

武汉东湖湖球蚬种群动态及生产力的研究

龚志军 李艳玲 谢 平

(中国科学院水生生物研究所; 淡水生态与生物技术国家重点实验室; 东湖湖泊生态
系统试验站, 武汉 430072)

摘要: 1999年6月至2000年5月对武汉东湖湖球蚬进行了周年研究。湖球蚬年均密度和生物量分别为 $100.2\text{ind.}/\text{m}^2$ 和 $12.1\text{g}/\text{m}^2$, 密度和生物量的高峰分别出现在4月($297\text{ind.}/\text{m}^2$)和3月($43.8\text{g}/\text{m}^2$); 湖球蚬为一年一代, 其种群含有3个年龄组, 其中1999年年龄组占绝对优势。利用瞬时增长率法和体长频率法计算湖球蚬的周年生产量为带壳湿重 $42.79\text{g}/\text{m}^2$, 去壳干重 $2.44\text{g}/\text{m}^2$, P/B系数为3.55。同时湖球蚬的生产力动态也被研究, 结果表明其生产量累积过程主要发生在春季和秋季。

关键词: 湖球蚬; 生产量; P/B系数; 武汉东湖

中图分类号: Q959.215 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2004)05-0552-05

有关底栖动物次级生产力的研究可追溯至20世纪初, 在其后的一段时间内由于认识及方法上的不一致, 研究工作进展较为缓慢。直到20世纪的中期, 特别是自从60年代中期国际生物学计划(IPB)实施以来, 相关的研究工作才被较多地重视起来, 目前该领域已成为底栖动物生态学研究的一个重要分支——生产力生态学。据估计, 至90年代初期, 仅河流底栖动物次级生产力的估算材料已超过2000多份^[1], 并且其研究工作从原来的单纯估算次级生产力转向研究生产力动态、建立生产力模型、评价食物对生产力的贡献率以及构建食物网等纵深方向^[2,3]。我国底栖动物生产力的研究工作尚属起步阶段, 仅有零星的研究报道, 在深度和广度方面同国外相比还存在较大差距, 因此必须加强这方面的研究。

湖球蚬(*Sphaerium lacustre*)属于软体动物门(Mollusca)瓣鳃纲(Lamelibranchia)球蚬科(Sphaeriidae), 广泛分布于长江中下游各个浅水湖泊中, 其作为鱼类天然饵料方面有很高的价值, 过去在苏州、无锡一带常常大量捕捞饭蚬(即湖球蚬)以喂养青鱼等幼鱼, 具有较高的渔业意义。虽然我国对其的认识和利用在较早时期就已经开始了, 但其生态学的研究至今极为鲜见。因此作者于1999年6月至2000

年5月对武汉东湖湖球蚬进行逐月采集, 研究其种群动态规律, 并用瞬时增长率法和体长频率法计算它们的生产力, 这将为了解我国湖泊底栖动物生产力的状况以及合理利用这一资源提供理论依据。

1 材料方法

1.1 研究地点及理化状况 武汉东湖($30^{\circ}33'N$, $114^{\circ}23'E$)是长江中游附近的中型浅水湖泊, 面积约 32km^2 , 60年代前东湖是一个没有分割的统一水体, 60年代后期东湖被人工分为若干相对独立的湖区, 主要的有郭郑湖、汤林湖、后湖、牛巢湖以及数十个小湖湾。本研究主要在水果湖和郭郑湖区进行。根据预采样结果, 在全湖共设四个断面, 共计11个采样点(图1), A断面位于水果湖区, 包括I和II站, B断面位于郭郑湖西侧, 包括VII和X站, C断面位于郭郑湖中部, 包括V、VII和XI站, D断面位于郭郑湖东侧, 包括III、IV、VI和IX四站。11个采样站水深的变化稍大, 最大深度(VII站)与最小深度(II站)之差约1.5m, 平均深度为3.4m。透明度在各站之间变化相对较小, 最大透明度出现在II站, 年均为0.85m, 最小值出现在I站, 年均仅0.54m。各站之间水温的差异很小, 一般不超过0.5℃; 表层和底层的平均温

收稿日期: 2003-03-30; 修订日期: 2004-05-30

基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX1-SW-12); 国家自然科学基金(30200032)资助

作者简介: 龚志军(1974—), 男, 浙江杭州人; 博士, 主要从事淡水生态学研究

通讯作者: 谢平

度差别也很小, 年均差值仅 0.21°C ; 表层最低温度和最高水温为 4°C 和 32°C , 分别出现在 1 月和 8 月。各站湖水的营养水平都较高, TP、PO₄-P、TN 和 NH₄-N 的均值分别为 0.15 、 0.031 、 1.72 和 0.40mg/L 。

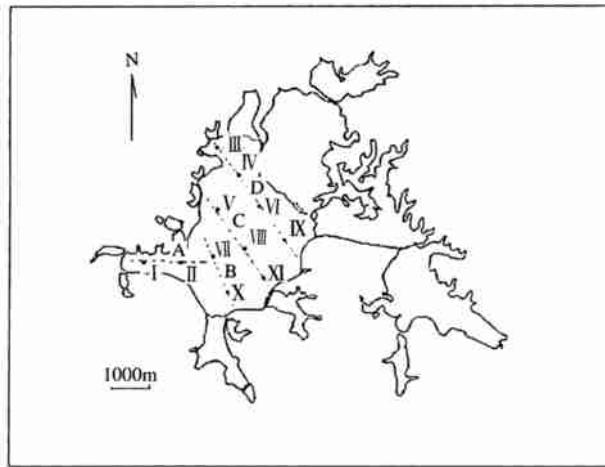


图 1 东湖采样示意图

Fig. 1 The sampling map of Lake Donghu

1.2 标本采集和处理 采样工作从 1999 年 6 月至 2000 年 5 月, 为期一年, 一般在每月 15 日左右进行。定量采集使用 $1/16\text{m}^2$ 改良 Petersen 采泥器, 每月每样点采集一至两次, 泥样经网孔直径为 0.25mm 的尼龙网筛洗, 标本直接手工挑出, 并置于 10% 福尔马林保存。湖球蚬幼小个体的壳长在解剖镜下测定, 较大的个体直接用游标卡尺测量。称量湖球蚬湿重时, 先把待测的标本平铺于滤纸上以吸取体表的水分, 换纸, 直至滤纸上没有湿的印迹出现为止, 然后用电子天平称量。去壳干重使用闫云君^[4]所提供的水生无脊椎动物干湿比例估算。

1.3 生产力的测算 湖球蚬的世代数由壳长频率分布的周年动态来分析^[5], 生产力的计算利用瞬时增长率法和体长频率法^[6], 其中瞬时增长率法计算公式为:

$$P = G^* B_m, G = (\ln W_{i+1} - \ln W_i) / T; B_m = (B_{i+1} + B_i) / 2$$

其中 P 为生产量; G , 瞬时生长率; B_m , 相邻两个月份的平均现存量; B_i , 第 i 月份的平均生物量; W_i , 第 i 月份动物的平均个体体重。

体长频率法的计算公式为:

$$P = [I^* \sum [(W_{i+1}^* W_i)^{1/2} (N_{i+1} - N_i)]^* Pe / P^* 365 / CPI$$

其中 P 为生产量; I , 体长组数; W_i , 第 i 月份的平均个体体重; N_i , 第 i 月份的密度; Pe / P , 发育时间校正

系数; CPI, 同龄组生产时限, 在本研究中使用世代数代替 $365 / CPI$, 并忽略发育系数 $Pe / P^{[6-8]}$ 。

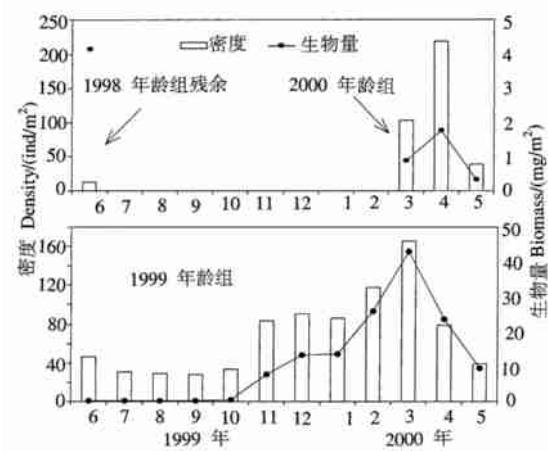


图 2 东湖湖球蚬现存量的季节动态(1999 6—2000. 5)

Fig. 2 Seasonal dynamics of standing crops of *S. lacustre* in Lake Donghu (1999 6—2000. 5)

2 结果

2.1 种群动态

东湖湖球蚬年均密度和生物量分别为 $100.2 \text{ ind.}/\text{m}^2$ 和 $12.1 \text{ g}/\text{m}^2$ 。种群密度高峰出现在 3、4 月, 分别为 $269 \text{ ind.}/\text{m}^2$ 和 $297 \text{ ind.}/\text{m}^2$, 随后有一个快速的下降过程, 这主要归于湖球蚬 1999 年龄组老年个体繁殖后的消亡, 以及 2000 年龄组生殖强度的下降和死亡率的增加, 在 6—10 月份密度相对较低且较为平稳。生物量方面, 湖球蚬自 6 月以来不断增加, 快速增长期主要在 1999 年的夏秋季和次年的春季, 在 2000 年 3 月份达到峰值, 为 $43.8 \text{ g}/\text{m}^2$, 这主要是 1999 年龄组生长的结果, 但随后又快速下降(图 2)。在 1999 年 6 月湖球蚬还残存少量 1998 年龄组的个体, 但在随后的月份中消失。

2.2 生活史

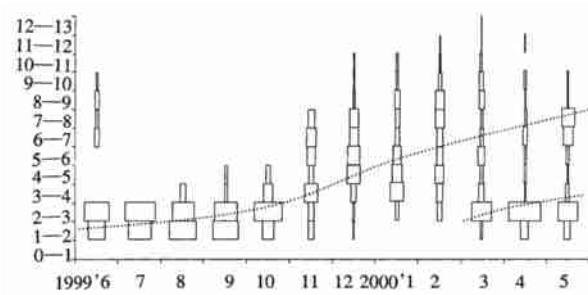


图 3 东湖湖球蚬的体长频率分布图(1999 6—2000. 5)

Fig. 3 Size frequency histograms of *S. lacustre* in Lake Donghu(1999 6—2000. 5)

依据壳长频率分布的周年动态可推知湖球蚬的生活周期为一年一代(图3),寿命约为16个月,前后两个同生群之间有一定的重叠。湖球蚬的繁殖期约3月份即开始,幼体壳长最小仅为1.5mm左右,繁殖可延续至10月份,从6月到9月平均壳长几乎没有变化,表明在夏季湖球蚬生长缓慢。湖球蚬的生长主要发生在夏末到深秋,冬季生长基本停止,次年春季略有生长,并达到最大壳长7mm左右,成体

完成繁殖后在6月全部死亡。

2.3 生产量

2.3.1 瞬时增长率法 由瞬时增长率法测算出的湖球蚬1999年年龄组的周年生产量如表1,其值为31.92g/m²·a。由于东湖湖球蚬的生活史超过一年,由体长频率分布图可推定其值约为一年零4个月,故湖球蚬的同生群生产量=1999年年龄组周年生产量*4/3=42.56g/m²·a,折合去壳干重2.43g/m²·a。

表1 瞬时增长率法测算东湖湖球蚬1999年年龄组的周年生产量

Tab. 1 Calculation of annual production of 1999 year class of *S. laaustre* by instantaneous growth rate method

月份	生物量(g/m ²)	密度(ind./m ²)	个体均重(g)	瞬时增长率	平均生物量(g/m ²)	生产量(g/m ²)
1999' 6	0.29	46.55	0.0063			
7	0.19	30.55	0.0061	-0.026	0.24	-0.0064
8	0.21	29.19	0.0073	0.17	0.20	0.035
9	0.25	27.64	0.0092	0.23	0.23	0.54
10	0.49	33.45	0.015	0.473	0.37	0.18
11	7.77	82.91	0.094	1.85	4.13	7.64
12	13.2	90.18	0.15	0.45	10.54	4.78
2000' 1	13.59	85.82	0.16	0.071	13.45	0.95
2	25.83	117.8	0.22	0.33	19.71	6.41
3	42.94	165.82	0.26	0.17	34.38	5.73
4	23.72	78.55	0.30	0.15	33.33	5.13
5	9.45	39.27	0.24	0.23	16.59	-3.76
				1.01	4.73	4.79
年均生物量=11.50mg/m ²				生产量合计=31.92g/m ² , P/B=2.78		

* 以5月份观察到湖球蚬的最大个体体重0.30mg为6月份的个体均值。

2.3.2 体长频率法测算的生产量 表2为利用体长频率法测算的湖球蚬生产量,其种群的周年生产量为43.02g/m²·a,折合去壳干重2.45g/m²·a,周年

P/B系数为3.55。用体长频率法测算的湖球蚬周年生产量相当于其同生群生产量,本值和用1999年年龄组的周年生产力推测出的值接近。

表2 体长频率法测算湖球蚬的周年生产量

Tab. 2 Calculation of annual production of *S. lacustre* by size frequency method

月份	密度(ind./m ²)	生物量(g/m ²)	个体均重(g)	减员个体均重(g/ind.)	减员数(ind./m ²)	损失量(g/m ²)	生产量(g/m ²)
1—2	14.33	0.0222	0.0015				
2—3	38.73	0.33	0.084	0.0047	-24.40	-0.11	-1.14
3—4	9.73	0.23	0.024	0.016	29.00	0.47	4.73
4—5	3.88	0.53	0.14	0.040	5.85	0.23	2.31
5—6	8.77	1.04	0.12	0.079	-4.89	-0.38	-3.84
6—7	8.27	1.74	0.21	0.14	0.50	0.068	0.68
7—8	7.50	2.39	0.32	0.22	0.77	0.17	1.71
8—9	5.18	2.24	0.43	0.33	2.32	0.78	7.76
9—10	2.40	2.27	0.94	0.48	2.78	1.33	13.32
10—11	1.45	1.32	0.91	0.66	0.95	0.63	6.27
				0.77	1.45	1.12	11.22
年均生物量=12.11mg/m ²				生产量合计=43.02g/m ² , P/B=3.55			

2.4 生产力动态

与密度和生物量的季节动态不同, 生产力的动态可以更显著地反映动物在特定时期内的生长特点以及生产量或能量的累积状况, 本研究中以湖球蚬的日均生产量的变动来研究其生产力的季节动态。图4即为湖球蚬的平均日生产力动态, 可以看出东湖湖球蚬的日均生产量的动态由1999年年龄组主导, 其生产量的累积主要集中在春季和秋季, 夏季和冬季则很少。

3 讨论

体长频率法增长累计法、瞬时增长率法、减员累计法以及Allen曲线法是计算底栖动物生产力的几种常用方法, 其中以体长频率法和瞬时增长率法使用较多^[6, 9], 尤其是体长频率法, 因其使用简便是目前使用最广泛的一种, 据Benke对159份河流大型无脊椎动物生产力研究工作的统计, 67.4%的工作采用了这个方法。Waters和Crawford^[10]以及闫云君^[11]曾使用包括体长频率法和瞬时增长率法在内的多种方法分别对一种水生蜉蝣目昆虫(*Ephemerella subvaria*)和纹沼螺(*Parfossarulus striatulus*)的生产力进行计算, 其结果都基本一致。为了比较, 本研究采用了这两种方法, 生产量的计算结果也较为一致。

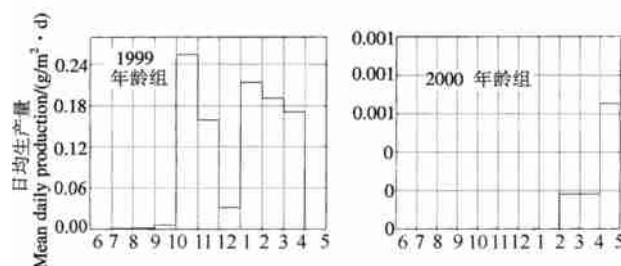


图4 东湖湖球蚬日均生产量的动态(1999.6—2000.9)

Fig 4 Dynamics of mean daily production of *S. lasaure* in Lake Donghu (1999.6—2000.9)

关于湖球蚬的研究一般多集中于只是分布或现存量的粗略描述, 而有关生长和生活史的报道极为罕见^[8, 9]。本研究中湖球蚬的繁殖发生在3月份, 并可以一直延续到10月份, 这与吴小平^[12]通过对东湖湖球蚬所怀的胚胎数量和大小变化来推断其繁殖状况的结果基本一致。在本研究中1999湖球蚬年龄组的密度在6—10月份其密度保持在一个较低而且平稳的水平上, 没有随着其繁殖的进行而升高, 一直到11月份密度才开始有一个较快的升高, 综合图4可知, 在6—9月份湖球蚬的个体极小, 平均在2mm以下, 可能的原因是采样效率的低下导致密度的

偏低, 但这对湖球蚬的生物量和生产力影响较小, 因为误差主要发生在幼体(小于2mm), 它们无论是在生物量还是生产量的累计方面都只占了极小的部分。

湖球蚬在6—10月份的生长极为缓慢, 这个时期食物饵料很充分, 故食物不应是个限制因子。温度和溶氧可能是限制湖球蚬生长的关键原因, 6—10月份东湖水温较高, 东湖底泥中丰富的有机物快速分解消耗了大量的氧, 这一期间东湖底层湖水溶氧是全年最低的, 而泥水界面的溶氧就更低^[13, 14], 这势必影响到湖球蚬正常的生理活动, 导致其在这一时期的生长极为缓慢, 而在秋季和春季无此影响或影响较小, 其生长就较为迅速^[9]。

Waters^[15]对不同生活史的无脊椎动物的P/B系数的频率分布进行了研究, 一年多代的系数较为分散, 平均为8.3, 一年两代的数值一般出现在5—6之间, 而一年一代的一般在4—5之间, 两年一代的在2—3之间, 本研究中湖球蚬的P/B系数在此范围内。有关湖球蚬的生活史和生产力的报道极少, 闫云君^[4]对临近东湖的一小型湖泊——后湖湖球蚬的P/B系数的报道为3.2—3.3, 这与本研究极为接近, 说明同一地区的同一种类的生活史特征较为稳定, 但其生产量(带壳湿重1.048g/m²)远小于本研究中的(带壳湿重43.02g/m²), 这与东湖的营养水平较后湖为高, 湖球蚬生长所必需的无论是有机碎屑还是藻类等食物饵料都较后湖更为丰富有直接的关系。

参考文献:

- [1] Benke A C. Concepts and patterns of invertebrate production in running waters[J]. *Verh. Int. Verein. Limnol.*, 1993, **25**: 15—38
- [2] Plante C, Downing J A. Production of freshwater invertebrate populations in lakes[J]. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1989, **46**: 1489—1498
- [3] Benke A C, Wallace J B. Trophic basis of production among riverine caddisflies: implications for food web analysis[J]. *Ecology*, 1997, **78**: 1132—1145
- [4] Yan Y J, Liang Y L. Annual production of *Sphaerium lacustre* in Lake Donghu (Wuhan, China)[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2003, **15**(1): 76—80 [闫云君, 梁彦玲. 武汉后湖湖球蚬的周年生产量[J]. 湖泊科学, 2003, 15(1): 76—80]
- [5] Stiles D L, Benke A C, Gillespie D M. Population dynamics, growth, and production of the Asiatic clam, *Carbicula fluminea*, in a blackwater river[J]. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1995, **52**: 425—437
- [6] Resh V H, Rosenberg D M. The ecology of aquatic insects[M]. New York: Praeger Scientific. 1984. 289—322
- [7] Hamilton A L. On estimating annual production[J]. *Limnology and Oceanography*, 1969, **14**: 771—782
- [8] Merzie C A. A note on the Hynes method of estimating secondary production[J]. *Limnology and Oceanography*, 1980, **25**(4): 770—773

- [9] Gong Z J, Xie P, Yan Y J. Theories and methods of studies on the secondary production of zoobenthos [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2001, **13** (1): 79—88 [龚志军, 谢平, 阎云君. 底栖动物次级生产力研究的理论与方法. 湖泊科学, 2001, **13** (1): 79—88]
- [10] Waters T F, Crawford G W. Annual production of a stream mayfly population: a comparison of methods [J]. *Limnology and Oceanography*, 1973, **18**: 286—296
- [11] Yan Y J, Liang Y L, Wang H Z. Production of gastropods in Lake Biandatang II Annual production of *Parfossarulus striatulus* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2001, **25** (1): 36—41 [阎云君, 梁彦龄. 扁担塘螺类生产力的研究II. 纹沼螺的周年生产量. 水生生物学报, 2001, **25** (1): 36—41]
- [12] Wu X P. Studies on freshwater Mollusca in mid lower reaches of Changjiang River [D]. Doctoral thesis. 1998 Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Science Wuhan [吴小平. 长江中下游淡水贝类的研究. 博士论文. 中国科学院水生生物研究所, 武汉. 1999]
- [13] Liu J K. Studies on ecology in Lake Donghu (I) [M]. Beijing: Science Press, 1990. 10—51. [刘建康. 东湖生态学研究(I). 北京: 科学出版社, 1990. 10—51]
- [14] Gong Z J, Xie P, Tang H Jl et al. Influence of eutrophication on biodiversity of macrozoobenthos community [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2001, **25** (3): 209—216 [龚志军, 谢平, 唐汇涓, 王士达. 水体富营养化对大型底栖动物群落结构和多样性的影响 [J]. 水生生物学报, 2001, **25** (3): 209—216]
- [15] Macfadyen A I. Advances in ecological research [M]. London: Academic Press, 1977. 91) 164

STUDIES ON DYNAMICS OF POPULATION AND PRODUCTION OF SPHAERIUM LACUSTRE: IN LAKE DONGHU, WUHAN

GONG Zhi2Jun, LI Yan2Ling and XIE Ping

(Institute of Hydrobiology, The Chinese Academy of Sciences, State Key Laboratory for Freshwater and Biotechnology, Donghu Experimental Station of Lake Ecosystem, Wuhan 430072)

Abstract: *Sphaerium lacustre* is a fingernail clam, which is a predominant benthic macroinvertebrate in many shallow lakes along the middle and lower basins of the Yangtze River, and there is little published information on this species in China by far! This paper deals with the population dynamics and production of *S. lacustre*, a subtropical, shallow, eutrophic lake located near the middle reaches of the Yangtze River! *S. lacuster* was samples monthly at the eleven stations in Lake Donghu from June 1998 to May 1999! The results showed that the annual average density and biomass were 10012 ind1/m² and 1211g/m², respectively, and the density and biomass peaks were observed in April (297 ind1/m²) and in March (4318g/m²), respectively! *Sphaerium lacustre* population was composed of three year classes, among which the 1999 year class was dominant! The annual production of the animal calculated by instantaneous growth rate method and the size-frequency method was: wet weight, 42179g/m²; dry weight(unshelled), 2144g/m², and corresponding annual P/B ratio was 3155! The production and P/B ratio of *S. lacustre* in the present paper were close to the medians of the values reported! The dynamic of mean daily production of *S. lacustre* was also studied, and it shows that the accumulation of production of *S. lacuster* mainly occurred in Spring and Autumn!

Key words: *Sphaerium lacustre*; Production; P/B ratio; Lake Donghu in Wuhan