

武汉市南湖大型底栖动物的时空分布和氮磷评价*

杨明生, 熊邦喜**, 杨学芬

(华中农业大学水产学院, 武汉 430070)

摘要:通过对南湖大型底栖动物的时空分布研究表明,南湖中现在的优势种主要为耐污性强的种类,其季节分布:霍甫水丝蚓以5月份密度最大,8月份密度最低;刺铗长足摇蚊和红裸须摇蚊的幼虫均以11月份密度最大.水平分布:霍甫水丝蚓密度依次为V>III>II>I>IV;刺铗长足摇蚊幼虫密度依次为II>I>III>IV>V.垂直分布:寡毛类和摇蚊幼虫最大分布深度为25 cm,主要集中在0–20 cm深度范围内,此深度范围内的生物量占到30 cm柱样中同类总量的99%以上.软体动物在湖区已很难采到活体标本,但在岸壁上能采到一些腹足类.南湖寡毛类生物量鲜重为176759.35 kg,摇蚊幼虫为46810.30 kg,腹足类为899.34 kg;其所含的TN量和TP量分别为3463.61 kg和350.92 kg.研究表明,利用大型底栖动物转移或清除南湖中的N和P是一条重要途径,但与南湖目前巨大的外源性和内源性营养盐来源相比,对N、P的清除量是有限的.

关键词:大型底栖动物;时空分布;氮;磷;评价;南湖

Temporal and spatial distribution and evaluation of nitrogen and phosphorus of Macrozoobenthos in Lake Nanhu, Wuhan, China

YANG Mingsheng, XIONG Bangxi** & YANG Xuefen

(Fisheries College, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, P. R. China)

Abstract: The Lake Nanhu (30°29'N, 114°21'E) situated in Wuhan City, Hubei Province of China, is an eutrophic shallow lake along the middle reaches of the Yangtze River, with a main surface of 550 hm² of aquaculture. Macrozoobenthos were collected at 5 sampling sites both seasonally and randomly in the Lake Nanhu during the period of investigation from August 2005 to May 2006. With the input of massive nutritional salts and the deterioration of the water quality, the community structure and biodiversity of macrozoobenthos had changed in the Lake Nanhu. Few species like mollusk had already been seen in the lake. Predominant species were *Limnodrilus hoffmeisteri*, *Tubifex tubifex*, *Branchiura sowerbyi*, *Tanytus punctipennis* and *Prosilocerus akamus* at present. Level distributions density of *L. hoffmeisteri* were V > III > II > I > IV and *T. punctipennis* were II > I > III > IV > V. The largest density of *L. hoffmeisteri* in May was 3802 ind./m², so was the least in August. The largest density of *T. punctipennis* in November was 730 ind./m². The largest distributions depth was 25 cm, while 99% of Oligochaeta and Chironomid larvae lived in depth of 0–20 cm in the sediment. Wet weight biomass of Oligochaeta's was 176759.35 kg, Chironomid larvae was 46810.30 kg, and freshwater snails was 899.34 kg in Lake Nanhu. Macrozoobenthos can clear away 3463.61 kg TN and 350.92 kg TP from the lake, but their efficiency is limited, compared with huge nutrition salt source of the lake.

Keywords: Macrozoobenthos; temporal and spatial distribution; nitrogen; phosphorus; evaluation; Lake Nanhu

大型底栖动物作为湖泊中的一个重要的生物类群,由于其特殊的生物习性,对环境条件的改变反应敏感,作为指示生物在水体富营养化和水环境的监测与评价方面得到了广泛的应用^[1–6]. 在湖泊生态系统

* 国家自然科学基金项目(30470342)和教育部博士学科点专项基金项目(20020504001)联合资助. 2006–10–30收稿;2007–05–14收修改稿. 杨明生,男,1963年生,教授,博士研究生;E-mail:xygms@xgu.cn.

** 通讯作者; E-mail:bangxix8@mail.hzau.edu.cn.

中,大型底栖动物具有多种生态功能:可以加速水底有机碎屑的分解,调节泥-水界面的物质交换;促进水体自净,同时本身也是湖泊生态系统中食物链的重要环节^[7-9]。水生昆虫中的摇蚊幼虫在富营养湖泊中的密度大,能摄食消化大量的沉积有机碎屑,成虫羽化后离开水体飞往陆地。大型底栖动物作为湖泊沉积物中 N、P 的有效利用者和清除者,可为湖底沉积的大量营养物的清除开辟一条重要途径;另一方面,通过食物链,大型底栖动物为鱼所摄食后转化为鱼产品,通过捕获从水体中取出,是清除湖泊中 N、P 的又一途径。

南湖(30°29' N, 114°21' E)是武汉市城中湖泊之一,现存主体湖泊面积 550 hm²,平均水深约 2 m。从 20 世纪 80 年代以来,随着南湖周边土地的不断开发和人口剧增,南湖富营养化越来越严重,湖泊面积不断缩减,自然的沿岸带被人工砌筑的石壁所代替,沉水植物完全消失,变成了一个典型的藻型湖泊。氮和磷是引起湖泊富营养化的关键因子,对湖泊水体和沉积物中氮(N)和磷(P)的输入、输出方面的研究,国内外已有许多报道^[10-14]。南湖从 80 年代初起营养盐浓度不断升高^[15]。2004 年,南湖被划为 V 类水质^[16],现已成为武汉市重点整治的湖泊之一。

对南湖底栖动物的研究,仅见郭先武研究了南湖摇蚊幼虫的种群动态^[17],郑光明等研究了南湖的圆背角无齿蚌的食性与繁殖^[18]。王银东等研究了南湖中大型底栖动物的群落结构和生物多样性,在南湖中只能采到 30 种标本,认为南湖中大型底栖动物的生物多样性在不断降低^[19]。然而,对于大型底栖动物在富营养化湖泊中的垂直分布和功能作用的研究尚未见报道,为此,本项目于 2005-2006 年,对南湖中主要大型底栖动物的时间和空间分布,特别是垂直分布和生物量,主要类群的 N 和 P 的含量进行了研究,旨在为南湖的生态治理提供一些基础性资料。

1 材料和方法

1.1 样品采集

2005 年 8 月(夏季)、11 月(秋季)和 2006 年 2 月(冬季)、5 月(春季)共 4 次在南湖选取 5 个采样点对大型底栖动物进行水平采样和垂直采样(图 1),用于定性和定量分析。水平采样用 1/16 m²改良采泥器,每个点采 2 个样品,混合计数。垂直采样用内径为 46 mm 的管状采样器,每个点采 4 个样品,取样时深度为 50 cm,由沉积物表层向深层取 30 cm 柱样,现场按 5 cm 一段分成 6 段,把每段的 4 个样品混合为一个样品,各段分别计数。软体动物采自岸壁,沿湖岸线设 10 个点,每个点采集 2 m 长岸壁的全部螺类,依螺类实际密度分布和湖岸线长度分段估算其生物量。

泥样带回实验室用孔径为 0.45 mm 筛网洗涤干净后置于白磁盘挑出活体底栖动物,分类计数,用吸水纸吸干样品水份后,用万分之一电子天平称鲜重。水生昆虫和寡毛类在 -70℃ 真空冷冻干燥。腹足类称量鲜重和解剖后的内脏团,求取内脏团占体重的比例,其内脏团用电热干燥箱干燥(70℃, 24 h)后备测。

1.2 样品分析

水生昆虫和寡毛类定性分析后取全部材料,干燥的样品用研钵研磨;软体动物的内脏团干燥后用高速粉碎机粉碎,全部样品过 100 目筛。总氮(TN)按 GB 11894-89 测定;总磷(TP)按 GB 11893-89 测定^[20];水平密度以 ind./m²、垂直密度以 ind./m³计算。测定数据用 Excel 软件处理。

2 结果

2.1 主要大型底栖动物的水平和季节分布

5 个点采集的大型底栖动物主要为寡毛类和水生昆虫的幼虫,但种类比较少。大型底栖动物的水平分布:寡毛类中的优势种为霍甫水丝蚓(*Limnodrilus hoffmeisteri*),年均密度为 3802 ind./m²;其次是正颤蚓(*Tubifex tubifex*),年均密度为 716 ind./m²;再次为苏氏尾鳃蚓(*Branchiura sowerbyi*),年均密度为 270 ind./m²。各采样点的霍甫水丝蚓密度依次为 V > III > II > I > IV;摇蚊幼虫中的优势种为粗腹摇蚊亚科中的刺铗长

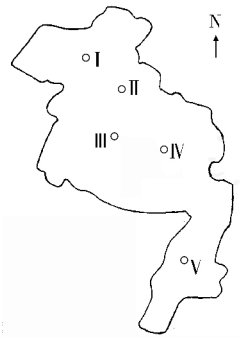


图 1 南湖采样点分布
Fig. 1 Sampling sites in Lake Nanhu

足摇蚊(*Tanytus punctipennis*), 年均密度为 730 ind./m², 其次为红裸须摇蚊(*Prosilocerus akamusi*), 年均密度为 50 ind./m². 刺铗长足摇蚊幼虫密度依次为 II > I > III > IV > V. 在周年采样中, 无论是水平采样还是垂直采样, 120 份泥样中都没有采到活体的软体动物, 只采到少量已钙化的铜锈环棱螺(*Bellamya aeruginosa*)和长角涵螺(*Alocinma longicornis*). 从季节分布看, 霍甫水丝蚓以春季的 5 月份密度最大, 夏季的 8 月份密度最低; 刺铗长足摇蚊和红裸须摇蚊的幼虫密度均以秋季的 11 月份最大(表 1).

表 1 南湖主要大型底栖动物的水平和季节分布密度(ind./m²)

Tab. 1 Density of distribution in the plane and seasonal of macrozoobenthos in Lake Nanhu

采样点	采样时间 (年. 月)	霍甫水丝蚓	苏氏尾鳃蚓	正颤蚓	刺铗长足摇蚊	红裸须摇蚊
I	2005. 8	960	24	34	504	32
	2005. 11	824	48	56	1234	40
	2006. 2	3224	416	1184	680	32
	2006. 5	6968	16	254	664	32
	年均值	2994	126	382	771	34
II	2005. 8	164	8	8	560	18
	2005. 11	944	56	16	1504	56
	2006. 2	2096	432	880	896	64
	2006. 5	10832	24	3120	1104	112
	年均值	3509	130	1006	1016	63
III	2005. 8	128	16	8	256	16
	2005. 11	944	76	8	1368	112
	2006. 2	2168	296	424	1248	96
	2006. 5	13808	32	2680	32	8
	年均值	4262	105	780	726	58
IV	2005. 8	256	8	16	336	38
	2005. 11	1016	16	8	936	112
	2006. 2	1368	216	736	808	48
	2006. 5	8928	16	3680	272	8
	年均值	2892	64	1110	588	52
V	2005. 8	512	12	28	258	32
	2005. 11	1056	8	16	992	112
	2006. 2	3264	32	1136	624	8
	2006. 5	16576	3648	32	328	24
	年均值	5352	925	303	551	44
南湖	年均值	3802	270	716	730	50

2.2 垂直分布

周年采集的 80 个泥样中, 无论是寡毛类还是水生昆虫的幼虫, 只能在 0 - 25 cm 深度范围内检出活体标本, 25 cm - 30 cm 段未检出相应的标本. 除了 III 点的寡毛类以 6 - 10 cm 段密度最大, IV 点的摇蚊幼虫以 11 - 15 cm 段密度最大外, 其它各点均以 0 - 5 cm 段(即表层)的密度为最大, 由沉积物表层向深层, 总的趋势是随着深度的增加, 大型底栖动物的数量呈下降趋势(图 2, 3). 统计垂直方向各段的生物量, 寡毛类 0 - 5 cm 段占总量的 56.7%; 0 - 20 cm 段占总量的 99.28%; 摇蚊幼虫 0 - 5 cm 段占总量的 29.86%; 0 - 20 cm 段占总量的 99.31%, 20 cm 深度的样品, 大型底栖动物的采集量可达到 99% 以上.

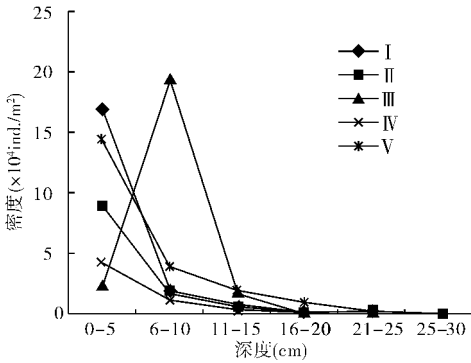


图2 南湖寡毛类的垂直分布
Fig. 2 Vertical distribution of Oligochaeta in Lake Nanhu

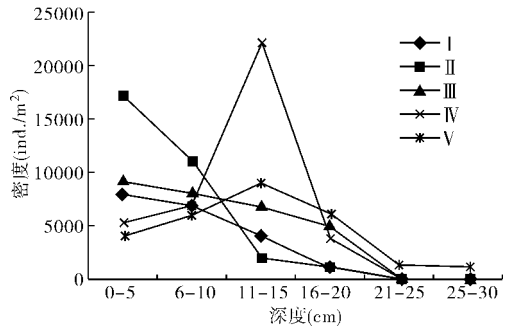


图3 南湖摇蚊幼虫的垂直分布
Fig. 3 Vertical distribution of Chironomid larvae in Lake Nanhu

2.3 TN、TP 含量

测定了采自南湖的6种底栖动物,如霍甫水丝蚓、苏氏尾鳃蚓、摇蚊幼虫、铜锈环棱螺、梨形环棱螺(*Bellamyapurificata*)和耳萝卜螺(*Radix auricularia*)的TN、TP含量(表2)。

2.4 南湖主要大型底栖动物的生物量和N、P总量

南湖面积为550 hm²,减去底泥不到20 cm深的沿岸带,生物量按500 hm²面积计算。按上述垂直取样的结果,以表层20 cm深度及其平均密度计算,其中寡毛类为41287 ind./m³,摇蚊幼虫7174 ind./m³;淡水螺类主要为三种螺。南湖中寡毛类、摇蚊幼虫和螺类的生物量、总氮量和总磷量见表3。

表2 南湖主要大型底栖动物的TN和TP含量
Tab. 2 Total phosphorous and total nitrogen of macrozoobenthos in Lake Nanhu

种类	总磷(mg/g)	总氮(mg/g)
霍甫水丝蚓	10.274	99.825
苏氏尾鳃蚓	10.133	101.537
摇蚊幼虫	9.734	95.739
铜锈环棱螺	4.529	81.151
梨形环棱螺	5.091	88.751
耳萝卜螺	6.808	98.302

表3 南湖主要大型底栖动物生物量和TN、TP重量
Tab. 3 Total Biomass and TN and TP of macrozoobenthos in Lake Nanhu

种类	生物量(kg)		TN(kg)	TP(kg)
	鲜重	干重		
寡毛类	176759.35	27215.77	2740.10	277.71
摇蚊幼虫	46810.30	7474.59	715.61	72.76
铜锈环棱螺*	643.82	72.73	5.90	0.33
梨形环棱螺*	217.85	17.62	1.56	0.09
耳萝卜螺*	37.67	4.51	0.44	0.03
合计(kg)	224468.99	34785.22	3463.61	350.92

* 三种螺的干重为内脏团的干重。

3 讨论

3.1 南湖主要大型底栖动物的时空分布

近些年来,南湖的富营养化情形越来越严重,现在南湖的沿岸带和沉水植物已不复存在。水环境的变化,包括水柱中、底泥-水界面、沉积物中的非生物环境和生物环境,与以前相比,都发生了显著改变。反映在大型底栖动物方面,表现为生物多样性降低,群落结构发生改变^[19]。现在的优势种主要为一些耐污性强

的种类,如寡毛类中的霍甫水丝蚓和正颤蚓,摇蚊幼虫中的刺铗长足摇蚊和红裸须摇蚊,与王银东和邬红娟等的报道基本一致^[19,21],但是霍甫水丝蚓的年平均密度为 3802 ind./m²,比 2005 年王银东报道的 3102 ind./m² 进一步增大^[22],说明南湖的富营养化程度还在加剧。2006 年 4 月 8-9 日,因南湖严重缺氧,死亡成鱼和鱼种约 20 多万 kg。

南湖的大型底栖动物在季节分布上,霍甫水丝蚓以春季的 5 月份密度最大,夏季的 8 月份密度最低;刺铗长足摇蚊和红裸须摇蚊均以秋季的 11 月份最大。水平分布上,各采样点的霍甫水丝蚓密度依次为 V > III > II > I > IV;刺铗长足摇蚊幼虫密度依次为 II > I > III > IV > V。郭先武(1995)在研究南湖三种摇蚊幼虫的生物学特性和种群动态时,对其垂直迁移作出了一些推测^[23],但未进行垂直采样,故无法作出定论。迄今为止,对大型底栖动物垂直分布的研究主要为潮间带和沿河流高度梯度的分布^[24,25],而对湖泊中定点的垂直分布研究,未见报道。本文对南湖的定点垂直分布研究表明,南湖中的大型底栖动物最大分布深度为 25 cm,主要集中在 0-15 cm 深度范围内。0-20 cm 深度范围内,寡毛类占到了 30 cm 柱样中同类总量的 99.28%,摇蚊幼虫占同类总量的 99.31%,20 cm 深度的样品,大型底栖动物的采集量可达到 99% 以上。如果对湖泊中的寡毛类和摇蚊幼虫进行生物多样性和定量研究,仅用一般的采泥器采样,采样深度不够,可能存在较大误差,最好同时进行垂直采样。另外,统计生物量时,如果以水平密度(ind./m²)计算,结果明显偏低,建议以垂直密度(ind./m³)计算,更能反映实际生物量。

郑光明等在 1989 年-1990 年研究南湖的圆背角无齿蚌的食性与繁殖时^[18],在南湖中尚可采到大量的蚌类标本。本研究在正式采样前的预采样中,用 1/6 m² 带网铗的采样器进行了 2 个段面的采样,均未采到活体的软体动物,于是在正式采样时只用 1/16 m² 改良采样器和管状采样器采集,结果 120 个样品中都未能采到软体动物的活体标本。由于南湖的自然沿岸带基本消失,现在的湖岸为在原来的亚沿岸带建筑的砌墙,故只能在岸壁采到一些腹足类,如铜锈环棱螺(*B. aeruginosa*)、梨形环棱螺(*B. purificata*)、耳萝卜螺(*R. auricularia*),但生物量较少。研究表明,在南湖湖心区的软体动物种群数量已非常少,蚌类基本消失。此外,对从大湖隔开未养鱼的一个 1000 m² 左右湖汊的调查和采样,发现其中水清澈见底,不仅长满沉水植物,如菹草、金鱼藻、浮萍等,而且软体动物的种类和生物量都比较丰富,能采到的种类有:铜锈环棱螺、梨形环棱螺、耳萝卜螺、椭圆萝卜螺(*Radix swinhoei*)、长角涵螺(*Alocinma longicornis*)、扁卷螺(*Hippeutis*)、泉膀胱螺(*Physa fontinalis*)、湖北钉螺(*Oncomelania hupensis*)、圆背角无齿蚌(*Anodonta woodiana pacifica*)、圆头楔蚌(*Cuneopsis heudei*)等。由此看来,环境因子对软体动物的群落结构和时空分布的影响是很大的。

3.2 大型底栖动物在湖泊 N、P 循环中的作用和评估

对富营养化湖泊的治理,关键是对湖泊中氮和磷的调控。运用生物修复的方法,已有一些报道,然而对大型底栖动物在富营养化湖泊中进行氮磷调控的报道很少。陈天乙等就摇蚊幼虫对底泥中 N、P 的释放问题进行了研究^[9];虞左明等研究了大红德永摇蚊(*Tokunagayusurika akamusi*)在西湖 N、P 循环中的作用^[26];魏阳春等研究了铜锈环棱螺对氮磷的降解作用^[27],这些研究表明,大型底栖动物在湖泊 N、P 循环中的作用主要体现在以下几方面:由于其活动,促进了沉积物中 N 和 P 的释放,使深层的 N、P 迁移到表层,最终释放到水体中;自身代谢过程中,也可以释放出 N 和 P。

通过同化作用,大型底栖动物也可以将底层的营养物质转化成生物产品,寡毛类的绝大部分和水生昆虫的一部分将沿食物链转化为鱼产品,通过捕捞,移出湖泊生态系统;水生昆虫的另一部分通过羽化,离开水体,飞向陆地,达到转移 N 和 P 的目的。目前南湖中大型底栖动物的生物多样性降低,种类减少,但优势种的生物量比较大,主要为寡毛类和摇蚊幼虫,其生物量分别为 176759.35 kg 和 46810.30 kg,其次为淡水螺类,生物量为 899.34 kg,它们能够转移或清除的 TN 量和 TP 量分别为 3463.61 kg 和 350.92 kg,故大型底栖动物对南湖中 N 和 P 的清除是一条重要途径。2005 年南湖仅点源性污水的年纳污量超过了 4500 × 10⁴ m³,测定水体 TN 含量年变化为 8.04-18.08 mg/L,平均为 12.66 mg/L,南湖水体中的 TN 量为 139260 kg,大型底栖动物的 TN 量只占到水体 TN 量的 2.49%。因此,在南湖完全实现截污前大型底栖动物从湖泊中清除 N 和 P 的量是有限的。

致谢:杨瑞斌、张清顺、刘敏、徐薇参与野外采样工作,特此致谢。

4 参考文献

- [1] 王士达. 武汉东湖底栖动物的多样性及其与富营养化的关系. 水生生物学报, 1996, **20**(5): 75 - 89.
- [2] 龚志军, 谢平, 唐汇涓等. 水体富营养化对大型底栖动物群落结构及多样性的影响. 水生生物学报, 2001, **25**(3): 210 - 216.
- [3] 闫云君, 李晓宇, 梁彦龄. 草型湖泊和藻型湖泊中大型底栖动物群落结构的比较. 湖泊科学, 2005, **17**(2): 176 - 182.
- [4] Brinkhurst R O, Cook D G. Aquatic earthworms (Annelida: Oligochaeta). In: Hart C W, Saneal L H F eds. Pollution ecology of freshwater invertebrates. New York: Academic Press, 1974: 143 - 156.
- [5] Gasellato S, Caneva F. Composition and distribution of bottom oligochaete fauna of a north Italian eutrophic lake (Lake Ledro). *Hydrobiologia*, 1994, **278**: 87 - 92.
- [6] Thomas P D, Randal J S. Three decades of change in the benthic macroinvertebrate community and water quality in the Buffalo River area of concern, 1964 - 1993. *J Great Lakes Res*, 2003, **29**(4): 652 - 663.
- [7] George W Gallepp. Chironomid influence on phosphorus release in sediment-water microcosms. *Ecology*, 1979, **60**(3): 547 - 556.
- [8] Fukuhara H, Sakamoto M. Enhancement of inorganic nitrogen and phosphate release from lake sediment by Tubificid Worms and Chironomid Larvae. *Oikos OIKSAA*, 1987, **48**(3): 312 - 320.
- [9] 陈天乙, 刘孜. 摇蚊幼虫对底泥中氮、磷的释放作用的研究. 昆虫学报, 1995, **38**(4): 448 - 451.
- [10] 金立新. 美国和加拿大五大湖的水污染防治与管理. 水资源保护, 1998, **4**: 7 - 9.
- [11] 钟远, 金相灿, 孙凌. 磷及环境因子对太湖梅梁湾藻类生长及其群落影响. 城市环境与城市生态, 2005, **18**(6): 32 - 36.
- [12] Sari Mitikka, Petri Ekholm. Lakes in the Finnish Eurowaternet: status and trends. *The Science of the Total Environment*, 2003, **310**: 37 - 45.
- [13] Yan Y, Liang Y, Wang H. Annual production of five species of Chironomidae (Diptera) in Houhu Lake, a typical algal lake (Wuhan, China). *China J Oceanol Limnol*, 1999, **17**(2): 112 - 118.
- [14] Scharf B W. Eutrophication history of Lake Arendsee (Germany). *Palaeoecology*, 1998, **140**: 85 - 96.
- [15] 邱炳文, 周勇, 周敏等. 武汉市南湖富营养化现状、趋势及其综合整治对策. 华中农业大学学报, 2000, **19**(4): 350 - 352.
- [16] 严平川, 黄荣华, 彭小思等. 湖北省湖泊环境现状及污染控制措施. 中国水利, 2004, (3): 33 - 34.
- [17] Guo X W. Studies on Chironomid communities of Lake Nanhu, Wuhan, China. 华中农业大学学报, 1995, **14**(6): 578 - 585.
- [18] Zheng Guangming, Wei Qingshan. Studies on the reproductive characteristics of Female Anodonta Woodiana Pacifica (Heude) in South Lake, Wuhan. 华中农业大学学报, 2000, **19**(5): 490 - 493.
- [19] 王银东, 熊邦喜, 杨学芬. 武汉市南湖大型底栖动物的群落结构. 湖泊科学, 2005, **17**(4): 327 - 333.
- [20] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法(第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 248 - 370.
- [21] 郭红娟, 崔博, 吕晋等. 武汉湖泊底栖动物群落结构及水质生态评价. 华中科技大学学报(自然科学版), 2005, **33**(10): 96 - 98.
- [22] 王银东, 熊邦喜, 杨学芬. 用大型底栖动物对武汉南湖水质的生物学评价. 环境污染与防治, 2006, **28**(4): 312 - 314.
- [23] 郭先武. 武汉南湖三种摇蚊幼虫生物学特性及其种群变动的研究. 湖泊科学, 1995, **7**(3): 249 - 254.
- [24] 高阳, 蔡立哲, 马丽等. 深圳湾福田红树林潮滩大型底栖动物的垂直分布. 台湾海峡, 2004, **23**(1): 76 - 81.
- [25] Rodil I F, Lastra M, Lo'pez J. Macroinfauna community structure and biochemical composition of sedimentary organic matter along a gradient of wave exposure in sandy beaches (NW Spain). *Hydrobiologia*, 2007, **579**: 301 - 316.
- [26] 虞左明, 王锐, 沈小东等. 大红德永摇蚊种群生态在西湖氮磷循环中作用的调查研究. 环境污染与防治, 1997, **19**(1): 28 - 31.
- [27] 魏阳春, 濮培民. 太湖铜锈环棱螺对氮磷的降解作用. 长江流域资源与环境, 1999, **8**(1): 89 - 93.