

轮虫的培育条件和饵料基础研究进展

邓平, 喻运珍, 艾桃山, 张生元* (武汉市水产科学研究所, 湖北武汉 430207)

摘要 从温度、pH、光照周期、氨氮、溶氧及盐度6个方面探讨了作为渔业生产开口饵料的轮虫的培育条件的优化, 从单胞藻、酵母、有机碎屑和细菌等方面探讨了轮虫各种饵料的优缺点, 并对轮虫工厂化生产中存在的问题进行了分析。

关键词 轮虫; 培育条件; 饵料筛选

中图分类号 S963.21*4 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)26-09054-03

Research Progress on Culture Conditions and Food Elements of Rotifer

DENG Ping, ZHANG Sheng-yuan et al (Wuhan Fisheries Science Research Institute, Wuhan, Hubei 430207)

Abstract The optimization of culture conditions of rotifer was discussed from 6 aspects of temperature, pH, photoperiod, ammonia nitrogen, dissolved oxygen and salinity. The advantages and disadvantages of dietary were discussed from aspects of algae, yeast, bacteria and detritus. The existing problems in production of rotifer were analyzed.

Key words Rotifer; Culture conditions; Food types

自1960年Ito发现褶皱臂尾轮虫(*Brachionus plicatilis*)是海水鱼类育苗的活饵料以来, 轮虫作为鱼类和甲壳类的重要开口饵料在生产中广泛应用^[1]。因轮虫营养丰富、适口性强、繁殖迅速、易于培养等特点, 一直是水产动物育苗生产中大量培养的主要生物饵料之一。影响轮虫培育的因素很多, 但从批量生产来考虑, 关键是轮虫的培育条件和饵料供应。笔者对近年来轮虫的培育条件和饵料供应方面的大量研究进行了综述, 旨在为开展轮虫工厂化高密度生产奠定理论基础。

1 培育条件的优化

轮虫培育的最终目的是获取较高生物量的轮虫, 培育条件必须有利于轮虫的无性繁殖, 使种群能快速扩增。轮虫的培育条件主要包括温度、pH、光照周期、氨氮、溶氧及盐度等。

1.1 温度 温度是影响轮虫种群动态的关键因素之一。不同种类的轮虫, 其种群增长的最适温度不同, 同种轮虫不同品系间也存在差异。萼花臂尾轮虫不同品系种群增长的最适培养温度存在明显差异, 青岛品系为32℃, 武汉南湖水体轮虫的最适温度为35℃^[2-3]。在25℃时, 壶状臂尾轮虫的产卵量显著高于其他各温度下的产卵量, 种群的净生殖率和内禀增长率最大^[4]。裂足臂尾轮虫的净生殖率在15℃下最低, 30℃下最高^[5]。褶皱臂尾轮虫的最佳培育水温为28~30℃, 最适繁殖温度为20~30℃^[6]。方形臂尾轮虫在30℃时种群的内禀增长率和净生殖率达到最大值, 平均世代时间最短^[7]。

1.2 pH pH也是影响轮虫种群增长的重要因素。萼花臂尾轮虫是广pH型种类, 轮虫种群在pH 6.5~8.5增长较快, pH为8.5时, 种群增长率最大^[8]。殷旭旺等研究发现归属

于耐碱类群的萼花臂尾轮虫、方形臂尾轮虫和角突臂尾轮虫的内禀增长率的峰值均出现在中性偏碱的pH范围内^[9]。褶皱臂尾轮虫对pH的适应范围较广, pH适宜范围为6.0~9.0, 最适pH为8.0~8.2。pH为7.5时, 壶状臂尾轮虫增殖率最大, 存活的pH范围为4.5~11.5^[10]。

1.3 光照周期 轮虫在光照及全暗条件下都能生长繁殖, 但有光照时生长更快。王金秋等研究发现光照对萼花臂尾轮虫的种群增长具有显著影响^[11]。曾宪凯等报道褶皱臂尾轮虫适宜光照强度为4 400~10 000 lx^[12]。刘文娟研究发现光照有利于壶状臂尾轮虫的生长繁殖^[10]。

1.4 氨氮 氨氮是水产生殖中特别关注的一个环境因子。高密度培养萼花臂尾轮虫应调控氨态氮小于11 mg/L^[13]。氨氮浓度小于3 mg/L不影响红臂尾轮虫的生殖^[8]。褶皱臂尾轮虫对总氨氮可耐6~10 mg/L, 但生活环境中的非离子氨不超过1 mg/L。

1.5 溶氧 高密度培养萼花臂尾轮虫应满足溶氧大于5 mg/L^[13]。褶皱臂尾轮虫对溶氧的适应范围很广, 在溶氧接近饱和状态(5~7 mg/L)时生长繁殖正常, 在溶氧为2 mg/L时生长亦良好。

1.6 盐度 盐度是影响咸水轮虫种群增长和繁殖的重要因素之一。褶皱臂尾轮虫适盐范围广, 最适盐度一般为15^[14]。圆形臂尾轮虫的最适盐度为20^[15]。壶状臂尾轮虫适宜的盐度范围为20~30, 最适盐度为20^[16]。

2 饵料的筛选

水生生态系统中, 轮虫通常以藻类、有机碎屑及细菌为食。轮虫培养中所用饵料主要有单胞藻、酵母、有机碎屑和细菌等。

2.1 单胞藻 单胞藻因营养丰富、易培养, 是轮虫批量培养的首选饵料。目前单胞藻作为轮虫饵料的研究主要集中在种类的选择、投喂密度及营养价值等方面。

杨家新研究发现投喂浓度为 2.0×10^6 个/ml的蛋白核小球藻(*Chlorella vulgaris*), 萼花臂尾轮虫平均产卵量较高, 后代混交雌体百分率最低^[17]。耿红等报道以浓度范围为 $3.0 \times 10^6 \sim 15.0 \times 10^6$ 个/ml的蛋白核小球藻为食物, 萼花臂尾

基金项目 国家中小型创新基金项目(13C26214203933); 湖北省重大科技创新项目(2013ABA004); 湖北省武汉市农业科学技术研究院创新项目(CX201248)。

作者简介 邓平(1979-), 女, 湖北枝江人, 工程师, 博士, 从事水产养殖生态学研究。*通讯作者, 高级工程师, 从事淡水渔业研究。

收稿日期 2014-05-22

轮虫的种群增长率、体长和卵体积均随食物浓度的升高而增大^[18]。Lüring 等观测了 10 种不同藻类单独投喂对轮虫种群增长率的影响,结果发现斜生栅藻(*Scenedesmus obliquus*) 组获得最大种群增长^[19]。王金秋比较了 5 种藻对蓼花臂尾轮虫的饵料效应,发现蛋白核小球藻和斜生栅藻最优^[20]。席貽龙等报道了椭圆小球藻(*C. ellipsoidea*) 作为淡水壶状臂尾轮虫最适饵料的密度范围为 $1.5 \times 10^6 \sim 3.0 \times 10^6$ 个/ml,最适密度是 3.0×10^6 个/ml^[21]。刘文娟发现当采用小球藻、转金属硫蛋白基因聚球藻(transgenic metallothionein *Synechococcus* sp.)、衣藻(*Chlamydomonas* sp.)、水华鱼腥藻(*Anabaena flos-aquae*) 作为淡水壶状臂尾轮虫的饵料时,自然光照条件下小球藻的饵料效果优于其他 3 种微藻,黑暗条件下投喂衣藻的轮虫增殖效果最好^[10]。

姚久祥等发现以亚心形扁藻(*Platymonas subcordiformis*)、绿色巴夫藻(*Pavlova viridis*)、小球藻单种或 2 种混合投喂褶皱臂尾轮虫,扁藻单种投喂或扁藻 + 小球藻混合投喂效果较好^[22]。李磊研究了以单种微藻和混合微藻培养时褶皱臂尾轮虫摄食的动态变化。在 12 h 内轮虫对 3 种微藻的滤水率大小顺序为:球等鞭金藻(*Isochrysis galbana*) > 小球藻 > 牟氏角毛藻(*Chaetoceros muelleri* Lermumberman); 轮虫对混合微藻的选择顺序为:球等鞭金藻 > 小球藻 > 牟氏角毛藻^[23]。Zhou 等研究了小球藻、青岛大扁藻(*Plamonas helgolandicavar*)、球等鞭金藻和小新月菱形藻(*Nitzschia closterium*) 对褶皱臂尾轮虫摄食的影响,摄食率的顺序为:小球藻 > 大扁藻 > 球等鞭金藻 > 新月菱形藻,滤水率顺序为:大扁藻 > 新月菱形藻 > 小球藻 > 球等鞭金藻^[24]。日本培养褶皱臂尾轮虫的主要饵料藻类为海水小球藻和眼点拟微绿球藻(*Nannochloropsis oculata*)。

除了考虑单胞藻的种类和密度外,藻类的营养价值也是饵料选择非常重要的方面。海水单胞藻中 n-3 系列不饱和脂肪酸(特别是 EPA 和 DHA) 含量丰富的藻类有三角褐指藻(*Phaeodactylum tricornutum* Bohlin)、小新月菱形藻、球等边金藻、小球藻、拟微球藻等。淡水单胞藻中小球藻、斜生栅藻、卵形隐藻(*Cryptomonas ovata*)、中型裸藻(*Euglena intermedia*) 等都含有丰富的不饱和脂肪酸^[20]。

2.2 酵母 面包酵母、啤酒酵母、油脂酵母和活性干酵母都可作为轮虫饵料,以面包酵母在轮虫的培养中应用最广泛。褶皱臂尾轮虫对面包酵母的日均摄食量以 $0.6 \sim 1.2$ g/百万轮虫为宜^[25]。王金秋等报道了投喂给蓼花臂尾轮虫的面包酵母和啤酒酵母的最适密度分别为 10×10^6 和 5×10^6 个/ml^[11]。

2.3 有机碎屑 陈炜等比较了鸡粪浆及 5 种微藻对轮虫脂肪酸组成的影响,发现鸡粪轮虫具有较高的营养价值,HUFA 含量达 25.9%,EPA 和 DHA 的含量分别为 11.2% 和 4.4%,仅次于小球藻轮虫和小新月菱形藻轮虫^[26]。日本利用微生物絮团培养轮虫也取得较好效果。Yin 等利用海洋大型藻类制备的有机碎屑与拟微绿球藻搭配培养褶皱臂尾轮虫取得了与拟微绿球藻培养相同的种群增长^[27]。

2.4 细菌 细菌是 VB₁₂ 的主要来源,而 VB₁₂ 是培养轮虫的

必需营养物质。于秀玲发现小球藻培养液中的细菌对轮虫的生长有促进作用^[28]。Nguyen 等报道从轮虫培养系统隔离的微生物群落能明显促进酵母轮虫的增长^[29]。Rombaut 等报道从轮虫培养系统中分离的 20 株细菌中有 5 株明显提高了褶皱臂尾轮虫的繁殖率^[30]。

除了从轮虫培养系统中分离得到的细菌外,还有应用商品化的益生菌。Planas 等报道经乳酸菌强化培育的褶皱臂尾轮虫最大增长率和最大密度都明显高于仅以酵母为食的轮虫^[31]。Douillet 研究发现含有交替单胞菌的细菌添加剂能明显提高培养的褶皱臂尾轮虫和圆形臂尾轮虫的最大增长率^[32]。王金秋等报道光合细菌能显著提高以面包酵母为食的蓼花臂尾轮虫的种群增长^[11]。

3 问题与展望

轮虫的培育条件和饵料供应已有大量研究,但在轮虫工厂化生产中仍存在一些关键性的问题需要解决:①轮虫最适饵料的选择。不仅考虑饵料种类的影响,也应对混合饵料的作用加强研究。②轮虫培养中的不稳定性 and 衰败现象仍是影响苗种规模化生产的瓶颈。应加强实验室条件下各理化参数对轮虫种群增长的综合研究,筛选出最适合轮虫种群增长的培育条件。③国内外主要集中在海水轮虫工厂化高密度生产,淡水轮虫的发展相对滞后。结合淡水鱼类开口饵料的需求,开展淡水轮虫的工厂化高密度研究,建立有利于轮虫无性繁殖的强化培育模式。④养殖池塘与工厂化生产的环境不同,饵料组成复杂,轮虫的营养效果有所不同。应加强室外生态池塘中饵料对轮虫营养效果的研究。

参考文献

- [1] ITO T. On the culture of maxoharine rotifer *Brachionus plicatilis* O. F. Muller in the sea water[J]. Rep Fac Fish Mie Pre Univ, 1960, 3(3): 708 - 740.
- [2] 田宝军, 丁茜, 李英文. 接种密度、食物量及温度对蓼花臂尾轮虫种群增长的影响[J]. 重庆师范大学学报:自然科学版, 2009, 26(1): 1 - 4.
- [3] 耿红, 朱小珊. 温度对蓼花臂尾轮虫实验种群的影响[J]. 中南民族大学学报:自然科学版, 2008, 27(2): 21 - 23.
- [4] 席貽龙, 黄祥飞. 温度对壶状臂尾轮虫实验种群动态的影响[J]. 海洋与湖沼, 2000, 31(1): 23 - 28.
- [5] 宁乐锋, 席貽龙, 孙强, 等. 温度和食物密度对裂足臂尾轮虫(*Brachionus diversicornis*) 生命表统计学参数的影响[J]. 湖泊科学, 2013, 25(2): 295 - 301.
- [6] 江巍. 皱臂尾轮虫的高密度培育技术的研究[D]. 厦门:集美大学, 2008.
- [7] 鲍蕾, 马蕊, 牛翠娟, 等. 温度对方形臂尾轮虫(*Brachionus quadridentatus*) 种群增长与生活史参数的影响[J]. 北京师范大学学报, 2006, 42(5): 518 - 521.
- [8] 刘建国, 丛威, 欧阳落. 轮虫培养的影响因素及产业化途径[J]. 生物工程进展, 2000, 20(6): 30 - 33.
- [9] 殷旭旺, 牛翠娟. pH 对 5 种臂尾轮虫后代存活率和混交雌体率及种群内禀增长率的影响[J]. 水生生物学报, 2009, 33(2): 342 - 347.
- [10] 刘文娟. 不同微藻对淡水壶状臂尾轮虫饵料效果的研究[D]. 烟台:鲁东大学, 2009.
- [11] 王金秋, 李尚德, 董双林, 等. 面包酵母添加光合细菌和 V_C 后培养轮虫的效果[J]. 水产科技情报, 1999, 20(1): 25 - 27.
- [12] 曾宪凯, 张根芳. 褶皱臂尾轮虫规模化培养新模式[J]. 齐鲁渔业, 2005, 22(2): 38 - 40.
- [13] PARK H G, LEE K W, CHO S H, et al. High density culture of the freshwater rotifer, *Brachionus calyciflorus* [J]. Hydrobiologia, 2001, 446/447(1): 369 - 374.
- [14] 黄翔鹤, 李长玲, 刘楚吾, 等. 环境因子对 L 型、S 型褶皱臂尾轮虫生长的影响[J]. 湛江海洋大学学报, 2005, 25(1): 46 - 50.
- [15] 蔺丽丽, 宋丹, 陈玉珂, 等. 饵料配比、接种密度及盐度对圆型臂尾轮虫种群增长和繁殖的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2010, 32(4): 453 -

459.

- [16] 冯蕾,王进河,唐学玺. 壶状臂尾轮虫摄食生态的实验研究[J]. 海洋环境科学,2009,28(4):349-354.
- [17] 杨家新. 萼花臂尾轮虫繁殖生物学研究[D]. 武汉:中国科学院水生生物研究所,1997.
- [18] 耿红,席贻龙,胡好远. 食物浓度对萼花臂尾轮虫种群增长、个体大小和卵大小的影响[J]. 安徽师范大学学报:自然科学版,2002,25(1):59-62.
- [19] LÜRLING M, BEEKMAN W. Influence of food-type on the population growth rate of the rotifer *Brachionus calyciflorus* in short-chronic assay[J]. 动物学报,2006,52(1):70-78.
- [20] 王金秋. 淡水轮虫工厂化培养的基础研究[D]. 青岛:青岛海洋大学,1995.
- [21] 席贻龙,黄祥飞. 食物种类和浓度对壶状臂尾轮虫实验种群动态的影响[J]. 水生生物学报,1999,23(3):227-234.
- [22] 姚久祥,谢达祥,阮志德. 海水单胞藻对轮虫群体增殖的影响[J]. 农家之友,2008(12):252-253.
- [23] 李磊. 利用微藻营养强化时褶皱臂尾轮虫的摄食和脂肪酸组成研究[D]. 厦门:厦门大学,2008.
- [24] ZHOU W, TANG X, QIAO X, et al. Ingestion of *Brachionus plicatilis* under different microalgae condition[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology,2009,27(3):473-479.
- [25] 张雅芝,谢仰杰,胡家财,等. 不同饵料和接种密度对褶皱臂尾轮虫种

群增长的影响[J]. 集美大学学报:自然科学版,2005,10(1):1-7.

- [26] 陈炜,李晓东,王增立,等. 鸡粪浆及5种微藻对轮虫脂肪酸组成的影响[J]. 水产科学,2006,25(3):113-116.
- [27] YIN X W, MIN W W, LIN H J, et al. Population dynamics, protein content, and lipid composition of *Brachionus plicatilis* fed artificial macroalgal detritus and *Nannochloropsis* sp. diets[J]. Aquaculture,2013,380/383:62-69.
- [28] 于秀玲. 小球藻及其培养液中的细菌对褶皱臂尾轮虫促生长作用初探[J]. 海湖盐与化工,2000,28(4):6-8.
- [29] TINH N T N, PHUOC N N, DIERCKENS K, et al. Gnotobiotically grown rotifer *Brachionus plicatilis* sensu strictu as a tool for evaluation of microbial functions and nutritional value of different food types[J]. Aquaculture,2006,253(1/4):421-432.
- [30] ROMBAUT G, DHERT P, VANDENBERGHE J, et al. Selection of bacteria enhancing the growth rate of asexually hatched rotifers *Brachionus plicatilis*[J]. Aquaculture,1999,176(3/4):195-207.
- [31] PLANAS M, VÁZQUEZ J A, MARQUÉS J, et al. Enhancement of rotifer (*Brachionus plicatilis*) growth by using terrestrial lactic acid bacteria[J]. Aquaculture,2004,240(1/4):313-329.
- [32] DOUILLET P A. Bacterial additives that consistently enhance rotifer growth under syntenic culture conditions 2. Use of single and multiple bacterial probiotics[J]. Aquaculture,2000,182(3/4):241-248.

(上接第9047页)

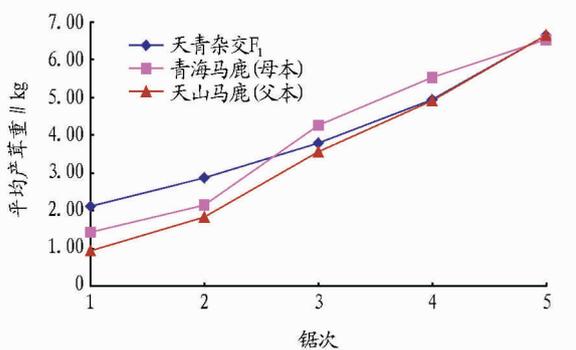
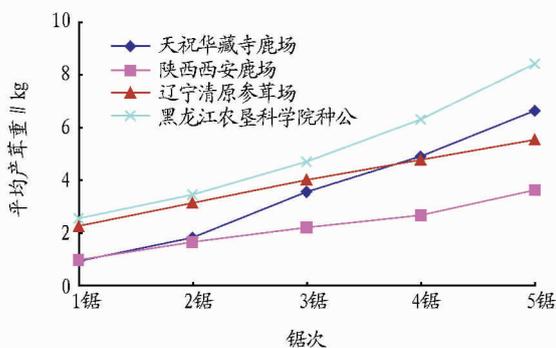
图1 1~5锯天青杂交F₁及其父本、母本的产茸重曲线

图2 不同地区天山马鹿群体1~5锯平均产茸量曲线

3 讨论

3.1 天山马鹿与青海马鹿产茸性能的比较 刘丽娟等^[5]对天山马鹿与甘肃马鹿的杂种F₁代前期生长发育规律的研究表明天×甘F₁代马鹿前期生长发育较甘肃马鹿有明显的优势。马艳萍等对天×甘F₁代马鹿生长发育及产茸性能进行了研究,结果表明杂种公鹿初角茸鲜质量[(0.42±0.12)kg]以及二杠茸鲜茸质量[(1.52±0.65)kg]均极显著大于甘肃马鹿(P<0.01),杂种鹿初角茸和二杠茸鲜茸称质量分别比纯种甘肃马

鹿多0.16和0.59 kg,分别增长了61.54%和63.44%^[6]。

该研究中天青杂交F₁在1锯和2锯平均产茸量较青海马鹿具有明显的优势。天青杂交F₁平均茸重杂种优势率为24.67%,极显著高于天东杂交的杂种优势率(P<0.01)。这说明青海马鹿与东北马鹿相比,与天山马鹿杂交会产高的杂种优势,可能会带来更好的经济效益。该研究中前3锯鲜茸重低于天塔杂交结果,高于马艳萍的天甘杂交结果。

3.2 天山马鹿引入地与种源地的产茸性能的比较 该研究表明天祝华藏寺鹿场引入的天山马鹿整体产茸趋势比较理想,呈上升趋势,高于陕西西安鹿场的天山马鹿平均产茸量,同时第4锯以后,超过了辽宁清原参茸场天山马鹿的平均产茸量。黑龙江农垦科学院选育的天山马鹿种公鹿的整体产茸较高,说明有目的性和方向性的选育对于提高马鹿的产茸量具有非常大的意义。马鹿耐粗饲能利用多种牧草,甚至可以饲喂青贮饲料和酒糟,但必须补充一定量的精料才能满足马鹿的营养需求。每头成年马鹿除了随意采食粗饲料外,最少要补充3 kg/d的豆饼、豆粕和鼓皮等精料。天祝华藏寺鹿场对马鹿的饲料管理比较注意,经常添加精饲料。综上所述,天祝鹿场的天山马鹿产茸量还未达到最高值,只要加强饲料中营养水平和饲养管理,引入的天山马鹿生产性能仍然可以得到大幅度提高。

参考文献

- [1] 郑兴涛, 邢国良, 金顺丹. 东北马鹿与天山马鹿杂交F₁遗传性状的研究[J]. 特产研究, 1993(3):4-7.
- [2] 王乐, 任战军, 王红军, 等. 引入陕西的天山马鹿产茸性能分析[J]. 家畜生态学报, 2008, 29(6):46-48.
- [3] 高广亮. 新疆地区养鹿业现状及前景[R]. 吉林: 中国农学会特产学会, 1994:29-31.
- [4] 赵殿隆. 养鹿学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1986:146-166.
- [5] 刘丽娟, 滚双宝. 利用人工受精技术杂交改良甘肃马鹿的研究[J]. 中国畜牧杂志, 2006, 42(9):17-18.
- [6] 马艳萍, 滚双宝. 天×甘F₁代马鹿生长发育及产茸性能研究[J]. 畜牧兽医学报, 2007(3):1-3.