长江中游浅水湖泊水生植物氮磷含量与水柱营养的关系

吴爱平　吴世凯　倪乐意
(中国科学院水生生物研究所东湖湖泊生态系统试验站,武汉　430072)

摘要:水生植物组织内氮和磷(N 和 P)含量受到水体营养状况和植物生长状况影响。对长江中游江汉湖群不同营养水平湖泊中大型水生植物的 N 和 P 含量 3 个季度的研究表明,在不同生活型水生植物中,沉水植物主要分布在中营养到中-富营养湖泊中,在富营养湖泊均无分布,浮叶和挺水植物在不同营养类型湖泊的沿岸带均有分布。N 和 P 含量以沉水植物最高,浮叶植物次之,挺水植物最低。水生植物的 N 和 P 含量都达到或超过生长所需最低 N 和 P 阈值,代表性浮叶植物和沉水植物的 N 和 P 含量随着湖泊营养水平提高呈现规律性变化。湖泊 5 种常见的水生植物 N 和 P 含量与水柱中不同种类 N 和 P 浓度具有季节性相关:菱(*Trapa bispinosa Roxb.*)春夏季 P 含量都与 TP(总磷)和 TDP(总溶解磷)明显相关,春季 N 含量与 NH_4—N(氨氮)明显相关;春季黄丝草(*Potamogeton maackianus A. Benn.*)的 P 含量与 TP 明显相关,夏季与 TDP 明显相关,春季和夏季黄丝草和穗花狐尾藻(*Myriophyllum spicatum L.*)的 N 含量与 TN(总氮)和 TDN(总溶解氮)显著正相关,秋季成负相关;夏季芦苇(*Phragmites communis Trin.*)P 含量与 TP 和 TDP 显著相关;春季芦苇和香蒲(*Typha orientalis Presl.*)N 含量与 NH_4-N 和 NO_2-N(亚硝态氮)显著相关。

关键词: 水生植物;N 和 P 含量;相关关系;营养类型
中图分类号:Q959.11　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-3207(2005)04-0406-07

水环境改变引起的水生植物群落演替、生物多样性变化、退化和消失,其内在机理是不同水生植物对水质的适应阈不同:例如所有水生植物都能在贫营养水质中生长,但它们生长的最适营养浓度不同,因此随水体营养水平的升高发生了优势种的演替。植被生产力随营养增加而增加,种类逐渐减少,生物多样性在中营养水体中最高[1—2]。水体富营养化造成水生植被的衰退和消失原因与营养促进藻类和大型水生植物之间的竞争、水下光照度下降、高营养本身对水生植物的胁迫有关。因此营养升高会产生从促进植物生长,消除植物生长的营养限制,到最终抑制植物生长的过程[3]。中国湖泊富营养化自 20 世纪 60 年代以后不断加重,主要是由于大量的 N 和 P 的输入造成的,已导致水质下降和水生植物衰退[4]。

利用大型水生植物监测水质污染已广泛应用于欧美地区,现在常用的为 MTR 法,为 Holmes 创建,以种类和丰度指标作为判断依据。Klumpp 等认为把水生植物作为营养积累指示生物并加上一定的水化分析就能起到水质的生物监测作用[5]。近来也有学者利用水生植物来对江河湖泊的富营养化作生物监测[6—7],还做过有关实验[8—9]。在用海藻和淡水水草材料的实验中都发现沉水植物在水体富营养条件下生长受到抑制,生长的下降和组织 N 和 P 的富集有关[10—11]。

为了研究我国浅水湖泊水生植物生长和分布与水体营养升高之间的关系,本文对长江中游的湖南和湖北省十几个湖泊的水生植物的 N 和 P 含量进行测定,并对主要的水生植物组织 N 和 P 含量与湖泊的营养状态及各种水化学指标进行相关分析,旨在找出本地区湖泊水生植物营养累积的规律。

1　材料与方法

1.1　样地概况　样地位于湖南和湖北省境内,地处北亚热带季风气候区,而且该地区人口密度大,湖泊富营养化程度日益严重。采样湖泊湖北境内有 17 个,包括南湖、青菱湖、三角湖、后官湖、龙阳湖、墨水湖、涨渡湖、陶家大湖、倒水河、柒湖,天鹅洲、老江河、洪湖、保安湖(保安口和桥墩湖)、红星湖、花马湖

收稿日期:2004-06-10;**修订日期**:2005-03-14
基金项目:中国科学院知识创新工程项目(KZ-CX1-SW-12,KSCX2-SW-110);国家基金面上项目(30270259)资助
作者简介:吴爱平(1981—),湖南省江华瑶族自治县人;硕士研究生;从事高等水生植物生态学研究
通讯作者:倪乐意,E-mail:nily@ihb.ac.cn

和三里七湖,湖南境内 1 个,即洞庭湖(南洞庭湖和西洞庭湖)(图 1)。

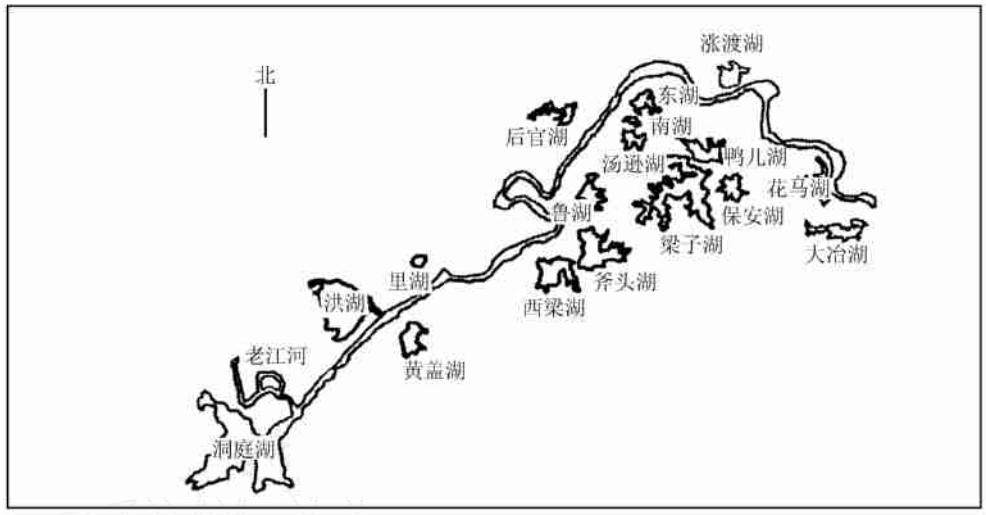


图 1　主要研究湖泊沿长江分布示意图

Fig. 1　Distribution of major investigated lakes along Changjiang River

1.2　样品的处理、测定和数据分析方法　自 2003 年 4 月至 11 月分别于不同季节在各湖中采集各种水生植物,同时对湖水进行物理和化学分析,测定各种形态 N 和 P 含量。并对各个湖泊进行营养类型的划分。采集到的水生植物用自来水洗净。称重并于 80 ℃烘箱中 72h 烘干(其中芦苇分为茎叶(地上部)和根(地下部)二个部分),然后称其干重。剪碎后经两次研磨,过 100 目筛,以进行化学分析。N 的测定是用瑞士生产的 Buchi-339 全自动定氮仪测定的,磷的测定是经硝化后用钒钼黄比色法。将不同水生植物氮磷含量按湖泊营养水平升高顺序排列,建立其变化规律。对 5 种湖泊分布最多的水生植物的 N 和 P 含量与湖水中各种不同形态的 N 和 P 浓度进行相关分析,找出各生活型水生植物中分布湖泊最多的种类,将他们在各湖泊中的 N 和 P 含量沿着湖泊营养水平升高顺序排列,观测其营养富集与湖泊营养水平关系。

2　结果

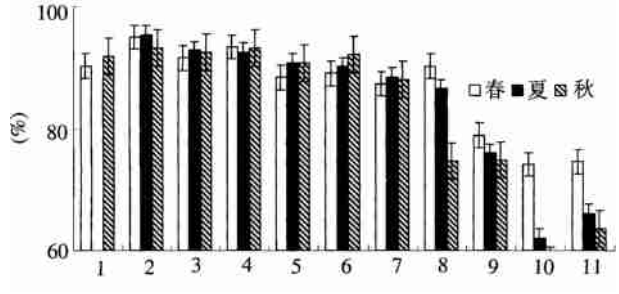
在所监测水质中,选取 5 个主要的指标(Chla、TN、TP、DO、COD_{Mn}),参与湖泊的富营养化评价。依据中国环境监测总站《湖泊(水库)富营养化评价方法及分级技术规定》,采取综合营养状态指数对所调查的湖泊的现状调查结果进行评价,结果表明中营养湖泊有:老江河、牛山湖、桥墩湖、涨渡湖、陶家大湖、柒湖、倒水河、洪湖;中富营养的有:天鹅洲、三角湖、后官湖、青菱湖、保安口、西洞庭湖、南洞庭湖、花马湖;富营养的有:三里七湖、红星湖、南湖;重富营养的有:龙阳湖和墨水湖。没有出现贫营养和寡营养类型的湖泊。

2.1　各湖水生植物种类分布

根据 3 个季节的调查结果,各湖水生植物种类分布见表 1。在湖内样点上发现水生植物 17 种,其中挺水植物 3 种,占 17 %,浮叶植物 4 种,占 24 %,沉水植物 10 种,占 59 %。从上面各湖水生植物种类分布结果可以看出,挺水植物分布于所有调查湖泊中,沉水植物和浮叶植物只分布于中营养和中富营养的湖泊中。

2.2　各种水生植物含水量的季节变化

用水生植物的湿干重之差除以湿重得到该种植物的含水量。各种水生植物的含水量的季节变化见图 2。挺水植物含水量的季节变化明显,从春季到秋季一直降低,而沉水植物和浮叶植物的含水量的变化不明显。



注:1. 菹草;2. 苦草;3. 金鱼藻;4. 轮叶黑藻;5. 黄丝草;6. 狐尾藻;7. 菱;8. 香蒲;9. 菰;10. 芦苇茎叶;11. 芦苇根

图 2　调查湖泊中水生植物含水量的季节变化

Fig. 2　Seasonal changes of water contents of aquatic plants in the investigated lakes

表 1 长江中游浅水湖泊水生植物种类分布

Tab. 1 Distribution of aquatic plants of the sharrow lakes in the middle reaches of Changjiang River

Species \ Lakes	涨渡湖	洪湖	保安口	老江河	牛山湖	陶家大湖	倒水河	柒湖	天鹅洲	后官湖	南洞庭湖	西洞庭湖	南湖	红星湖	三里七湖	桥墩湖	墨水湖	龙阳湖	三角湖
挺水植物 Emergent plants																			
香蒲 *Typha angustifolia*				+		+	+		+		+					+			+
芦苇 *Phragmites communis*	+	+	+	+			+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
菰 *Ziazania latifolia*	+	+								+									
浮叶植物 Floating-leaved plants																			
菱 *Trapa bispinosa*	+	+	+			+										+			
莲 *Nelumbo nucifera*		+				+		+	+	+									+
浮萍 *Lemna minor*		+																	
荇菜 *Nymphoides peltata*		+		+															
沉水植物 Submersed plants																			
苦草 *Vallisnera natans*		+	+	+	+						+	+				+			
狐尾藻 *Myriophyllum spicatum*		+	+		+	+				+	+	+				+			
金鱼藻 *Ceratophyllum demersum*		+	+								+	+							
菹草 *Potamogeton crispus*		+	+			+	+	+			+	+						+	+
黄丝草 *Potamogeton maakianus*		+			+											+			
马来眼子菜 *Potamogeton malaianus*					+														
蓖齿眼子菜 *Potamogeton pectinatus*		+									+	+							
小茨藻 *Najas minor*		+									+	+							
轮叶黑藻 *Hydrilla verticilata*									+										

2.3 水生植物的 N、P 含量及其季节变化规律

所有水生植物的 N 含量都超过 1.3 %,P 含量超过 0.13 %。从图 3 可以看出沉水植物的 N 和 P 含量都是最高的,其次是浮叶植物,挺水植物的最低。挺水植物的 N 和 P 含量都是从春季到秋节依次降低,沉水植物的 N 含量都是春秋季高,夏季低,P 含量变化则不规则。

2.4 主要水生植物的 N 和 P 含量与湖水中 N 和 P 的相关分析

五种水生植物的 N、P 含量与各种水化指标的相关分析见表 2。由表中可以看出菱的 P 含量在春夏季都与 TP、TDP 明显相关;黄丝草的 P 含量春季与 TP 明显相关,夏季与 TDP 明显相关;芦苇及芦苇根 P 含量夏季与 TP、TDP 明显相关;与其他指标关系不明显。芦苇和香蒲 N 含量只在春季与 NH_4—N、NO_2—N 明显相关;菱的 N 含量在春季与 NH_4—N 之间明显相关;黄丝草和狐尾藻 N 含量在春季和夏季与 TN、TDN 成正相关,在秋季成负相关。

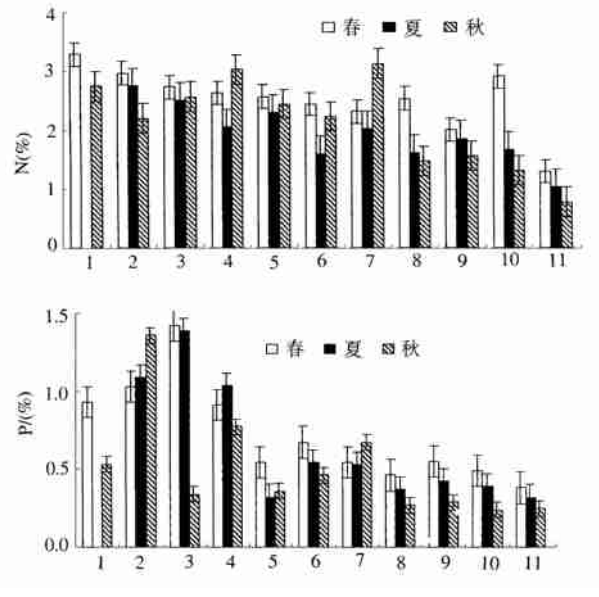


图 3 湖泊中水生植物 N 和 P 含量的季节变化

Fig. 3 Seasonal variation of N and P contents of aquatic plants in the investigated lakes

注:1—11 同图 2 注

表 2　主要水生植物 N 和 P 百分含量与水柱中各种形态 N 和 P 浓度的相关性

Tab. 2　Correlation of N and P contents between major aquatic plants and that of water columns

N 或 P	芦苇茎叶			芦苇根			香蒲			菱			黄丝草			狐尾藻		
季节	春	夏	秋	春	夏	秋	春	夏	秋	春	夏	秋	春	夏	秋	春	夏	秋
TN	-	-	-	-	-	-	-	-	\	-	-	\	0.91 *	0.64 *	\	0.57 *	0.47 *	0.64 *
TDN	-	-	-	-	-	-	-	-	\	-	-	\	0.98 *	0.82 *	\	0.58 *	0.92 *	0.64 *
NO_3-N	-	-	-	-	-	-	-	-	\	-	-	\	-	-	\	-	-	-
NH_4-N	0.65 *	-	-	-	-	-	-	0.97 *	\	0.99 * *	-	\	-	-	\	-	-	-
NO_2 - N	0.79 * *	-	-	-	-	-	-	0.76 *	\	-	-	\	-	-	\	-	-	-
TP	-	0.33 *	-	-	0.62 *	-	-	-	\	0.63 *	0.73 *	\	0.99 *	-	\	-	-	-
TDP	-	0.36 *	-	-	0.61 *	-	-	-	\	0.63 *	0.63 *	\	-	0.66 *	\	-	-	-

*: $P < 0.1$, \ , * *: $P < 0.05$:样品数较少,未统计检验。Samples not enough for statistic analysis.

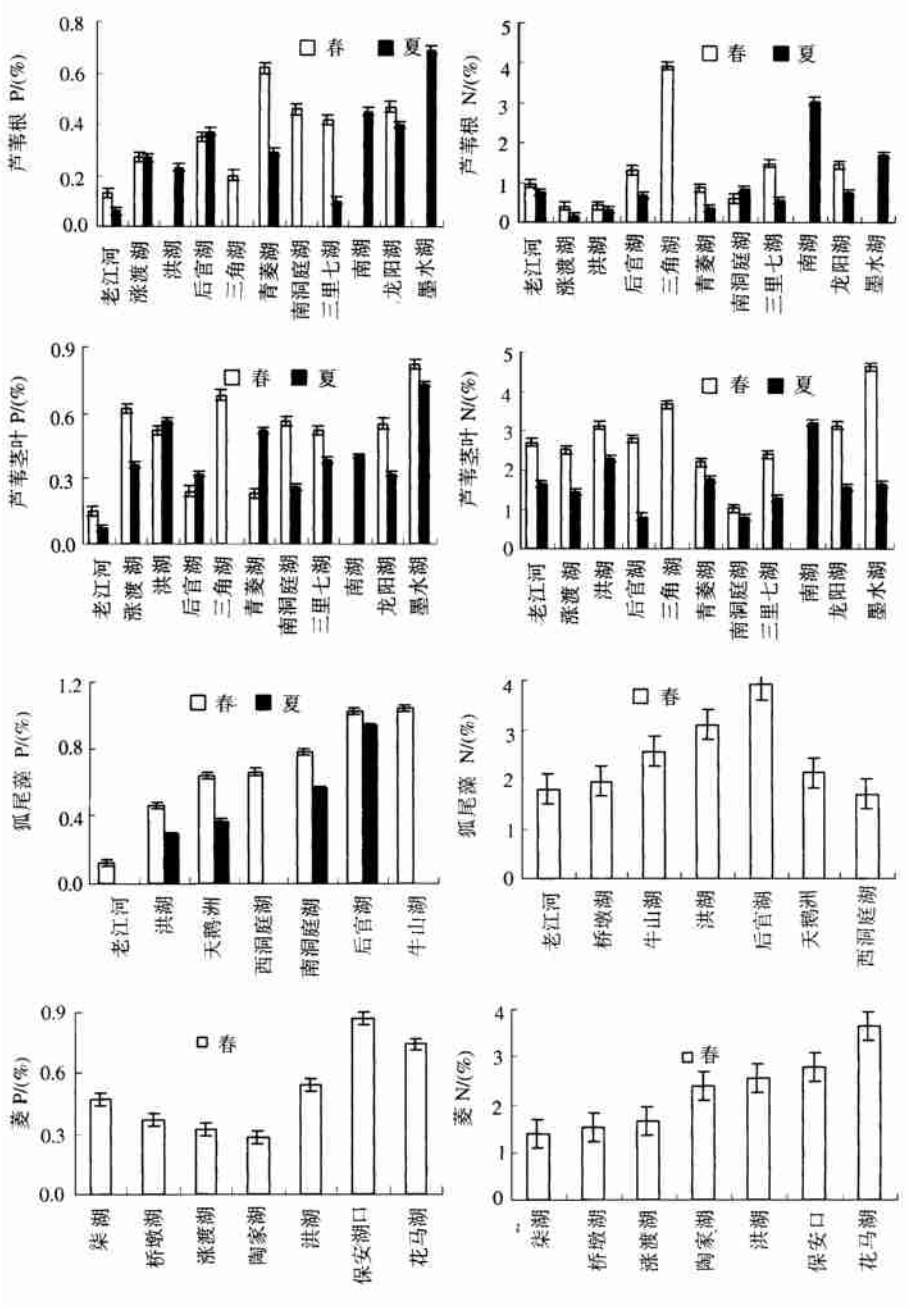


图 4　主要水生植物的 N、P 含量沿着湖泊营养水平的分布

Fig. 4　Distribution of N and P contents of major aquatic plants along the trophic gradients of investigated lakes

2.5 代表性水生植物 N 和 P 含量与湖泊营养水平的关系

所分布湖泊最多的挺水植物芦苇、沉水植物狐尾藻和浮叶植物菱的 N 和 P 含量与所分布湖泊营养水平的变化关系见图 4。芦苇的 N 和 P 含量变化趋势与湖泊营养水平升高不一致。狐尾藻 N 的百分含量先随湖泊营养水平的升高而升高,然后又降低,P 的含量随湖泊营养水平的升高而升高。菱 N 含量随湖泊营养水平的升高而升高,P 的含量变化与湖泊营养升高没有协同关系。至于其他的水生植物,由于所分布的调查湖泊较少,其代表性不如以上植物。

3 讨论

从本研究结果中挺水植物芦苇 N 和 P 含量变化与湖泊营养水平并没有明显的关系,而沉水植物狐尾藻和浮叶植物 N 和 P 的含量都出现随着湖泊营养浓度的上升而升高,或最后下降的趋势,可以看出浮叶植物和沉水植物与水柱营养含量的关系较挺水植物密切,这与浮叶植物和沉水植物比较强的水生适应性是一致的,这两种生活型植物都具备根和茎叶同时吸收营养的能力,即根吸收底质营养,茎叶吸收水柱营养。以往的研究中仅仅对沉水植物的营养来源做过详细分析,发现有时植物组织营养与底质营养浓度相关,有时和水柱营养相关,一般认为沉水植物虽然也从水中吸收营养,但是吸收的营养主要是来自于沉积物中[12—13],因此水生植物组织的 N 和 P 含量与沉积物的关系更加密切,这些试验一般是在营养不足的水平下进行,即营养作为生长的潜在限制因素存在,由于水生植物吸收营养首要动力为生长需求,上述实验证实了营养供应吸收之间的正相关。Gerloff 发现满足水生植物生长需求的组织 N 和 P 的最低含量分别为 1.3 %和 0.13 %,本研究中水生植物的 N 和 P 含量一般都达到或超出了这个极限,所以本研究所探讨的问题应该是水生植物是否能富集水柱过剩营养,从而超出了以前的研究的范围。在 3 种不同生活型水生植物中,挺水植物只能由根系吸收营养,其 N 和 P 含量与湖泊营养状态没有关联;浮叶植物和沉水植物可用根系和茎叶吸收,其 N 和 P 含量与湖泊营养状态变化呈现相关,这表明水生植物对营养的富集可能和茎叶吸收有关。由于这一结论与早期报道的沉水植物富集水柱 P,后来实验发现的中富营养条件下沉水植物主要吸收水柱营养的现象相吻合[14—16],所以可以肯定沉水植物和浮叶植物 N、P 组织营养浓度与湖泊的营养类型在一定程度上存在着较明显的关系,但是由于以往对浮叶植物富集水柱 N 和 P 的现象还没有报道,还需要收集实验的证据。Azco 'n 等发现植物营养盐 N 和 P 含量会先随着湖水营养浓度的升高而升高,然后在高浓度情况下反而下降[17],本研究中狐尾藻和菱就表现出这种趋势。但是由于长江中下游的湖泊没有贫营养和寡营养的湖泊,另外本研究中沉水植物(狐尾藻)和浮叶植物(菱)只在中营养和中富营养的湖泊中出现,因而所反映的植物 N、P 含量与湖泊的营养类型的关系跨度较窄,代表性不够广泛。尽管如此,本研究还是在较大尺度上肯定了浮叶植物和沉水植物对水柱 N 和 P 的富集作用,表明沉水植物和浮叶植物对水质污染会有较好指示作用。

本研究结果中水生植物的 N 和 P 含量以沉水植物最大,其次是浮叶植物,最小的是挺水植物,这与 Greenway 结果是一致的[18]。其中沉水植物和浮叶植物中在春季以菹草的 N 含量为最高,在夏季以苦草的 N 含量为最高,在秋季以菱的 N 含量为最高,说明不同植物富集营养的阶段不同,也可能和它们的生长或资源储备需要有关。挺水植物中春季以芦苇的 N 含量为最高,夏季和秋季以菰的最高。沉水植物和浮叶植物中苦草的 P 含量在全年都最高;挺水植物中菰的 P 含量全年都最高。芦苇的地上部分 N、P 含量比地下部分高。这与 Klumpp 等测的是一致的[5],但与 Greenway 等测得的有出入[18]。植物不同部分 N、P 含量不同是其不同的基因型和不同的生境共同造成的[19],不过 Greenway 认为尽管在大多数种类中叶的氮含量最高,根的 P 含量最高,但是组织营养浓度在各植物各部分中并没有明显的差异[18]。

不同生活型之间组织含水量的季节变化特征表明水生植物含水量季节变化的不同主要是由于其不同的生活型结构和生长差异造成的。挺水植物主要部分气生,在生长季节中纤维和支撑组织不断增加,因而可以推测其含水量会逐渐下降;而沉水植物和浮叶植物主要生活在水中,机械组织退化,因而含水量的季节变化不明显。

参考文献:

[1] Ducrotoy J P. Indications of change in the marine flora of the North Sea in the 1990s[J]. *Mar. Pollut. Bull*. 1999, **38**:646—654

[2] Pokorny J J, Kvet J, POndok. Functioning of the plant component in densely stocked fishponds[J]. *Bull. Ecol*.. 1990, **21**:44—48

[3] Lzagurirr-Mayoval. M L O. Carballo, Egea R, Romano M. Responses of rhizobiumino culated and nitrogen-supplied cowpea plants to increasing phosphorus concentions in solution culture[J]. *J. Plant Nutrition*. 2002, **25**:2273—2387

[4] Ni L Y. Stress of fertile sendiment on the growth of submersed macrophytes in eutrophic waters[J]. *Acat hydrobiologica Sinica*. 2001, **25**(4):399—405[倪乐意. 富营养水体中肥沃底质对沉水植物的胁迫. 水生生物学报, 2001, **25**(4):399—405]

[5] Andreas Klumpp, Konrad Bauer, Charis Franz-Gersteinand Max de Menezes. Variation of nutrient and metal concentrations in aquatic macrophytes along the Rio Cachoeira in Bahia (Brazil)[J]. *Environment International*, 2002, **28**:165—171

[6] Zaranyika M F, Ndapwadza T, Uptake of Ni, Zn, Fe, Co, Cr, Pb, Cu and Cd by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in Mukuvisi and Manyame rivers, Zimbabwe[J]. *J Environ Sci Health*, 1995, **30**:157—169

[7] H González, M Lodenius and MOtero, Water hyacinth as indicator of heavy metal pollution in the tropics[J]. *Bull Environ Contam Toxicol*, 1989, **43**:910—914

[8] Jana S, Accumulation of Hg and Cr by three aquatic species and subsequent changes in several physiological and biochemical plant parameters[J]. *Water Air Soil Pollut*, 1988, **38**:105—109

[9] Zhu YL, Zayed A. M., Qian J. H., *et al*. Phytoaccumulation of trace elements by wetland plants: II. Water hyacinth[J]. *J. Environ Qual*, 1999, **28**:339—344

[10] Moore K A, Wetzel R L. Seasonal variations in eelgrass (*Zostera marina* L.) responses to nutrient enrichment and reduced light availability in experimental ecosystems. [J]. J. Exp. *Mar. Biol. Ecol*., 2000, **244**:1—28

[11] Ni, L. Effects of water column nutrient enrichment on the growth of *Potamogeton maackianus* A. Been. J. Aquat. *Plant manage*. 2001, **39**:83—87

[12] Amy F Gras, Marguerite S Koch., Christopher J Madden. Phosphorus uptake kinetics of a dominant tropical seagrass *Thalassia testudinum* [J]. *Aquatic Botany*. 2003, **76**:299—315

[13] Rattray M R, C Howard-Williams, Brown J M A. Sediment and water as sources of nitrogen and phosphorus for submerged rooted aquatic macrophytes[J]. *Aquatic Botany*. 1991, **40**(3):225—237

[14] Short, F T. Effects of sediment nutrients on seagrasses: literature review and mesocosm experiment[J]. *Aquat. Bot*. 1987, **27**:41—57

[15] Duare C M. Seagrass nutrient content[J]. *Mar. Ecol. Prog. Ser*. 1990, **67**:201—207

[16] Bulthuis D A, Axelrad D M, Mickelson M J. Growth of the seagrass *Heterazostera tasmanica* limited by nitrogen in Port Philip Bay[J]. *Marf. Ecol. Prog. Ser*. 1992, **89**:269—275

[17] R Azcón, E Ambrosano, C Charest. Nutrient acquistion in mycorrhizal lettuce plants under differentphosphorus and nitrogen concentration[J]. *Plant Science*. 2003, **165**:1137—1145

[18] Margaret Greenway. Nutrient content of wetland plants in constructed wetlands receiving municipal effluent in tropical Australia[J]. *Water Science and Technology*. 1997, **35**(5):135—142

[19] Johannes-Gunter Kohl, Peter Woitke, Harald Kuhl, Marion Dewender, Gabriele Konig. Seasonal changes in dissolved amino acids and sugars in basal culm internodes asphysiologicalindicators of the CrN-balance of *Phragmitesaustralis* at littoral sites of different trophic status[J]. *Aquatic Botany*. 1998, **60**:221—240

STUDY OF MACROPHYTES NITROGEN AND PHOSPHORUS CONTENTS OF THE SHALLOW LAKES IN THE MIDDLE REACHES OF CHANGJIANG RIVER

WU Ai-Ping, WU Shi-Kai and NI Le-Yi

(Donghu Experiment Station of Lake Ecosystems, Institute of Hydrobiology, the Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072)

Abstract: Content of tissue nitrogen and phosphorus of aquatic plant is affected by trophic statue of the waters and the plant growth condition. Nitrogen and phosphorus contents (N and P) of aquatic plants of eighteen investigated lakes in the middle reaches of Changjiang River were comparative studied. The results showed that, among all life forms of aquatic plants, the submersed mainly distributed in mesotrophic to meso-eutrophic lakes, while the floating-leaved and emergent in lake's littoral zone of different trophic levels. N and P contents were highest in the submersed and lowest in the emergent, intermediate in floating leaved plants. All aquatic plants reached or exceeded their least requirements of N and P content for maximum growth N and P contents of the major submersed and floating-leaved plants changed relative to increased trophic levels of the lakes. N and P content of 5 aquatic plants showed significant correlations with different N and P species in different growth season. Among the plants of different life form, P content of *Trapa natans* was related significantly to total phosphorus (TP) and total dissolved phosphorus (TDP) in water in the spring and the summer, its N content related to the ammonia (NH_4-N) in the spring. P content of *Potamogeton maackianus* was related to TP in the spring and to TDP in the summer. N contents of *P. maackianus* and *Myriophyllum spicatum* were positive related to total nitrogen (TN) and total dissolved nitrogen (TDN) in the water both in the spring and the summer, and were negative related in autumn. P contents in shoot and root of *Phragmites communis* were significantly related to TP and TDP of the water in the summer; N contents in the shoot of *P. communis* and in *Typha latiorlia* in spring were related to ammonia (NH_4-N) and nitrite (NO_2-N). Sumersed and floating leaved plants are more correlatived with the nutrition level of lakes than emergent plants are, so it is better to choose the formers as the indicative species of the pollution degree of water quality.

Key words: Aquatic plant; Nitrogen content; Phosphorus content; Relationship; Trophic level