

太湖北岸湖滨带观测场水生植物群落特征及其影响因素分析*

金相灿, 颜昌宙, 许秋瑾

(中国环境科学研究院湖泊生态环境创新基地 国家环境保护湖泊污染控制重点实验室, 北京 100012)

摘要:对太湖北岸贡湖和梅梁湾湖滨带(水-陆交错区)观测场中的主要水生植物群落的种类组成、生物量进行了测定,定量分析了其生长型和群落特征的季节变化,比较分析了上述两个湖滨带观测场的水质变化情况,并且在此基础上进一步探讨了影响湖滨带沉水植物生长的关键因素.结果表明:(1)贡湖观测场的荇菜(*Nymphaoides peltatum*) + 马来眼子菜(*Potamogeton malaianus*)群落由3种浮叶植物和3种沉水植物构成,共5种水生植物生长型.而梅梁湾观测场的菹草群落为单优群落,只有一种沉水植物菹草(*Potamogeton crispus*),其生长型为大眼子菜型.以上两个湖滨带观测场水生植物群落特征与人为活动的干扰(如水质污染、人工堤岸建设等)密切相关;(2)以上两湖湾的主要污染指标为氮、磷营养物,均已达到富营养水平,但贡湖观测场的水质(除透明度外)明显好于梅梁湾观测场;(3)透明度、水深和风浪可能是影响贡湖和梅梁湾湖滨带沉水植物种群数量、分布和格局的重要因素.

关键词:湖滨带;生物量;周年动态;群落结构;太湖

The community features of aquatic plants and its influence factors of lakeside zone in the north of Lake Taihu

JIN Xiangcan, YAN Changzhou & XU Qiujin

(State Environmental Protection Key Lab for Lake Pollution Control, Research Center of Lake Eco-environment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, P. R. China)

Abstract: The species composition and the biomass of two dominant aquatic plant communities were measured and the growth form spectrum and the seasonal changes of the community in the lakeside zone (water-land ecotone) in the north of Lake Taihu were quantitatively analyzed. Monthly changes of water qualities in two regions studied were also compared and analyzed, and the key factors for submerged macrophytes growth in the lakeside zone were made further discussion. The results showed: (1) The *N. peltatum* + *P. malaianus* community in the studied lakeside zone of Gonghu Bay was composed of three floating leaves plants and three submerged plants, with five growth forms in the community. However, there was only one submerged plant in the studied lakeside zone of Meiliang Bay, and its growth form was Magnopotamid. The community feature of aquatic plants in the two lakeside zone mentioned above was closely related to the disturbance from human being, for example, water pollution and dikes building; (2) The water quality of the two lakeside zone was eutrophic, and both of nitrogen and phosphorus exceeded the eutrophic standard. Besides SD (transparency), the water quality of the studied lakeside zone in Gonghu Bay was better than that in Meiliang Bay; (3) That the sechi depth, lake depth and stormy waves may be the key factors which affect the quantity, distribution and pattern of the aquatic plant species in the lakeside zone in Gonghu Bay and Meiliang Bay.

Keywords: Lakeside zone; aquatic plants; community features; Lake Taihu

湖滨带是水-陆生态交错带的一种类型^[1],其界面特点使得它具有保持物种多样性、拦截物质流和能量流、稳定相邻的生态系统和净化水体、减少污染等功能^[2,3].水生植物(含湿生植物)作为湖泊生态系统的

* 国家重点基础研究规划项目“湖泊富营养化过程与蓝藻水华爆发机理研究”(2002CB412307).2006-04-12 收稿; 2006-06-14 收修改稿. 金相灿,男,1945年生,研究员; E-mail: Jinxiangcan2004@163.com.

关键类群之一,在维持湖滨带生态系统结构和功能方面发挥着十分重要的作用.然而人类干扰活动的不断增强,湖滨带水生植物的严重退化是世界范围内的普遍现象.因此加强对湖滨带内水生植物群落及其环境因素的研究工作,对于正确认识水生植物的退化机理、恢复途径以及加强湖滨带的保护和合理开发其资源都具有比较重要的意义.太湖北岸湖滨带经历了工农业污染、滩地围垦、放养草食性鱼类、人工堤岸(堤坝)建设等多重人为干扰,在研究湖滨带水生植被退化与修复机理方面,具有典型性和代表性.本文选择了太湖北岸贡湖和梅梁湾湖滨带观测场的水生植物群落进行一周年的生态学定位观测,旨在探讨湖滨带水生植物群落特征的变化规律及其影响因素.

1 研究区概况

太湖(30°05′-32°08′N,119°08′-121°55′E)是长江中下游的一个大型浅水湖泊,为我国五大淡水湖之一,面积2338 km²,平均水深约2.0 m,最大水深不足3.0 m^[4].湖区属北亚热带东南季风气候,平均气温15.4℃.太湖以Ⅲ类水体为主,面积约占全湖的70%,北部湖区贡湖、梅梁湾属Ⅳ、Ⅴ类水体^[5].在人类活动影响较大的梅梁湾西岸(湖岸围垦)基本上无水生高等植物生长;但在人类活动影响较小的梅梁湾东岸三国城至康山渚一带和贡湖北岸的滨岸水域,均有面积大小不等的苕菜、菱等土著水草分布^[6].

本研究中的定位观测场设在太湖北岸的贡湖和梅梁湾(图1),观测样地内湖岸线长约400 m,湖湾内因水位涨落使湖滨带范围为100-150 m左右.以上两个湖滨带观测场内湿生和水生植物繁茂,季相分明,其中贡湖观测场夏秋季水草生长茂盛,而梅梁湾观测场冬春季沉水植物菹草大量生长.

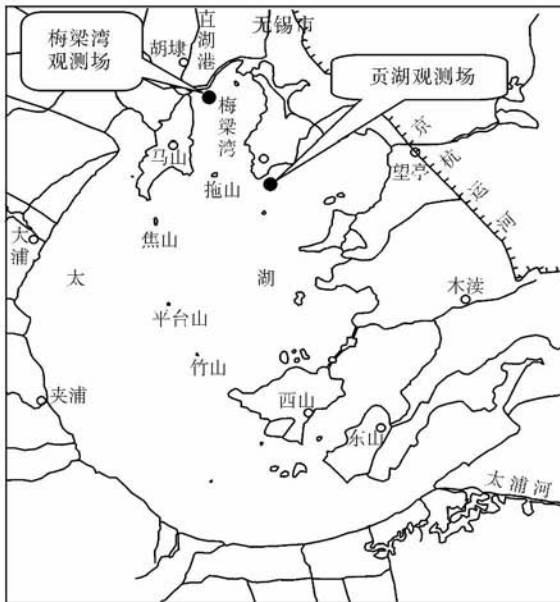


图1 研究区地理位置图

Fig. 1 Location of the two regions studied

2 研究方法

2.1 样带设置及采样方法

2003年7月至2004年6月,每月下旬赴梅梁湾和贡湖观测场调查取样.由湖堤至湖心方向平行设置3条样带,样带间隔约30 m,采用多次重复随机小样方的取样方法^[7,8].在每一个采样点,用采草夹(20 cm × 25 cm)随机采样10次,获得完整的植株,冲洗干净并区分种类,各物种分别计数,称其鲜重;估算其覆盖度.同时测量水深和透明度.

2.2 水质分析方法

pH值采用E-201-C-9型玻璃电极pH计现场测定;透明度采用塞氏盘现场测定;总氮采用碱性过硫酸钾氧化,紫外分光光度法测定^[9];总磷采用过硫酸钾消解法,钼锑抗分光光度法测定^[9];叶绿素a采用丙酮提取法,分光光度计测定^[9].

2.3 数据分析

群落的数量特征用相对频度、相对生物量和优势度来表示.

优势度计算:根据某种植物频度和生物量确定其在湖泊或某一特定群落中的优势度^[8,10].优势度(DV) = [(相对频度(RF) + 相对生物量(RB))/2] × 100%.

定性生长型谱^[3]:某一生长型的比例 = 群落中该生长型的种类数/群落中全部种数 × 100%;

定量生长型谱^[3,11](以优势度值作为定量指标):某一生长型的比例 = 群落中该生长型的优势度值之和/100(群落总优势度) × 100%.

3 研究结果

3.1 贡湖和梅梁湾观测场水生植物群落类型及数量特征

依据水生植物群落分类原则,可以将贡湖湖滨带观测场内的水生植物群落划分为荇菜 + 马来眼子菜群落(*Ass. Nymphoides peltatum + Potamogeton malaianus*)、芦苇 + 茭草群落(*Ass. Phragmites communis + Zizania latifolia*)。梅梁湾湖滨带观测场内的水生植物仅有菹草(*Potamogeton crispus*)、芦苇(*Phragmites communis*)和水花生(*Alternanthera philoxeroides*)等。其水生植物群落可划分为菹草群落(*Ass. Potamogeton crispus*)、芦苇群落(*Ass. Phragmites communis*) (水花生为伴生种)。下面对 2 种主要的水生植物群落的群落特征和季节变化进行了总结。

3.1.1 群落的种类组成 贡湖观测场的荇菜 + 马来眼子菜群落由 6 种植物构成,其中沉水植物 3 种,浮叶植物 3 种。荇菜和马来眼子菜的优势度值分别为 49.59% 和 38.33%,二者之和占群落的 87.92% (表 1)。其群落总生物量为 1205 g/m² (年均值),99.86% 集中于水面和水层上部,按群落生物量的分布可将群落在垂直方向上分为浮叶植物层和高沉水层植物 2 个层次,其中浮叶植物层略占优势。

梅梁湾观测场的菹草群落为单优群落,只有一种沉水植物菹草,因而在垂直方向上也只有沉水植物 1 个层次。

表 1 2 种主要水生植物群落的数量特征

Tab. 1 The quantitative features of the two dominant submerged communities

	相对频度 (%)	相对生物量 (%)	优势度 (%)	生长型
荇菜 + 马来眼子菜群落				
荇菜	45.43	50.16	47.79	荇菜型
马来眼子菜	46.60	36.75	41.67	大眼子菜型
狐尾藻	6.32	6.97	6.64	狐尾藻型
四角菱	0.96	3.53	2.24	菱型
金银莲花	0.66	2.44	1.55	荇菜型
苦草	0.04	0.14	0.09	苦草型
菹草群落				
菹草	100	100	100	大眼子菜型

3.1.2 群落的生长型谱 贡湖湖滨带观测场样地内主要的水生植物群落荇菜 + 马来眼子菜群落共有 5 种水生植物生长型,从定量生长型谱来看群落中以荇菜型和大眼子菜型所占比例较大,苦草为群落中的偶见种。从群落的定性生长型谱也可以看出荇菜型是主要的生长型,其余各生长型种分布比较均匀,该群落的植物主要分布在水面和水层上部(图 2)。

梅梁湾湖滨带观测场样地内的菹草群落只有一种沉水植物菹草,生长型为大眼子菜型。

3.1.3 群落特征的季节变化 荇菜 + 马来眼子菜群落为贡湖水生植物带中的代表性群落,由于各个种的生长习性不尽相同,在不同的季节,群落中各个物种优势度发生着较大的变化(表 2)。荇菜春季萌发,并且生长较快,春季和夏季在群落中占据优势地位,其优势度值可分别达到 77.01% 和 54.89% (夏季随着马来眼子菜生物量的迅速增加,荇菜的优势度有所降低)。秋季

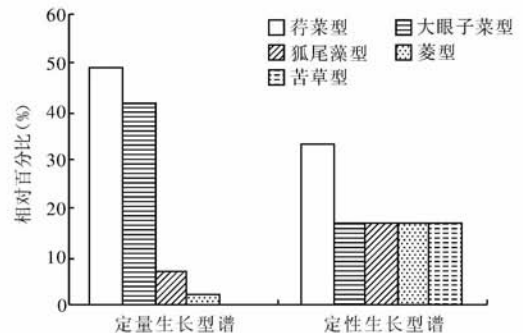


图 2 贡湖湖滨带观测场荇菜 + 马来眼子菜群落的生长型谱

Fig. 2 The growth form spectrums of *N. peltatum* + *P. malaianus* community

时,荇菜逐步衰败,马来眼子菜开始在群落中占据优势地位,到冬季时,尽管马来眼子菜也已进入衰亡时期,但由于其它物种如荇菜衰亡更快,其相对生物量和优势度都达到最大.四角菱和金银莲花在群落中的生长期较短,基本上只在夏季出现,并且到次年发现金银莲花已在群落中消失.狐尾藻在湖滨带观测样地内生长可能受到抑制,生物量一直不大并有逐渐减少的趋势,其秋、冬季相对生物量和优势度大于次年的春、夏季.苦草生物量极小,为群落中的偶见种,从苦草在贡湖的分布和演替历史来看,本处的苦草可能处在衰亡退化中.

梅梁湾湖滨带观测样地内水生植物群落组成及群落特征的季节变化较为简单:冬、春季仅有沉水植物菹草生长,为单优群落;夏、秋两季,水花生零星分布在岸边,芦苇呈斑块状分布于沿岸水深小于0.6 m的浅水中.

表2 荇菜 + 马来眼子菜群落组成及季节变化

Tab. 2 The Species composition of *N. peltatum* + *P. malaianus* community and its seasonal changes

物种	春季			夏季			秋季			冬季		
	RF	RB	DV	RF	RB	DV	RF	RB	DV	RF	RB	DV
荇菜	70.07	83.95	77.01	59.30	50.48	54.89	38.38	42.36	40.37	8.56	16.37	12.46
马来眼子菜	25.20	12.07	18.64	27.76	31.51	29.63	53.79	44.53	49.16	79.33	75.90	77.62
狐尾藻	4.23	3.38	3.80	2.59	4.41	3.50	7.75	12.82	10.29	12.11	7.73	9.92
四角菱			7.14	8.10	7.62							
金银莲花			3.19	5.43	4.31	0.09	0.29	0.19				
苦草	0.50	0.60	0.55	0.02	0.08	0.05						

3.1.4 群落生物量的变化 图3a显示了贡湖湖滨带观测场样地内荇菜 + 马来眼子菜群落生物量的周年动态.2004年与2003年相比较,贡湖湖滨带观测场总水草的生物量尽管变化不大,但金银莲花已经消失,狐尾藻和四角菱的生物量也有所减少,而荇菜和马来眼子菜的生物量有扩增的趋势,这表明贡湖湖滨带观测场样地内的生物多样性正在逐渐减少,处在生态退化过程中.

梅梁湾湖滨带观测场样地内的菹草生物量明显高于贡湖湖滨带观测场总水草的生物量(图3b).在观测期内(2003年7月-2004年6月),贡湖观测场水生植物的最大单位面积生物量出现在2003年8月,为2240 g/m²(鲜重);而梅梁湾观测场沉水植物菹草的最大单位面积生物量出现在2004年3月,为4150 g/m²(鲜重).

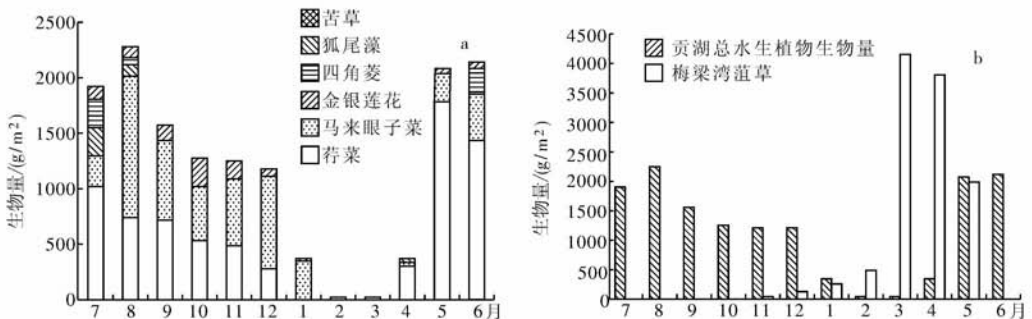


图3 研究区的水生植物生物量月变化(a:荇菜 + 马来眼子菜群落生物量周年动态;b:水生植物总生物量)

Fig. 3 Monthly changes of submerged macrophytes in regions studied of Gonghu and Meiliang Bays

3.2 贡湖和梅梁湾观测场的水质变化

梅梁湾和贡湖观测场水质的月变化情况如图4所示.从图4可以看出,贡湖和梅梁湾观测场水质具有基本相同的变化趋势,并且均已达到富营养化程度.除透明度外,贡湖观测场的TN、TP和Chla等水质指标

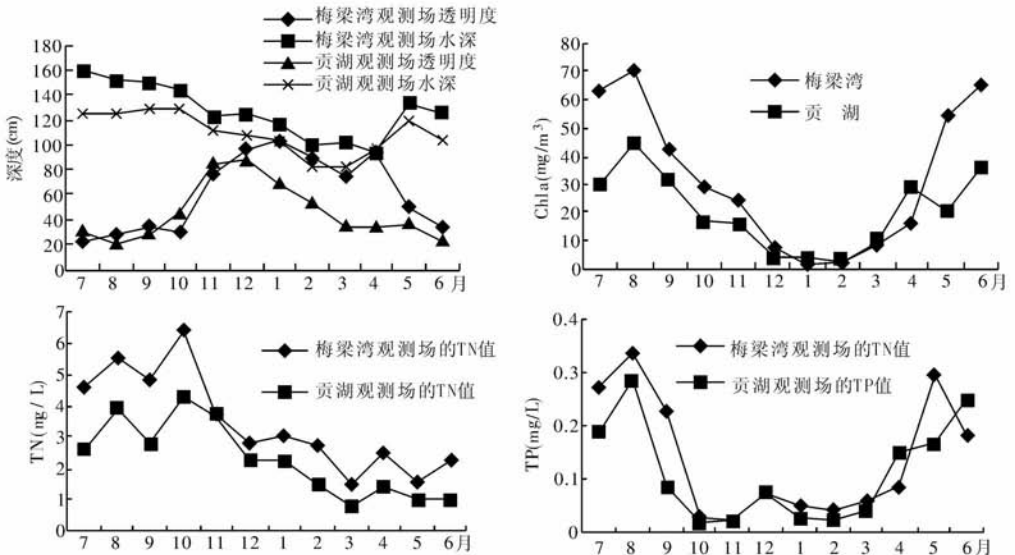


图4 贡湖和梅梁湾观测场水质的月变化

Fig. 4 Monthly changes of water qualities in regions studied of Gonghu Bay and Meiliang Bay

均明显低于梅梁湾观测场。

2004年1月至5月梅梁湾观测区沉水植物生长繁茂时,其透明度明显好于贡湖观测区,这说明沉水植物群落可以有效遏制沉积物的动力悬浮^[12],促进悬浮物的沉降,提高水体透明度,而贡湖观测区是以荇菜为优势种的浮叶植物群落,对提高水体透明度的效果不显著。

4 讨论

4.1 湖滨带观测场水生植物群落特征及生存策略

梅梁湾自80年代末以来,由于污染物排放不断增加,水体已处于重富营养化状态,造成藻类竞争优势扩大而沉水植物面积和种类大幅度缩减,大部分沿岸带已只剩下零星的芦苇丛。目前梅梁湾湖滨带观测场的沉水植物只剩下菹草。6月至10月时梅梁湾“水华”频发,观测场内水体透明很低(23-35 cm),除沿岸生长有芦苇和少量湿生植物外,距岸40 m之外,水体中已无任何大型水生植物生长。菹草是一种比较典型的秋季发芽、越冬生长的沉水植物(生长季节主要为11月至次年5月),并且很适合在富营养化条件下生长。作为一种生存策略,由于从生长期上避开了水华暴发期,所以沉水植物菹草能在该地区生存并形成单优群落。但是这种由单一生活型(或生长型)组成的水生植物群落在生态上是极为脆弱和不稳定的,很容易受到外界环境的干扰而遭受灭顶之灾。

90年代太湖大堤工程的建设,使贡湖滨岸区的湿地生态系统受到破坏。筑堤和围垦改变了湖滨湿地水文过程和浅滩环境,不仅使湖滨带景观破碎、湿生植物群落萎缩,而且也破坏了适合大型水生植物生长的环境条件,造成贡湖西北部滨岸区的水生植物群落类型较为单一(主要为荇菜+马来眼子菜群落),覆盖度较低,生物量大幅下降。目前贡湖观测场内的水生植物群落类型为荇菜+马来眼子菜群落,其最大单位面积生物量仅为 2240 g/m^2 (鲜重),明显低于东太湖水生植物的平均单位面积生物量 4978 g/m^2 ^[13]。水生植被退化进一步加速了贡湖的富营养化,近年来贡湖西北部与梅梁湾相连的水域也开始出现较明显的水华。观测期间,贡湖观测区的水体透明度平均为0.45 m,尤其是6月至9月水体透明度约30 cm左右,严重影响了湖滨带内沉水植物的生长。由于浮叶植物基本不受光照条件的限制,而马来眼子菜的生物量主要分布在水层上部,也兼具浮叶植物的某些性质,当它在水面形成冠层后对湖水透明度要求不严,因而这可能是造成贡湖观测场内浮叶植物和马来眼子菜占据优势的重要原因。

从群落的定量生长型谱来看,贡湖观测场内的高等水生植物以荇菜型和大眼子菜型占绝对优势,主要

分布在水面和水层上部,其中浮叶植物的相对生物量和优势度分别为 56.13% 和 51.58%,并且荇菜和马来眼子菜的生物量有扩增的趋势,而狐尾藻的生物量却有所减少,苦草已基本消失,群落的生物多样性在下降,因此可以初步判断贡湖湖滨带观测场内的水生植物可能正在经历由沉水植被向浮叶植被迅速演替的进程中,而研究表明,沉水植物消失后,一旦浮叶和挺水植物开始克服水深限制在湖滨带形成群落,便会迅速开始沼泽化进程^[14].

4.2 影响湖滨带沉水植物生长的关键因子

表 3 列出了梅梁湾和贡湖观测场沉水植物生物量及其影响因素间的线性相关系数(r).

从表 3 可以看出:除 pH 值外,沉水植物生物量还与 Z_{SD} 、 Z_{SD}/Z_M 呈线性正相关,但二者均未达到显著水平;而与 pH 值显著正相关,应被认为是水生植物新陈代谢的结果而非影响其生物量的原因.

已有许多研究表明,水生植物种群数量会受到水深及透明度的影响^[15-17]. 例如,梁彦龄等^[17]研究保安湖大型水生植物生物量与水深(Z_M)及透明度(Z_{SD})的关系时,指出当 Z_M/Z_{SD} 长时间超出 2.50-5.59 时,有关的水草将不能生存. 这似乎与表 3 中 B_{Mac} 和 Z_{SD}/Z_M 相关系数 r 未达到显著性水平的结果不一致,其实不然. 如果仔细研究梅梁湾和贡湖湖滨带观测场的 Z_{SD}/Z_M 在 2003 年 7 月至 2004 年 6 月的分布情况(表 4)就不难发现:梅梁湾观测场内沉水植物菹草的生长期主要为 11 月至次年 5 月,在此期间除 5 月份水体的 Z_M/Z_{SD} 为 2.71,略微超出 2.50 外,其它月份的 Z_M/Z_{SD} 均小于 2.50. 而 5 月份随着水温的升高,菹草已进入衰败期. 6 月至 12 月,梅梁湾观测场的 Z_M/Z_{SD} 值均超出 2.50,但此时观测场内已没有沉水植物生存. 因此,本论文的观测结果与梁彦龄等的研究结果是吻合的;贡湖观测场除 2003 年 11 月至 2004 年 3 月 Z_M/Z_{SD} 为 1.22-2.47,没有超过 2.50 外,其它月份 Z_M/Z_{SD} 为 2.82-4.48(8 月份除外,为 6.58),均已超过 2.50,但没有超出上述标准(2.50-5.59)的最高限值. 由于贡湖观测场的水生植物主要为浮叶植物,沉水植物马来眼子菜兼具浮叶植物的某些性质,当它在水面形成冠层后对水体透明度要求不是很严,而狐尾藻被限制在水深 0.6m 左右的沿岸区内(伴生于芦苇带的外围),因此贡湖观测场的水深及透明度条件并没有对湖滨带内水生植物优势种的生长构成威胁. 但显然已对某些沉水植物的衰退(如苦草和狐尾藻等)和群落演替产生了重要而深刻的影响.

表 3 各影响因素间的相关系数

Tab. 3 Simple correlations between the factors

	B_{Mac}	Z_M	Z_{SD}	Z_{SD}/Z_M	T	pH	TN	TP	Chl. a
B_{Mac}	1.000	-0.272	0.324	0.392	0.025	0.612	-0.241	-0.048	-0.165
Z_M		1.000	-0.392	-0.575	0.473	-0.001	0.752	0.541	0.709
Z_{SD}			1.000	0.969	-0.758	0.128	-0.144	-0.602	-0.688
Z_{SD}/Z_M				1.000	-0.750	0.172	-0.268	-0.644	-0.755
T					1.000	0.312	0.154	0.789	0.818
pH						1.000	-0.138	0.247	0.187
TN							1.000	0.130	0.383
TP								1.000	0.840
Chl. a									1.000

黑体数字表示显著相关($p < 0.05$ 或 $p < 0.01$); $n = 24$.

表 4 贡湖和梅梁湾湖滨带观测场的 Z_M/Z_{SD}

Tab. 4 Monthly Z_M/Z_{SD} in regions studied of Gonghu and Meiliang Bays

月份	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6
梅梁湾	6.91	5.63	4.26	4.61	1.60	1.28	1.08	1.12	1.36	1.00	2.71	3.82
贡湖	4.20	6.58	4.45	2.84	1.33	1.22	1.54	1.58	2.47	2.82	3.33	4.48

对于类似贡湖和梅梁湾这样的退化湖滨带的水生植物群落而言,尽管 B_{Mac} 和 Z_{SD}/Z_M 相关系数 r 并未达到显著性水平,但通过以上分析不难发现,水深及透明度显然对贡湖和梅梁湾湖滨带水生植物的种群数量、分布和格局产生了重要的影响.

此外,风浪对水生植物生长和分布也是一个非常重要的因素^[12]。马来眼子菜、荇菜等有一定的风浪适应能力,往往生长在风浪相对较大的滨岸水域或分布在水生植被的外沿;而菹草喜缓流、静水环境。梅梁湾观测场为山谷缓坡型湖滨带,三面几乎被山环抱,水面不开阔,风吹程较小,并且冬季盛行西北风,正好被山阻挡,风浪较小,有利于沉水植物菹草的生长和繁殖。而贡湖观测场水面相对开阔,有利于波浪的发育,不利于喜静水缓流的菹草生长,但却适合于马来眼子菜和荇菜等水生植物的生长和发展。

5 结论

(1)贡湖观测场的荇菜+马来眼子菜群落由浮叶植物和沉水植物各3种构成,共5种水生植物生长型,其中荇菜型是主要的生长型;而梅梁湾观测场的菹草群落为单优群落,只有一种沉水植物菹草,其生长型为大眼子菜型。以上两个湖滨带观测场水生植物群落特征与人为活动的干扰(如水质污染、人工堤岸建设等)密切相关。

(2)以上两湖湾的主要污染指标为氮、磷营养物,均已达到富营养水平,但贡湖观测场的水质(除透明度外)明显好于梅梁湾观测场。

(3) Z_{SD}/Z_M 和風浪可能是影响贡湖和梅梁湾湖滨带沉水植物种群数量、分布和格局的重要因素。

6 参考文献

- [1] 颜昌宙,金相灿,赵景柱等. 湖滨带退化生态系统的恢复与重建. 应用生态学报, 2005, 16(2): 360-364.
- [2] 尹澄清. 内陆水-陆地交错带的生态功能及其保护与开发前景. 生态学报, 1995, 15(3): 331-335.
- [3] 詹存卫,于丹,吴中华等. 梁子湖水-陆交错区水生植物群落生态学研究. 植物生态学报, 2001, 25(5): 573-580.
- [4] 金相灿,刘树坤,章宗涉等. 中国湖泊环境(第二册). 北京:海洋出版社, 1995: 108-149.
- [5] 杨桂山,王德建等编著. 太湖流域经济发展·水环境·水灾害. 北京:科学出版社, 2003: 94-99.
- [6] 杨龙元,梁海棠,胡维平等. 太湖北部滨岸区水生植被自然修复观测研究. 湖泊科学, 2002, 14(1): 60-66.
- [7] 崔心红,陈家宽,李伟. 长江中下游湖泊水生植被调查方法. 武汉植物学研究, 1999, 17(4): 357-361.
- [8] 陈中义,雷泽湘,周进等. 梁子湖六种沉水植物种群数量和生物量周年动态. 水生生物学报, 2000, 24(6): 582-588.
- [9] 国家环境保护总局水和废水检测分析方法编委会. 水和废水监测分析方法. 北京:中国环境科学出版社, 2002.
- [10] 陈洪达. 武汉东湖水生维管束植物群落的结构和动态. 海洋与湖沼, 1980, 11(3): 275-284.
- [11] 李伟,程玉. 洪湖主要沉水植物群落的定量分析 I. 微齿眼子菜群落. 水生生物学报, 1999, 23(1): 53-58.
- [12] 秦伯强,高光,胡维平等. 浅水湖泊生态系统恢复的理论与实践思考. 湖泊科学, 2005, 17(1): 9-16.
- [13] 张圣照,王国祥,濮培民等. 东太湖水生植被及其沼泽化趋势. 植物资源与环境, 1999, 8(2): 1-6.
- [14] Wetzel R G. Limnology (Third Edition). San Diego:Academy Press, 2001.
- [15] Wang H Z, Wang H J, Liang X M *et al.* Empirical modelling of submersed macrophytes in Yangtze lakes. *Ecological Modelling*, 2005, 188(2-4): 483-491.
- [16] H kanson L, Bouillon V V. Empirical and dynamic models to predict the cover, biomass and production of macrophytes in lakes. *Ecological Modelling*, 2002, 151: 213-243.
- [17] 梁彦龄,刘伙泉主编. 草型湖泊资源、环境与渔业生态学管理(一). 北京:科学出版社, 1995.