(幼龄期更明显); 随龄数增大, 龄期逐渐延长, 生长速度变慢, 这与进入成龄期后能量主要用于生殖活动相关。这一现象也出现在

其他枝角类的生长发育中^[1, 12, 15]。此外, 不受食物浓度的影响, 老年低额^[1]在幼龄期结束到第一成龄结束所需的时间最长, 其原因还有待于深入研究。

King 认为行孤雌生殖的枝角类其平均寿命(Average lifespan)与世代时间(Generation time)之比应为 $2^{[21]}$ 。但 Sarma 和 Rao 研究发现轮虫的比值为 $1.6 \sim 3.9^{[22]}$ 。在本研究中, 老年低额^[1]的比值为 $1.18 \sim 1.45$, 与 Nandini 和 Sarma 的研究结论(比值为 $1.16 \sim 1.25$)相近^[10]。

3.3 温度与食物浓度与内禀增长率的关系

内禀增长率(r_m)是阐明枝角类种群动态机制的关键参数。动物的内禀增长率决定于生殖能力、寿命和发育速率, 同时受温度、食物条件等外界因素影响。本研究发现, 老年低额^[1]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。这与王丹丽等人^[13]的研究结论(即枝角类的内禀增长率主要决定于第一胎所需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)存在一定的差异。钱云霞等人通过对食物、温度及其交互作用研究发现食物、温度与老年低额^[1]的内禀增长率存在显著的相关关系^[14]。在相同的温度下, 由于食物条件的不同, 老年低额^[1]的内禀增长率产生较大的差异^[13, 14]。

从对老年低额^[1]已有的研究结果来看, 老年低额^[1]的食物域值相对较低, 能耐受在低食物水平下生存^[9], 且老年低额^[1]对温度的适应范围较广^[12], 这些都有利于种的保存。在^[1]科枝角类中, 老年低额^[1]的内禀增长率较大^[13]。因此, 老年低额^[1]可作为渔业活体饵料的养殖对象。野外调查还发现, 老年低额^[1]是淮北煤矿塌陷区水体浮游甲壳动物中的重要类群, 春末夏初为其繁殖盛期(未发表的资料), 此时也正是许多鱼虾蟹的人工繁殖季节。若把老年低额^[1]作为鱼虾蟹幼苗的活饵料进行规模人工养殖将获得十分重要的经济效益和社会效益。

参考文献:

[1] Deng D G, Xie P. Effect of food and temperature on the growth and development of *Moina irrasa* (Cladocera: Moinidae) [J]. *Journal of Freshwater Ecology*, 2003, **18**(4): 503—513

[2] Sterner R W, Hagemeyer D D, Smith W L, et al. Phytoplankton nutrient limitation and food quality for *Daphnia*. *Limnology & Oceanography*, 1993, **38**(4): 857—871

[3] Burak S B. Life tables of *Moina macrocopa* (Straus) in successive generations under food and temperature adaptation [J]. *Hydrobiologia*, 1997, **360**: 101—108

[4] Du N S, Lai W, Deng X H, et al. The growth and reproduction of *Daphnia carinata* King [J]. *Journal of East China Normal University*, 1983, (1): 85—91 [堵南山, 赖伟, 邓雪怀, 等. 隆线^[4] (*Daphnia carinata* King) 生长与生殖力. 华东师范大学学报, 1983, (1) 85—91]

[5] Gliwicz Z M, Lampert W. Food thresholds in *Daphnia* species in the absence and presence of blue-green filaments [J]. *Ecology*, 1990, **71**(2): 691—702

[6] Porter K G, Gerritsen J, Orcutt J D. The effect of food concentration on swimming patterns, feeding behaviour, ingestion, assimilation and respiration by *Daphnia* [J]. *Limnology & Oceanography*, 1982, **27**: 935—949

[7] Ge J C, Huang C. Study on growth and reproduction in *Moina irrasa* (Cladocera) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1999, **23**(2): 112—119 [葛家春, 黄诚. 发头裸腹^[7]生长、生殖的研究. 水生生物学报, 1999, **23**(2): 112—119]

[8] Zhuang D H. Biology of *Ceriodaphnia quadrangula* (O. F. Muller), an experimental animal for life-cycle toxicity test [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1994, **18**(3): 197—207 [庄德辉. 生活周期毒性试验动物——方形网纹^[8]的生物学. 水生生物学报, 1994, **18**(3): 197—207]

[9] Nandini S, Sama S S S. Population growth of some genera of cladocerans (Cladocera) in relation to algal food (*Chlorella vulgaris*) levels [J]. *Hydrobiologia*, 2003, **491**: 211—219

[10] Nandini S, Sama S S S. Lfetable demography of four cladoceran species in relation to algal food (*Chlorella vulgaris*) density [J]. *Hydrobiologia*, 2000, **435**: 117—126

[11] Amarasinghe P B, Boersma M, Vüverberg J. The effect of temperature, and food quantity and quality on the growth and development rates in laboratory-cultured copepods and cladocerans from a Sri Lankan reservoir [J]. *Hydrobiologia*, 1997, **360**: 131—144

[12] Wang D L, Li M Y, Yang T Y, Hu Z. Effects of temperature and salinity on growth and reproduction of *Simoccephalus vetulus* and *Daphnia pulex* [J]. *Journal of Fisheries China*, 1996, **20**(4): 379—383 [王丹丽, 李明云, 杨天勇, 胡章. 温度与盐度对老年低额^[12]和蚤状^[12]生长和生殖的影响. 水产学报, 1996, **20**(4): 379—383]

[13] Wang D L, Li M Y, Wang H B, et al. The effects of temperature on the innate increase capacity (r_m) of *Simoccephalus vetulus* Muller and *Daphnia pulex* Leydig [J]. *Journal of Ningbo University*, 1996, **9**(1): 36—43 [王丹丽, 李明云, 汪海波, 等. 温度对老年低额^[13]和蚤状^[13]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]

[14] Qian Y X, Lu K H, Zhang X Q. Effects of food and temperature on the population dynamics of *Simoccephalus vetulus* [J]. *Journal of Zhejiang Ocean University*, 2001, **20**(3): 209—212 [钱云霞, 陆开宏, 张晓琴. 温度与食物对老年低额^[14]种群动态的影响. 浙江海洋学院学报(自), 2001, **20**(3): 209—212]

[15] Wang D L, Lai W. On growth and production of *Simoccephalus vetuloides* Sars [J]. *Journal of Fisheries China*, **14**(4): 304—312 [王丹丽, 赖伟. 拟老年低额^[15]的生长和生殖. 水产学报, 1990, **14**(4): 304—312]

- [16] Lampert W, Schober U. The importance of 'threshold' food concentrations. In Kerfoot, W C (ed.), *Evolution and Ecology of Zooplankton Communities* [M]. University Press of New England, Hanover, New Hampshire, 1980, 264—267
- [17] Stemberger R S, Gilbert J J. Assessment of threshold food levels and population growth in planktonic rotifers [J]. *Ergebn. Limnol.*, 1985, **21**: 269—275
- [18] Lampert W, Sommer U. *Limnecology: the Ecology of Lakes and Streams* [M]. New York: Oxford University press, 1997
- [19] Gliwicz Z M. Food thresholds and body size in cladocerans [J]. *Nature*, 1990, **343**: 638—640
- [20] Jiang X Z, Du N S. *Fauna Sinica. Freshwater Cladocera* [M]. Beijing: Science Press, 1979 [蒋燮治, 堵南山. 中国动物志. 淡水枝角类. 北京: 科学出版社, 1979]
- [21] Dingle H, Hegmann P. *Proceedings in Life Sciences: Evolution and Genetics of Life Histories* [M]. New York: Springer-Verlag, 1982, 121—138
- [22] Sama S S S, Rao T R. The combined effects of food and temperature on the life history parameters of *Brachionus patulus* Muller (Rotifera) [J]. *Int. Rev. ges. Hydrobiol.*, 1991, **76**: 225—239

EFFECT OF TEMPERATURE AND FOOD CONCENTRATION ON THE GROWTH AND REPRODUCTION OF *SIMOCEPHALUS VETULUS*

DENG Dao-Gui, JIN Ying, LIU Ming and YUAN Li-Xia

(Department of Biology, Huaibei Coal Industry Teachers College, Huaibei 235000)

Abstract: In this study, body length, duration of instar, lifespan, egg production, and survival rate of *Simocephalus vetulus* were investigated under three food concentrations and two temperatures (20 °C and 25 °C) in the laboratory.

S. vetulus was from the coal-collapsed water in Huaibei City. The collected animals were cultured in an incubator at 25 °C. Females containing embryos were isolated in 50 mL beakers and acclimated to the experimental temperatures. The offspring from these females were isolated and reared under the same conditions until the juveniles were released. Then, these juveniles were used for the experiment. Three food concentrations (2×10^5 , 1×10^5 and 1×10^4 cells mL^{-1}) of *Scenedesmus obliquus* were used. The culture medium was tap water that was exposed, and was refreshed daily. All experiments were carried out under a constant light regime of 12 h light: 12 h dark.

The results showed: *S. vetulus* had four juvenile instars, except there were five at 20 °C and under low food concentration, and 10—13 adult instars. The adult instar durations of *S. vetulus* were higher than those of juvenile instars, and the development time of the first adult instar was generally the longest. The first pregnant time and each duration of instar shortened with the increase of food concentration at same temperature, while average body length and brood size showed a reverse trend. At 20 °C, the highest lifespan under high and middle food level was longer than at low food level, while mean lifespan was shorter than at low food level. At 25 °C, both mean and highest lifespan under high and middle food concentrations were longer than at low food concentration. Mean body length at late instars at 25 °C was longer than at 20 °C at same food levels, while duration of instar was shorter at 25 °C than at 20 °C. The maximum of body length (2.82 mm) appeared the sixteen instar at 25 °C and high food concentration, and both the average largest egg production (144 ind.) and maximum of the intrinsic rate of population increase ($0.41 \text{ ind. day}^{-1}$) of *S. vetulus* occurred at 25 °C and under high food level. The statistical analysis showed that the relationship between egg production and body length of *S. vetulus* was positive significance. The threshold food concentration was $< 1 \times 10^4 \text{ cells mL}^{-1}$ (*S. obliquus*).

The author also discussed the possibility whether *S. vetulus* became a suitable species for mass culture at aquiculture.

Key words: *Simocephalus vetulus*; Food concentration; Growth; Reproduction