

文章编号: 1000-0615(2004)03-0343-04

·研究简报·

不同食物组合与投喂方法对蒙古裸腹溞生长和生殖的影响

王 岩, 李 轩

(上海水产大学生命科学与技术学院, 上海 200090)

关键词: 蒙古裸腹溞, 小球藻, 面包酵母, 生长, 生殖

中图分类号: S963.16 文献标识码: A

Effects of different food composition and feeding regimes on growth and reproduction of *Moina mongolica* Daday

Wang Yan, Li Xuan

(College of Aquatic-life Science and Technology, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China)

Abstract: A laboratory experiment was carried out to evaluate effects of different food composition and feeding regimes on growth and reproduction of *Moina mongolica* Daday. Three food composition (1×10^6 cells mL^{-1} *Chlorella* sp. + 2×10^{-5} g mL^{-1} baker's yeast, 1.5×10^6 cells mL^{-1} *Chlorella* sp. + 1.5×10^{-5} g mL^{-1} baker's yeast, 2×10^6 cells mL^{-1} *Chlorella* sp. + 1.0×10^{-5} g mL^{-1} baker's yeast) and two feeding regimes (feeding the *M. mongolica* mixture of *Chlorella* sp. and baker's yeast everyday, or *Chlorella* sp. and baker's yeast alternately) were examined in the experiment. There were no significant differences in increment of body length, age at maturity, intervals between broods, brood number, brood size and total reproductive output between the *M. mongolica* fed with different mixed food using same feeding regimes. Lower daily reproductive output, however, was observed in the individuals fed mixed food containing 1.0×10^6 cells mL^{-1} *Chlorella* sp. and 2×10^{-5} g mL^{-1} baker's yeast. When fed the mixed food with same composition, the *M. mongolica* that were fed mixture of *Chlorella* sp. and baker's yeast daily did not exhibit significantly different growth and reproduction performances compared to the individuals fed *Chlorella* sp. and baker's yeast alternately. The results suggest the mixture of 1.5×10^6 cells mL^{-1} *Chlorella* sp. + 1.0×10^{-5} g mL^{-1} baker's yeast is a nutritionally adequate food item for *M. mongolica*, and flexible feeding regime, feeding the animal either with mixture of *Chlorella* sp. and baker's yeast daily or with *Chlorella* sp. and baker's yeast alternately, can be used in commercial production of *M. mongolica*.

Key words: *Moina mongolica*; *Chlorella* sp.; baker's yeast; growth; reproduction

蒙古裸腹溞(*Moina mongolica* Daday)是旧大陆上分布的一种淡水裸腹溞^[1], 1988 年在我国被首次报道^[2]。有关该

溞的生物学和培养技术已被较为系统地研究^[3]。20 世纪 90 年代以来, 该溞在我国沿海地区逐渐被用做海水和半咸

收稿日期: 2003-05-12

资助项目: 国家自然科学基金(30070584)和教育部骨干教师资助项目(1462)

作者简介: 王 岩(1965-), 男, 北京市人, 教授, 主要从事水域生态学和鱼类营养学研究, Tel: 021-65710764 E-mail: wangyan@shfu.edu.cn

水鱼、虾、蟹人工育苗生产中的活饵料。食物质量是影响枝角类摄食和生长的重要因素¹⁴⁻⁹，何志辉等⁹发现用小球藻与面包酵母(以下简称酵母)混合液饲养蒙古裸腹溞效果优于单独使用小球藻或酵母，Wang等^①随后证实了这一结论。同时使用几种食物培养枝角类时，不同投喂方法对生长和生殖的影响尚未见过报道。查明不同小球藻与酵母组合及喂养方式对蒙古裸腹溞生长和生殖的影响，有助于确定蒙古裸腹溞培养生产中适宜的食物投喂策略。

1 材料和方法

1.1 实验动物与实验条件

实验用蒙古裸腹溞于1986年采自晋南硝池，在盐度为28~32的海水中通过连续孤雌生殖保存的种群。实验前6个月，将溞在盐度为10的半咸水中培养，投喂海水小球藻(*Chlorella* sp.)。

实验用半咸水由盐卤和自来水配制，并经过脱脂棉过滤和煮沸处理，盐度为10；小球藻在室温下以Walne培养液培养；酵母为梅山牌食用干酵母(广东梅山—马利酵母有限公司生产)，一次性购入并在5℃下保存。实验期间光照为室内自然光，培养温度为25±1℃，由恒温水浴控制。

1.2 实验设计

实验按双因素等重复设计。小球藻液与酵母混合比例设1、2、3三个水平，其中水平1混合比例为 $1 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 小球藻+ $2 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 酵母；水平2为 $1.5 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 小球藻+ $1.5 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 酵母；水平3为 $2 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 小球藻+ $1 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 酵母。投喂策略设M、C两个水平，前者每天投喂小球藻液与酵母混合液，后者按与M水平相同的小球藻和酵母比例交替投喂 $3 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 酵母和 $3 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 小球藻，即M1、M2和M3每天分别投喂 $1 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 小球藻+ $2 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 酵母、 $1.5 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 小球藻+ $1.5 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 和 $2 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 小球藻中+ $1 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 酵母，C1连续喂 $3 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 酵母2 d后喂 $3 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 小球藻1 d，C2喂1 d小球藻后喂1 d酵母，C3喂2 d小球藻后喂1 d酵母。实验进行18d。实验期间M组与C组投喂的小球藻和酵母的数量完全相同。

1.3 实验方法

实验前挑选1个活力较强的蒙古裸腹溞孤雌生殖个体，在25±1℃温度下，以 $3 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 小球藻液为食物培养。每日更换培养液，发现幼溞产出后将母溞吸出，继续培养幼溞，直至一批出生的幼溞数目能够满足试验所需的数量。实验在25mL试管中进行，每支试管内置15mL培养液和1个蒙古裸腹溞，每个处理重复10支试管。实验期间每天更换培养液，每天在解剖镜下测量实验溞体长、计数并移出新产的幼溞。

用722分光光度计和血球计数板分别测定小球藻培养液吸光度和藻细胞浓度，建立小球藻细胞浓度—吸光度回

归方程： $D = 3.782 \times 10^5 + 7.823 \times 10^7 A$ ($n = 5, r = 0.991$)， D 为藻细胞浓度($\text{cells} \cdot \text{mL}^{-1}$)， A 为藻液在 $\lambda = 800 \text{ nm}$ 处的吸光度。根据上述方程确定培养液藻细胞浓度，用盐度为10的半咸水将藻液稀释至实验所需浓度。酵母准确称重至0.0001g用半咸水溶解。小球藻和酵母液使用前放入实验水浴内，使其温度与蒙古裸腹溞培养温度相同。

1.4 数据计算与分析

蒙古裸腹溞生殖能力用产卵前发育天数、每窝生殖量、生殖窝数、两窝生殖间隔时间、总生殖量(实验期间溞生殖的幼溞数量)、每日生殖量(实验期间溞生殖的幼溞数量/存活天数)来表示。

目前，计算枝角类的生殖量(每窝生殖量、总生殖量和每日生殖量)时通常将死亡溞的生殖量视为0¹⁹，这样得出的生殖量虽然反映了实验溞的真实状况，但当实验前期溞死亡率较高时，往往低估了溞的总生殖量。本实验中，一方面根据观察结果统计溞的总生殖量，另一方面通过计算溞的累积生殖量(累积生殖量等于实验期间溞的每窝生殖量的累加值，溞死亡后在计算累积生殖量时不被考虑)来评价溞的生殖能力。

不同食物组合和投喂方式对蒙古裸腹溞的体长、产卵前发育天数、两窝生殖间隔时间、生殖窝数、每窝生殖量、总生殖量和每日生殖量的影响用两因素等重复方差分析方法检验，不同处理间的差异用Duncan检验方法比较。取 $P < 0.05$ 为差异显著性标准。

2 结果

不同食物组成和投喂方式对蒙古裸腹溞前7d存活影响不大。实验中交替投喂小球藻与酵母的溞存活时间略低于每天投喂小球藻与酵母混合液的溞($P = 0.0497$)。食物组成和投喂方式对蒙古裸腹溞存活时间无明显交互影响($P > 0.05$)。

从图1可见，实验进行到第5天时按水平3($2 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 小球藻+ $1 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 酵母)投喂的溞体长分别明显大于按水平1(< 0.03)和水平2投喂的溞，而C组体长明显大于M组($P < 0.05$)。实验结束时，M1、M2和M3处理溞的体长分别为1.40、1.35和1.28mm，C1、C2和C3处理溞体长分别为1.36、1.35和1.38mm。整个实验期间食物组成和投喂方式对蒙古裸腹溞体长影响不大，二者对溞体长没有明显的交互影响($P > 0.05$)。从图2可见，各处理组溞前4窝的生殖量变化无明显规律。

从表1可见，不同食物组合对蒙古裸腹溞产卵前发育时间、前3窝生殖间隔时间、生殖窝数、前3窝平均每窝生殖量和总生殖量无显著影响，但按水平2和水平3投喂的溞每日生殖量明显高于按水平1投喂的溞($P < 0.015$)。用

① Wang Yan, Li Xuan, Qin Jianguang. Growth and demography of a eurohaline cladoceran, *Moina mongolica*.

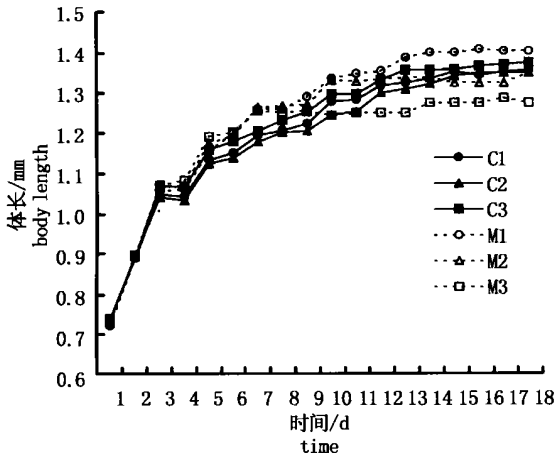


图1 不同食物组合和喂养方式下蒙古裸腹溞体长的变化

Fig. 1 Variation in body length of *M. mongolica* fed with mixed foods using different feeding regimes

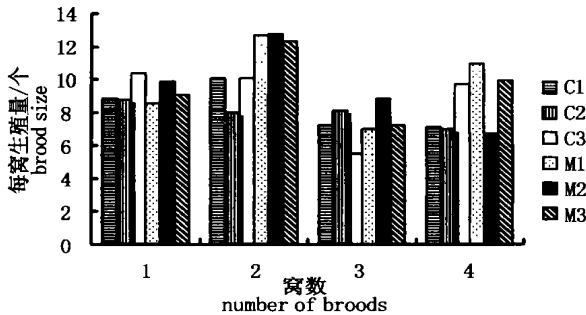


图2 不同食物组合和投喂方式下蒙古裸腹溞的每窝生殖量

Fig. 2 Brood size of *M. mongolica* fed with mixed foods using different feeding regimes

不同投喂方法饲养的蒙古裸腹溞在产幼前发育时间、前3窝生殖间隔时间、生殖的窝数、总生殖量和每日生殖量上无显著差异,但C组的生殖窝数明显少于M组($P < 0.001$),前3窝的每窝生殖量平均值明显高于M组($P < 0.001$)。食物组合和投喂方式对蒙古裸腹溞产幼前发育时间、前3窝生殖间隔时间、每日生殖量、生殖窝数、前3窝的平均每窝生殖量和总生殖量均无显著交互影响。实验期间C1、C2、C3组溞的累计生殖量分别为33、32和36个,M1、M2、M3组溞的累计生殖量分别为41、37和40个。在各种食物组合和投喂方式下,溞的累计生殖量均高于根据实际观察结果得出的总生殖量。C1、C2和C3组溞的总生殖量分别为其累计生殖量的88%、84%和74%;M1、M2和M3组溞的总生殖量分别为其累计生殖量的61%、79%和71%。

3 讨论

枝角类产生后代的数量取决于其一生中的生殖次数和每窝生殖量。意外死亡降低了其生殖次数,也降低了其繁殖能力。实验过程中由于操作原因而造成实验溞大量死亡时,根据观察结果得出的溞生殖量远低于其实际生殖能力。累积生殖量计算受意外死亡的影响较小,故综合比较累积生殖量和观察得出的总生殖量有助于客观地评价溞的生殖能力。本实验多数处理中蒙古裸腹溞总生殖量高于其累计总生殖量的70%,表明实验操作损伤较小,实验结果如实反映了溞在不同食物条件下的生殖能力。

食物质量和数量是影响枝角类摄食、生长和生殖的重要环境因素^[4-9]。在食物数量充足的前提下,食物组成对裸腹溞的生长和生殖会产生不同的影响^[6-9]。长刺象鼻溞(*Bosmina longispina*)同时摄食两种藻(*Stephanodiscus*和*Rhodomonas*)时种群增长率高于其单独摄食其中任何一种藻时^[5]。用小球藻饲养的蒙古裸腹溞生殖能力高于用马粪、酵母、扁藻和金藻饲养的溞,而用小球藻与马粪或小球藻与酵母混合液饲养的溞生殖能力超过单独使用小球藻饲养的

表1 实验期间不同食物组合与喂养方式下蒙古裸腹溞的发育时间和生殖量

Tab. 1 Development time and reproduction capacity of *M. mongolica* fed with mixed food using different feeding regimes during the experiment

	C1	C2	C	M1	M2	M3
产幼前发育期(d) age at maturity	5.0±0.0	5.0±0.0	5.0±0.0	5.0±0.0	5.0±0.0	5.0±0.0
生殖间隔期(d) brood intervals	1.3±0.1	1.4±0.3	1.3±0.5	1.3±0.5	1.4±0.4	1.1±0.2
生殖窝数 brood number	2.4±1.2	2.9±1.0	2.6±0.7	3.5±1.1	3.3±0.8	2.8±1.0
每窝生殖量(ind) brood size	8.8±1.8	8.2±1.6	9.8±1.1	10.0±0.7	10.1±1.0	10.6±1.8
总生殖量(ind) total reproductive output	29.4±8.7	26.8±7.5	26.6±7.9	24.8±13.3	28.9±8.6	26.6±6.3
每日生殖量(ind·d ⁻¹) daily reproductive output	2.1±0.3	2.9±0.6	3.0±0.8	2.1±0.5	2.3±0.9	3.0±0.7

[6]. Wang 等^①发现用 $1.5 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 小球藻 + $1.5 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 酵母混合液饲养的蒙古裸腹 生殖能力明显高于用酵母饲养的, 与用小球藻饲养的 无明显差别。实验中按水平 2 和水平 3 的混合比例投喂的蒙古裸腹 个体生长、生殖频率和每窝生殖量与按水平 1 投喂的 未表现出明显的差异, 但每日生殖量高于后者, 表明使用小球藻和酵母混合液饲养该 时, 食物中含有 $1.5 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 小球藻就可以对该 的生长和生殖产生较好的效果。在褶皱臂尾轮虫 (*Brachionus plicatilis*) 的生产培养中已广泛使用藻类与酵母的混合液做轮虫的食物^[10]。同样, 使用小球藻和面包酵母混合液也有利于提高蒙古裸腹 的培养产量, 降低培养成本。

有关浮游动物生长和繁殖的营养需求方面的报道很少。使用混合食物能够提高轮虫和枝角类繁殖能力, 但其机制未也见报道。尽管酵母在轮虫培养中被广泛使用^[11], 其对轮虫的直接营养价值很低^[12]。单独使用酵母培养的蒙古裸腹 存活时间较短, 个体较小^①, 除了可能与酵母的营养贫乏有关外, 还可能与使用酵母导致培养水体溶解氧降低、COD 较高、氨氮容易积累等有关。当小球藻被单独作为蒙古裸腹 食物时, 其适宜浓度为 $3 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ ^[6, 13]。用 $2 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 小球藻 + $1 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 酵母混合液饲养的蒙古裸腹 寿命、生长和生殖能力均不低于单独使用 $3 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 小球藻饲养的, 而明显高于用 $3 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 酵母饲养的^①; 本实验中, 用小球藻与酵母按 3 种比例混合配成的食物饲养的蒙古裸腹 体长和生殖量之间无明显差异。这些事实说明在小球藻液中添加少量酵母不仅可弥补小球藻数量的不足, 还可提高食物的营养价值。褶皱臂尾轮虫对食物具有选择性^[13], 当环境中同时存在浮游植物和有机碎屑时往往优先选择前者^[11]。枝角类可根据颗粒大小^[14] 和化学线索^[15] 选择其食物。投喂小球藻和酵母混合液时, 蒙古裸腹 对二者是否具有选择倾向目前尚不清楚。同时使用几种食物培养浮游动物时, 投喂方式对浮游动物生长和繁殖的影响尚未见报道。本实验表明: 在食物种类和数量相同的前提下, 每天投喂小球藻和酵母混合液与交替投喂上述两种食物对蒙古裸腹 生长和总生殖量没有明显的不同。这意味着短期使用酵母饲养蒙古裸腹 不会对该 生长和生殖产生明显的负影响, 也不会影响该 对小球藻的摄食利用。因此, 虽然每天投喂小球藻和酵母混合液比交替使用两种食物或许在食物营养组成方面更合理, 或许更有利于蒙古裸腹 对培养系统内食物资源的利用, 但在大规模培养生产中, 当用小球藻和酵母作为蒙古裸腹 的食物时, 可以采用灵活的投喂方法。

参考文献:

[1] Goulden C E. The systematics and evolution of the Moinidae [M].

Philadelphia: Trans Am Phil Soc. 1968 58: 1-101.

- [2] He Z H, Qin J G, Wang Y. Occurrence and distribution of *Moina mongolica* Daday in China [J]. J Dalian Fisheries College, 1988, 3 (2): 9-13. [何志辉, 秦建光, 王 岩. 蒙古裸腹 在我国的发现与分布 [J]. 大连水产学院学报, 1988, 3(2): 9-13.]
- [3] He Z H, Qin J G, Wang Y, et al. Biology of *Moina mongolica* (Moinidae, Cladocera) and perspective as live food in marine fish larvae, review [J]. Hydrobiologia, 2001, 457: 25-37
- [4] Richman S. The effect of food quality on feeding and respiration by *Daphnia* and *Diaptomus* [J]. Limnol Oceanogr, 1983, 28: 948-956.
- [5] Lundstedt L, Breet M T. Differential growth rates of three cladoceran species in response to mono- and mixed- algal culture [J]. Limnol Oceanogr, 1991, 36: 159-165.
- [6] He Z H, Yan L G, Zhang Y. Effects of food conditions on the growth, reproduction and intrinsic increasing rate of *Moina mongolica* [J]. J Dalian Fisheries College, 1988, 3 (2): 21-26. [何志辉, 阎立光, 张 毅. 食物条件对蒙古裸腹 生长、生殖和内禀增长率的影响 [J]. 大连水产学院学报, 1988, 3(2): 21-26.]
- [7] Bandu-Amarasinghe P, Boersma M, Vijverberg J. The effect of temperature and food quantity on the growth and development rates in laboratory-cultured copepods and cladocerans from a Sri Lankan reservoir [J]. Hydrobiologia, 1997, 350: 131-144.
- [8] Elenđ B P. Nutritional quality of a microencapsulated diet for *Daphnia magna*, effects on reproduction, fatty acid composition, and midgut ultrastructure [J]. Arch Hydrobiol, 1990, 118: 461-475.
- [9] Jana B B, Pal G P. Relative growth and egg production in *Moina micrura* Kurz (Cladocera: Moinidae) under different media [J]. J Freshwat Biol, 1989, 1: 139-147.
- [10] Chatain B. Development and achievements of marine fish rearing technology in France over the last 15 years [J]. Hydrobiologia, 1997, 358: 7-11.
- [11] Fulks W and Main K L. Rotifer and microalgae culture systems [C]. Proceedings of U. S-Asia Workshop, 1991, 1-52, 151-162.
- [12] Hirayama K. A consideration of why mass culture of the rotifer *Brachionus plicatilis* with baker's yeast is unstable [J]. Hydrobiologia, 1987, 147: 269-270.
- [13] Wang Y, Qian H. Preliminary studies on feeding intensity of *Moina mongolica* Daday under different temperature, food and light conditions [J]. J Dalian Fisheries College, 1992, 6(2): 70-76. [王 岩, 钱 红. 不同温度、食物和光照条件下蒙古裸腹 摄食强度的初步研究 [J]. 大连水产学院学报, 1992, 6(2): 70-76.]
- [14] Chotiyutta C, Hirayama K. Food selectivity of the rotifer feeding on marine phytoplankton [J]. Mar Biol, 1978, 45: 105-111.
- [15] Demott W R. Feeding selectivities and relative ingestion rates of *Daphnia* and *Bosmina* [J]. Limnol Oceanogr, 1982, 27: 516-527.