

武汉东湖铜锈环棱螺的种群动态及次级生产力*

龚志军^{1,2}, 李艳玲¹, 谢平²

(1: 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室, 南京 210008)

(2: 中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

摘要: 1999年6月至2000年5月对武汉东湖铜锈环棱螺的种群生态学进行了周年研究。铜锈环棱螺年均密度和生物量分别为 92.2 ind./m² 和 142.83 g/m², 密度和生物量的高峰分别出现在 6 月(157 ind./m²) 和 11 月(205.78 g/m²); 东湖铜锈环棱螺为一年一代, 其一年中种群含有 5 个年龄组, 其中 1998 年龄组占绝对优势。利用瞬时增长率法计算东湖铜锈环棱螺的周年生产量带壳湿重为 91.56 g/m², 去壳干重为 5.32 g/m², P/B 系数为 0.64。同时研究了铜锈环棱螺的生产力动态变化, 其生产量累积多数季节均有发生, 且以 1998 年龄组占优。

关键词: 武汉东湖; 铜锈环棱螺; 生产量; P/B 系数

Population dynamics and production of *Bellamyia aeruginosa* (Reeve) (Mollusca: Viviparidae) in Lake Donghu, Wuhan

GONG Zhijun^{1,2}, LI Yanling¹ & XIE Ping²

(1: State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, P.R.China)

(2: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, P.R.China)

Abstract: *Bellamyia aeruginosa* (Reeve) 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 its production in China by far. This paper dealt with the population dynamics and production of *B. aeruginosa*, a subtropical, shallow, eutrophic lake located near the middle reaches of the Yangtze River. *B. aeruginosa* was sampled 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 92.2 ind./m² and 142.83 g/m², respectively, and the density and biomass peaks were observed in June(157 ind./m²) and in November(205.78 g/m²), respectively. *B. aeruginosa* population was composed of five year classes, among which the 1998 year class was dominant. The annual production of the animal calculated by instantaneous growth rate method was 91.56 g/m² in wet weight and 5.32 g/m² in dry weight (unshelled), and corresponding annual P/B ratio was 0.64. The production and P/B ratio of *B. aeruginosa* in the present paper were moderate among the values reported. The study on dynamic of mean daily production of *B. aeruginosa* showed that the accumulation of production of *B. aeruginosa* occurred in Spring, Summer and Autumn, and the value of 1998 year class was dominant in the total production.

Keywords: Lake Donghu in Wuhan; *B. aeruginosa*; production; P/B ratio

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(IBP)实施以来, 相关的研究工作才被更多地重视起来, 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

* 中国科学院知识创新工程项目(KZCX1-YW-14, KZCX2-YW-319)和国家自然科学基金项目(30770404, 40730529)联合资助。2008-05-10 收稿; 2008-10-20 收修改稿。龚志军, 男, 1974 年生, 博士, 副研究员; E-mail: zjgong@niglas.ac.cn.

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, 在深度和广度上同国外相比还存在较大差距。

铜锈环棱螺(*Bellamya aeruginosa*)属于软体动物门(Mollusca)腹足纲(Gastropoda)田螺科(Viviparidae), 广泛分布于长江中下游各个浅水湖泊中, 而且往往数量较大, 其作为鱼类天然饵料有很高的价值, 对于湖泊生态系统底栖食物网的物质循环和能量流动也具有重要意义。虽然国内对其的认识和利用在较早时期就已经开始了, 但其种群生态学的研究至今较少。因此作者于 1999 年 6 月至 2000 年 5 月对武汉东湖铜锈环棱螺进行逐月采集, 研究其种群动态规律和生活史特征, 并采用瞬时增长率法估算了其生产力, 分析了其生产力动态, 这将为了解我国湖泊底栖动物生产力状况及合理利用这一资源提供理论依据。

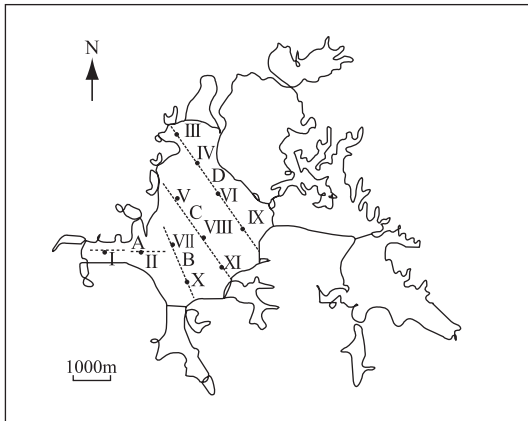


图 1 东湖采样示意图
Fig.1 The sampling map of Lake Donghu

1 材料与方法

1.1 研究地点及理化状况

武汉东湖(30°33'N, 114°23'E)是长江中游的一个小型浅水湖泊, 面积约 32km², 20 世纪 60 年代前东湖是一个没有分割的水体, 60 年代后期东湖被人工分隔为若干相对独立的湖区, 目前主要由郭郑湖、汤林湖、后湖、牛巢湖以及数十个小湖湾组成。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 4 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、VIII 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(VIII 站)与最小深度(III 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 III 站, 年均均为 0.85m, 最小透明度出现在 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度差别也很小, 年均差值仅 0.21℃; 表层最低温度和最高水温为 4℃和 32℃, 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、0.40mg/L。

1.2 标本采集和处理

采样从 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 1/16m² 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 的尼龙网筛选, 标本直接手工挑出, 并置于 10% 福尔马林保存。铜锈环棱螺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。称量铜锈环棱螺湿重时, 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

铜锈环棱螺的世代数由壳长频率分布的周年动态来分析, 次级生产力的计算利用瞬时增长率法^[5-8], 其中瞬时增长率法计算公式为:

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

其中, P 为生产量; g 为瞬时增长率; B_m 为相邻两个月份的平均现存量; B_i 为第 i 月份的平均生物量; W_i 为第 i 月份动物的平均个体体重。

次级生产力动态研究根据 Benke^[9]的方法。

2 结果

2.1 种群动态

东湖铜锈环棱螺种群在 1999 年 6 月至 2000 年 5 月期间存在 5 个年龄组, 各年龄组现存量的季节动态各不相同(图 2). 2000 年龄组无论是密度还是生物量均呈现一种快速增长的趋势, 其个体均重较小, 表现出该年龄组正处于快速生长的幼体特征, 到 5 月份时密度有所下降, 主要是繁殖趋缓而死亡率增加的缘故. 1999 年龄组的密度高峰出现在 6 月, 这主要是铜锈环棱螺在当年 3-4 月份大量繁殖的结果, 6 月后密度大幅度下降, 表明铜锈环棱螺幼螺阶段的死亡率极高(超过 50%), 10 月以后其密度则保持了相对的稳定性; 与此同时生物量表现出明显的增长趋势, 增长的区间主要是在 2000 年的春季, 1999 年的夏秋期间也有小幅度的增长, 冬季密度和生物量变化较小. 1998 年龄组的密度有下降的趋势, 生物量总体上保持相对稳定, 只是在 1999 年 11 月的密度和生物量表现出较高的值, 这可能与铜锈环棱螺在湖心越冬有关(吴家琦, 1959). 1997 和 1996 年龄组由老年或衰老个体组成, 因此现存量表现出逐渐消亡的趋势. 就整个年

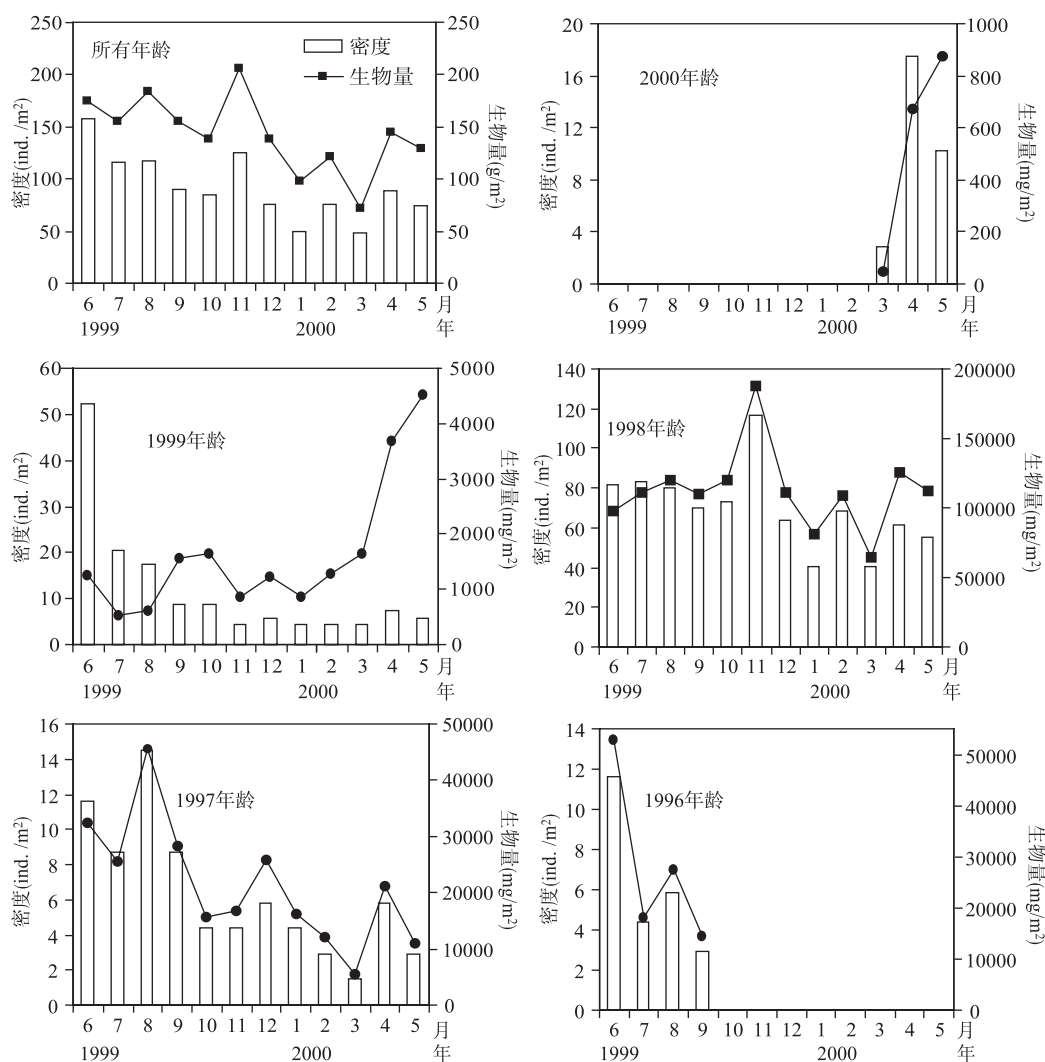


图 2 1999-2000 年东湖铜锈环棱螺现存量的季节动态

Fig.2 Seasonal dynamics of standing crops of *B. aeruginosa* in Lake Donghu during 1999-2000

龄组而言, 东湖铜锈环棱螺年均密度和生物量分别为 92.2ind./m^2 和 142.83g/m^2 , 密度和生物量的高峰分别出现在 6 月(157ind./m^2)和 11 月(205.78g/m^2).

2.2 生活史

利用铜锈环棱螺的体长(壳长)频率分布图分析其同生群的补充、生长和生活史跨度如图 3 所示. 虚线表示各个同生群平均个体的大小变化趋势, 表明了同生群的持续生长过程. 至少有 3 个体长组往往共存于同一月份, 且数量较大, 表明铜锈环棱螺最大的生活史跨度至少有 3 年. 铜锈环棱螺繁殖期在 3 月份, 并可延长至 8 月, 新一代的幼螺在当年的生长较为迅速, 从平均 2mm 长到约 14.5mm. 从 1999 年 6 月至 2000 年 5 月期间, 东湖铜锈环棱螺有 5 个年龄组共存: 2000 年的年龄组生长最为迅速, 其后依次为 1999 年年龄组和 1998 年年龄组, 1997 年年龄组增长缓慢, 甚至可视为 0 增长, 1996 年年龄组的个体极少, 但体长极大, 超过 3cm, 属于趋于衰老消亡的个体群.

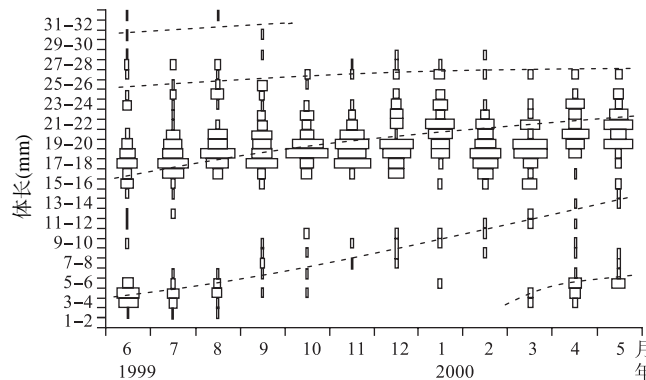


图 3 1999-2000 年东湖铜锈环棱螺的体长频率分布

Fig.3 Size-frequency histograms of *B. aeruginosa* in Lake Donghu during 1999-2000

2.3 生产量

铜锈环棱螺的次级生产量采用瞬时增长率法估算, 即 $P=GB_m$, $g=(\ln W_{i+1}-W_i)/T$; $B_m=(B_{i+1}+B_i)/2$. 表 1 是 1997、1998、1999 和 2000 年年龄组的周年生产量, 将这四个年龄组的生产量相加得到 1999 年 6 月至 2000 年 5 月的周年生产量, 为 $91.56\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ (带壳湿重), 折合 $5.32\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ 去壳干重, P/B 系数为 0.64. 从对周年生产量的贡献率来看, 1998 年年龄组最大, 占 83.33%, 1997 年年龄组、1999 年年龄组和 2000 年年龄组分别为 9.44%, 5.71%, 1.52%, 1996 年年龄组的个体极少, 瞬时增长率接近于 0 甚至负值, 故不包含在周年生产量内.

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, 本研究中以铜锈环棱螺的日均生产量的变动来研究其生产力的季节动态. 图 4 即为铜锈环棱螺的平均日生产力动态, 该种的日均生产量动态由 1998 年年龄组主导, 除了冬季, 全年生产量的累积都较高(图 4).

3 讨论

东湖铜锈环棱螺自 1960 年以来其密度呈现上升趋势, 这与东湖营养水平呈现正向的趋势^[10], 在 1960 年铜锈环棱螺的密度和生物量均较低, 分别为 5.45ind./m^2 和 9.35g/m^2 , 而到了 20 世纪 70、80 年代, 密度增加到 32ind./m^2 和 69ind./m^2 , 进入 90 世纪末至 2000 年来, 其密度更是达到 92.2ind./m^2 , 这主要是由于随着湖泊营养水平的提高, 饵料生物也大为增加, 促进了铜锈环棱螺的繁殖和生长. 本研究发现在营养水平为超富营养化的水果湖敞水区除了岸边以外铜锈环棱螺基本没有分布, 而主要分布在营养水平相对较低的郭郑湖区, 这又表明湖泊铜锈环棱螺对于营养水平有个最适范围, 营养水平过高可能会产生如底泥缺氧等不利环境条件, 抑制其的分布和生长^[11].

表1 东湖铜锈环棱螺 1997、1998、1999、2000 年龄组的周年生产量
Tab.1 Production of year class of *B.aeruginosa* in Lake Donghu during 1997-2000

	时间 (年-月)	生物量 (mg/m ²)	密度 (ind./m ²)	个体均重 (mg)	瞬时 增长率	平均 生物量 (mg/m ²)	生产量 (mg/m ²)
1997 年龄组	1999-06	32403	11.64	2785	0.050	28969	1434
	1999-07	25536	8.73	2926	0.069	35555	2434
	1999-08	45575	14.55	3133	0.038	36990	1407
	1999-09	28405	8.73	3255	0.10	22089	2315
	1999-10	15772	4.36	3615	0.068	16325	1105
	1999-11	16877	4.36	3868	0.14	21378	2987
	1999-12	25878	5.82	4448	-0.17	21093	-3672
	2000-01	16307	4.36	3737	0.10	14177	1456
	2000-02	12048	2.91	4141	-0.103	8742	-898
	2000-03	5436	1.45	3737	-0.025	13322	0332
	2000-04	21208	5.82	3645	0.025	16040	399
2000-05	10871	2.91	3737	0.0015*	5036	8	
1998 年龄组	1999-06	97558	81.46	1198	0.11	104371	11798
	1999-07	111184	82.91	1341	0.11	115347	12448
	1999-08	119505	80.00	1494	0.056	114884	6385
	1999-09	110260	69.82	1579	0.047	115333	5447
	1999-10	120408	72.73	1656	-0.024	154220	-3743
	1999-11	188033	116.36	1616	0.070	149501	10535
	1999-12	110969	64.00	1734	0.13	95805	12717
	2000-01	80641	40.73	1980	-0.22	94487	-21045
	2000-02	108334	68.36	1585	-0.0017	86351	-229
	2000-03	64368	40.73	1581	0.26	94963	24945
	2000-04	125558	61.10	2055	-0.0083	119108	-991
2000-05	112658	55.27	2038	0.32*	56329	18025	
1999 年龄组	1999-06	1247	52.36	23.81	0.11	895	98.46
	1999-07	543	20.36	26.67	0.28	580	162.34
	1999-08	617	17.45	35.32	1.62	1090	1765.40
	1999-09	1563	8.73	179.10	0.054	1607	86.78
	1999-10	1651	8.73	189.19	0.051	1260	64.25
	1999-11	869	4.36	199.09	0.060	1049	62.96
	1999-12	1230	5.82	211.33	-0.056	1051	-58.86
	2000-01	872	4.36	199.85	0.38	1076	408.71
	2000-02	1279	4.36	293.06	0.25	1458	364.50
	2000-03	1637	4.36	375.15	0.30	2669	800.55
	2000-04	3700	7.27	508.75	0.20	4112	822.30
2000-05	4523	5.82	777.38	0.30*	2262	678.45	
2000 年龄组	2000-03	48.11	2.91	16.54	0.85	361.2	306.3
	2000-04	674.2	17.45	38.63	0.80	761.4	609.1
	2000-05	875.5	10.18	85.99	1.09*	437.8	477.2

* 1997、1998、1999、2000 年龄组分别以 5 月份观察到铜锈环棱螺的最大个体体重 3742.5mg、2808.4mg、1045.1mg、257.0mg 为 6 月份的均值。

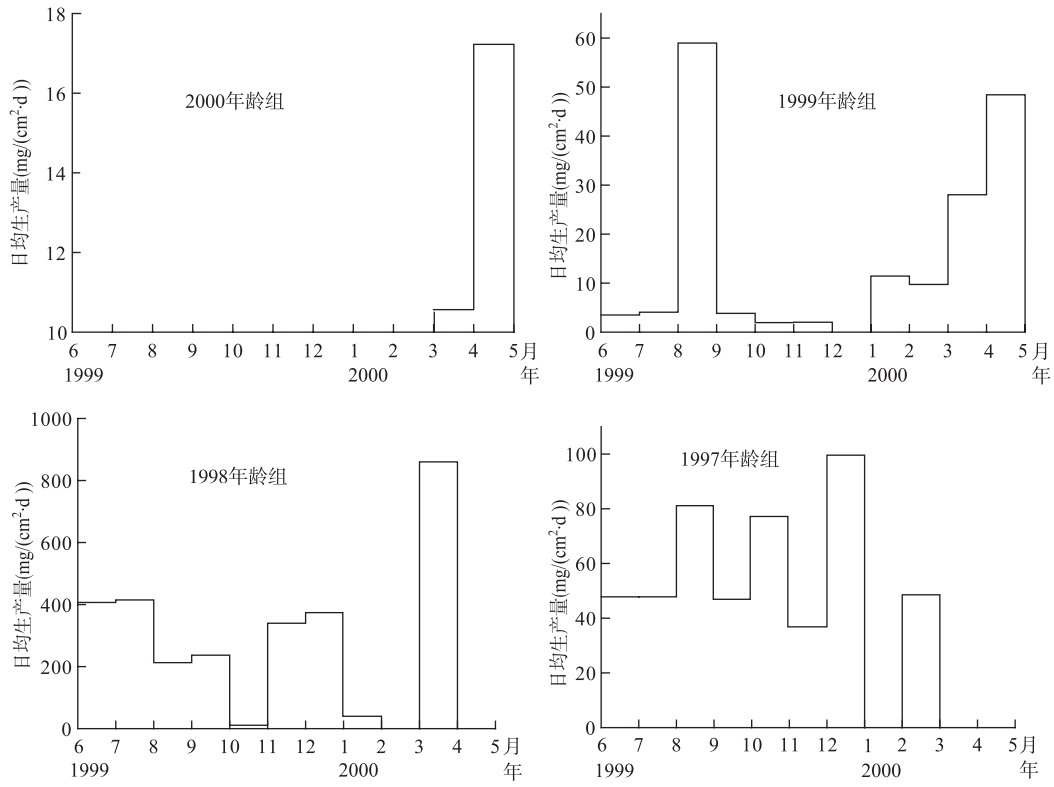


图4 东湖铜锈环棱螺日均生产量的动态
Fig.4 Dynamics of mean daily production of *B.aeruginosa*

关于铜锈环棱螺种群生态学的报道较少, 闫云君^[4]和陈其羽等^[12-13]曾报道该种有 4 个年龄组, 本研究中发现东湖的种类有 5 个年龄组, 其最老的 1996 年龄组(体长可超过 3cm)的存在可能缘于东湖目前营养水平较高、饵料生物充足。其他 4 个年龄组的结构与已报道中的平均体长有一定的差异, 这与不同湖泊生长环境条件有直接关系。

Waters^[14]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, 一年一代的一般在 4-5 之间, 而一些生命周期较长的如软体动物其 P/B 系数可低至 0.1-0.2, 本研究中铜锈环棱螺的 P/B 系数明显较低, 但在已有报道的范围内^[1,15], 主要原因是铜锈环棱螺的生活史相对较长, 达到 4-5 年。有关铜锈环棱螺的生活史和生产力的报道极少, 闫云君等^[16-17]对临近东湖的两个小型湖泊扁担塘和后湖的铜锈环棱螺的 P/B 系数的报道为 0.5 和 0.8, 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 8.62 和 19.3g/m²)远小于本研究中的 91.56g/m², 这与东湖的营养水平较扁担塘和后湖为高, 铜锈环棱螺生长和繁殖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。

致谢: 感谢中国科学院水生生物研究所东湖站各位老师的热情帮助。野外采样和样品处理得到黄根田老师和闫云君老师等同志的鼎力相助, 在此一并表示谢意。

4 参考文献

- [1] Benke AC. Concepts and patterns of invertebrate production in running waters. *Verh Int Verein Limnol*, 1993, **25**: 15-38.
- [2] Plante C, Downing JA. Production of freshwater invertebrate populations in lakes. *Can J Fish Aquat Sci*, 1989, **46**: 1489-1498.

- [3] Benke AC, Wallace JB. Trophic basis of production among riverine caddisflies: implications for food web analysis. *Ecology*, 1997, **78**: 1132-1145.
- [4] 阎云君. 浅水湖泊大型底栖动物生态能量学及生产量的研究[博士论文]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 1998.
- [5] Hamilton AL. On estimating annual production. *Limnology and Oceanography*, 1969, **14**: 771-782.
- [6] Menzie CA. A note on the Hynes method of estimating secondary production. *Limnology and Oceanography*, 1980, **25**(4): 770-773.
- [7] Benke AC. Secondary production of aquatic insects. In: Resh VH, Rosenberg DM eds. *The ecology of aquatic insects*. New York: Praeger Scientific, 1984: 289-322.
- [8] 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.
- [9] Benke AC. Production dynamics of riverine chironomids: extremely high biomass turnover rates of primary consumers. *Ecology*, 1998, **79**: 899-910.
- [10] 刘建康. 东湖生态学研究(一). 北京: 科学出版社, 1990: 10-51.
- [11] Gong Z, Xie P. Impact of eutrophication on biodiversity of macrozoobenthos community in a chinese shallow lake. *Journal of Freshwater Ecology*, 2001, **16**(2): 171-178.
- [12] 陈其羽. 武昌东湖软体动物的生态分布及种群密度. *水生生物学集刊*, 1975, **5**(3): 371-379.
- [13] 陈其羽, 宋贵保. 铜锈环棱螺繁殖和生长的初步研究. *水生生物学集刊*, 1975, **5**(4): 519-534.
- [14] Waters TF. Secondary production in inland waters. In: Macfadyen A ed. *Advances in ecological research*. London: Academic Press, 1977: 91-164.
- [15] Benke AC. Food web quantification using secondary production analysis: predaceous invertebrates of the snag habit in a subtropical river. *Freshwater Biology*, 2001, **46**: 329-346.
- [16] 阎云君, 梁彦龄, 王洪铸. 扁担塘螺类生产力的研究: I.铜锈环棱螺的周年生产量. *水生生物学报*, 1999, **23**(4): 346-251.
- [17] 阎云君, 梁彦龄, 王洪铸. 武汉后湖铜锈环棱螺的周年生产量. *湖泊科学*, 2000, **12**(1): 68-72.