

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

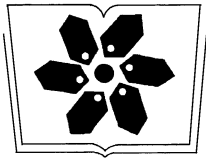
(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 3 期
Vol.31 No.3
2011



中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 3 期 2011 年 2 月 (半月刊)

目 次

景观生态学原理在城市土地利用分类中的应用	李伟峰, 欧阳志云, 肖 焱 (593)
中国特有濒危植物夏蜡梅的交配系统	赵宏波, 周莉花, 郝日明, 等 (602)
昆仑山北坡不同海拔塔里木沙拐枣的光合生理生态特性	朱军涛, 李向义, 张希明, 等 (611)
天山云杉天然林不同林层的空间格局和空间关联性	李明辉, 何风华, 潘存德 (620)
大气 CO ₂ 浓度升高对 B 型烟粉虱大小、酶活及其寄主的选择性影响	王学霞, 王国红, 戈 峰 (629)
桃小食心虫越冬幼虫过冷却能力及体内生化物质动态	王 鹏, 凌 飞, 于 毅, 等 (638)
象山港不同养殖类型海域大型底栖动物群落比较研究	廖一波, 寿 鹿, 曾江宁, 等 (646)
北部湾宝刀鱼的摄食生态	颜云榕, 杨厚超, 卢伙胜, 等 (654)
黄河三角洲自然保护区东方白鹤的巢址利用	段玉宝, 田秀华, 朱书玉, 等 (666)
贺兰山野化牦牛冬春季食性	姚志诚, 刘振生, 王兆铨, 等 (673)
杉木生长及土壤特性对土壤呼吸速率的影响	王 丹, 王 兵, 戴 伟, 等 (680)
中国干旱半干旱区潜在植被演替	李 飞, 赵 军, 赵传燕, 等 (689)
夜间增温和施肥对川西亚高山针叶林两种树苗根际效应的影响	卫云燕, 尹华军, 刘 庆, 等 (698)
洱海流域 44 种湿地植物的氮磷含量特征	鲁 静, 周虹霞, 田广宇, 等 (709)
杠柳幼苗对不同强度干旱胁迫的生长与生理响应	安玉艳, 梁宗锁, 郝文芳 (716)
柠条细根的空间分布特征及其季节动态	史建伟, 王孟本, 陈建文, 等 (726)
NaCl 和 Na ₂ SO ₄ 胁迫下两种刺槐叶肉细胞叶绿体超微结构	孟凡娟, 庞洪影, 王建中, 等 (734)
设施番茄果实生长与环境因子的关系	程智慧, 陈学进, 赖琳玲, 等 (742)
嫁接茄子根系分泌物变化及其对黄萎菌的影响	周宝利, 刘 娜, 叶雪凌, 等 (749)
华北地区冬小麦干旱风险区划	吴东丽, 王春乙, 薛红喜, 等 (760)
干旱胁迫条件下冷型小麦灌浆结实期的农田热量平衡	严菊芳, 张嵩午, 刘党校 (770)
秸秆不同还田量对宁南旱区土壤水分、玉米生长及光合特性的影响	高 飞, 贾志宽, 路文涛, 等 (777)
盐胁迫下不同基因型冬小麦渗透及离子的毒害效应	徐 猛, 马巧荣, 张继涛, 等 (784)
阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液对土壤氮及相关微生物的影响	母 容, 潘开文, 王进闯, 等 (793)
岷江上游油松与云杉人工林土壤微生物生物量及其影响因素	江元明, 庞学勇, 包维楷 (801)
荒漠沙蒿根围 AM 真菌和 DSE 的空间分布	贺学礼, 王银银, 赵丽莉, 等 (812)
百菌清对落叶松人工防护林土壤微生物群落的影响	邵元元, 王志英, 邹 莉, 等 (819)
居住区植物绿量与其气温调控效应的关系	李英汉, 王俊坚, 李贵才, 等 (830)
近 33 年白洋淀景观动态变化	庄长伟, 欧阳志云, 徐卫华, 等 (839)
舟山群岛旅游交通生态足迹评估	肖建红, 于庆东, 刘 康, 等 (849)
¹⁵ N 交叉标记有机与无机肥料氮的转化与残留	彭佩钦, 仇少君, 侯红波, 等 (858)
沉积物老化过程中 DOC 含量变化对菲吸附-解吸的影响	焦立新, 孟 伟, 郑丙辉, 等 (866)
湖南石门、冷水江、浏阳 3 个矿区的苕麻重金属含量及累积特征	余 玮, 揭雨成, 邢虎成, 等 (874)
问题讨论	
近 55a 来河西走廊荒漠绿洲区季节变化特征及其对胡杨年生长期的影响	刘普幸, 张克新 (882)
利用 HYSPLIT 模型分析麦蚜远距离迁飞前向轨迹	郁振兴, 武予清, 蒋月丽, 等 (889)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 302 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-02

洱海流域 44 种湿地植物的氮磷含量特征

鲁 静^{1,2}, 周虹霞³, 田广宇¹, 刘贵华^{1,*}

(1. 中国科学院水生植物与流域生态重点实验室, 武汉植物园, 武汉 430074; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;
3. 云南省环境科学研究院, 昆明 650034)

摘要: 研究湿地植物中的氮和磷含量既能帮助了解其所处生境的营养状况, 又能为湿地生态恢复提供指导。测定了洱海流域 44 种湿地植物干生物量中的氮、磷含量。结果表明洱海湿地植物中总氮和总磷平均含量为 15.7 mg/g 和 3.3 mg/g, 变化范围为 6.4—34.3 mg/g 和 1.4—6.5 mg/g, 明显高于其他地区; 氮磷比范围为 2.2—9.5, 显示该地区磷过剩, 氮是限制因子; 不同功能群植物间的氮和磷含量有显著差异, 总氮含量以沉水植物最高而挺水和漂浮/浮叶植物最低, 而总磷含量则为湿生植物最高而沉水植物最低; 植物的地上部分分别占有整株 72% 的生物量、82% 的氮含量和 75% 的磷含量, 表明收割湿地植物的地上部分可以高效去除湿地生态系统中的氮和磷。

关键词: 总氮; 总磷; 营养限制; 生态恢复; 洱海流域

Nitrogen and phosphorus contents in 44 wetland species from the Lake Erhai Basin

LU Jing^{1,2}, ZHOU Hongxia³, TIAN Guangyu¹, LIU Guihua^{1,*}

1 Key Laboratory of Aquatic Botany and Watershed Ecology, Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430074, China

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 Yunnan Institute of Environmental Science, Kunming 650034, China

Abstract: Nutrient limitation (mostly nitrogen or phosphorus) is thought to be a driving force in ecosystem development. It was hypothesized that the N:P ratio of the vegetation directly reflects the nature of nutrient limitation. At vegetation level, N:P ratios < 14 and > 16 often correspond to N- and P-limited biomass production. The study on nitrogen (N) and phosphorus (P) contents of plants thus may greatly increase our limited knowledge of the nature of nutrient limitation and also provide guidance for ecological restoration. This paper investigated N and P contents of 44 wetland plants from the Lake Erhai basin. The results showed that the mean contents of N and P were 15.7 mg/g and 3.3 mg/g dry weight, and ranged from 6.4 to 34.3 mg/g for N and 1.4 to 6.5 mg/g for P, respectively, and they were markedly higher than those from other regions. The N:P ratio ranged from 2.2 to 9.5, indicating that N was the limiting factor in the Lake Erhai basin. There was a significant difference in N and P contents between above- and belowground parts in plants. The mean N content (16.7 mg/g) and P content (3.6 mg/g) of aboveground part were significantly higher than those (N content of 9.8 mg/g and P content of 3.1 mg/g) of belowground part. There was a significant difference in N and P contents among functional groups. Submerged species exhibited significantly higher N contents (17.7 mg/g) than the emergent species (12.1 mg/g) and free-floating/floating-leaved species (13.4 mg/g), while mud-flat species had significantly higher P contents (3.6 mg/g) than submerged species (2.6 mg/g). Overall, the biomass, and N and P contents of above-ground tissue respectively accounted for 72%, 82% and 75% of those in the whole plant, which suggested that harvesting of above-ground tissue could effectively remove N and P from wetland ecosystem.

基金项目: 云南省科技厅社会事业发展专项(2008CA020); 国家水专项(2008ZX07102-005)

收稿日期: 2009-12-27; **修订日期:** 2010-04-25

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liugh@wbcas.cn

Key Words: ecological restoration; functional group; total nitrogen; total phosphorus; Lake Erhai basin

氮和磷在水域生态系统中起着非常重要的作用,它们不仅是植物生长所必需的营养元素,也是水体富营养化的主要根源。氮和磷是植物群落构建的重要营养盐,湿地生境中氮和磷含量的改变会导致物种间竞争能力和对环境胁迫的适应能力的变化,从而引发植物群落的改变,最终导致湿地生态系统结构和功能的变化^[1-4]。

过去的 20—30a 间,围绕湖泊富营养化治理,各级政府投入了大量的人力与物力,但迄今为止收效甚微。湿地作为氮、磷等源、汇的调节器,可以有效促进、延缓或遏制水环境的恶化趋势,湿地植被是湿地生态系统结构和功能的基础。近年来,人们开始认识到水生植被恢复在浅水湖泊富营养化治理中的重要性。其中,水生高等植物可以通过吸收水体和沉积物中的营养盐,从而降低水体中的营养盐含量与内源负荷,遏制蓝藻水华的发生。在人工湿地中,通过湿地植物的直接吸收从而可以有效去除水体中的氮和磷。因此,掌握湿地植物的氮、磷含量特征,可以为湖泊富营养化治理中湿地植被恢复的物种选择提供指导。

国内外学者已经从不同尺度调查了植物体内的氮、磷含量特征及其变化格局。在陆生植物方面,Reich 和 Oleksyn 调查了全球 1280 种陆生植物叶片的氮和磷含量^[5],并分析了含量与纬度变化和年平均气温变化的关系;Han 等研究了中国 753 种陆生植物的氮、磷含量,发现和全球相比中国植物的磷含量相对较低^[6],He 等对中国草地 213 种优势植物的研究也得出类似结论^[7-8]。在湿地植物中,Koerselman 和 Meuleman 通过统计 40 篇关于各种类型湿地生境中的植物氮、磷含量的文献,得出湿地植物的氮和磷范围为 6—20 mg/g 和 0.2—3.3 mg/g^[9];McJannet 等在标准营养条件(N:P:K = 7:11:27)下栽培的 41 中湿地植物的总氮和总磷含量范围为 2.5—21.4 mg/g 和 1.3—5.1 mg/g^[10]。

洱海是云南省内第 2 大高原淡水湖泊,近 20a 来,随着经济快速发展和人口的急剧增长,洱海流域生态环境日渐恶化,水质呈不断下降的趋势,已经威胁到洱海流域的生态安全^[11-12]。为此,国家“十一五”重大水专项设立了“富营养化初期湖泊(洱海)水污染综合防治技术及工程示范”项目,云南省也设立了“弥苴河河口湿地恢复关键技术研究及工程示范”等相关科技计划项目。本研究针对上述项目中有关湿地植被恢复的目标要求,从洱海流域选择 44 种代表了不同功能群的湿地植物,对其干生物量中的氮和磷含量进行测定,并分析比较不同功能群湿地植物的氮、磷含量差异,以及植物地上部分和地下部分的含量差异。目的在于为洱海开展湿地植被恢复工程提供指导。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

洱海位于大理白族自治州中心地带(100°05′—100°17′E, 25°36′—25°58′N),正常水位 1973.7 m,面积 249.0 km²,最大水深 20.7 m,平均水深 10.2 m。年平均气温 15.1℃,1 月份平均气温 8.5℃,7 月份平均气温 20.1℃,年均降水量 1056.6 mm,5—10 月份雨季降水量占全年的 85%—96%,地带性土壤为红壤^[13]。

洱海补给水主要为大气降水和入湖径流,入湖河溪大小共 117 条。北有西湖和海西海等经洱源盆地、邓川盆地由弥苴河、罗时江和永安江等进入洱海,西部有苍山十八溪水,南部有波罗江,东部有海潮河、凤尾阱和玉龙河等小溪水注入。天然出湖河流只有西洱河,全长 23 km,流向澜沧江。

1.2 样品的采集和预处理

44 种湿地植物的样品于 2009 年 9 月下旬,分别在环洱海的龙龕生态园湖岸带、才村码头湖岸带和弥苴河口湖岸带采集。样品采用多点随机取样法。体型较大的物种整株采集 3 株,每株单独作为 1 个样本;体型小的物种则分别从 3 个位点采集,每个位点采集多株作为 1 个样本;沉水植物采用传统的竹竿绞获方法,多数没有收集到根,因此统一仅收集地上部分。所有样本现场清洗,分别放入聚乙烯塑料袋密封保存,带回实验室用蒸馏水 2 次冲洗,然后于 80℃ 烘箱中烘干 48 h。称取干重,其中挺水植物和湿生植物分地上部分和地下部分分别称取。各样品烘干后打碎,过 60 目筛,样品放入自封袋,标号保存。

1.3 样品总氮总磷的测定

称取植物粉末 0.2 g 左右,样品用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-HClO}_4$ 消煮,采用靛酚蓝比色法 (GB7886-87) 和钼锑抗比色法 (GB7887-87) 测定全氮和全磷含量^[14]。

1.4 统计分析

采用单因素方差分析和 LSD 多重比较法检验不同功能群湿地植物的氮磷比差异以及氮、磷含量的差异,采用配对设计 *t*-test 检验挺水植物和湿生植物的地上与地下部分氮、磷含量差异。数据经正态转换后仍不符合正态分布的采用 Kruskal-Wallis 秩和检验进行统计分析。所有统计分析通过 SPSS 16.0 实现。

2 结果

2.1 不同湿地植物的氮磷含量

湿地植物干生物量中的氮、磷含量变幅较大(表 1)。总磷平均含量为 3.3 mg/g,其中含量最低的马来眼子菜(*Potamogeton malaianus*)为 1.4 mg/g,最高的野慈姑(*Sagittaria trifolia*)为 6.5 mg/g。总氮平均含量为 15.7 mg/g,含量最高和最低的物种是泽泻(*Alisma plantago-aquatica*)和凤眼莲(*Eichhornia crassipes*),分别为 34.3 mg/g 和 6.4 mg/g。

植物体内的氮磷比平均值为 5.0,范围为 2.2—9.5。不同功能群湿地植物间的氮磷比有显著差异($F_{3,41}=9.034$, $P < 0.01$),其中沉水植物的氮磷比平均值为 7.1,显著高于湿生(4.7)、挺水(3.6)和漂浮/浮叶植物(3.8)。

表 1 洱海流域 44 种湿地植物的氮、磷含量和氮磷比

Table 1 Comparison of TN and TP concentrations and N:P ratios among 44 wetland species

物种 Species	生活型 Life type *	TN/(mg/g)	TP/(mg/g)	N:P
泽泻 <i>Alisma plantago-aquatica</i>	M	34.26 ± 6.12	5.07 ± 0.01	6.75
空心莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i>	M	17.02 ± 0.85	2.52 ± 0.12	6.76
多花水苘 <i>Ammannia multiflora</i>	M	16.31 ± 0.42	4.79 ± 0.17	3.40
单性苔草 <i>Carex unisexualis</i>	M	10.13 ± 1.03	2.28 ± 0.18	7.90
异型莎草 <i>Cyperus difformis</i>	M	15.63 ± 0.86	4.53 ± 0.65	3.45
畦畔莎草 <i>Cyperus haspan</i>	M	10.56 ± 3.72	3.01 ± 0.10	3.51
碎米莎草 <i>Cyperus iria</i>	M	9.02 ± 0.72	3.01 ± 0.26	3.00
长芒稗 <i>Echinochloa caudata</i>	M	14.67 ± 1.88	4.54 ± 0.20	3.23
无芒稗 <i>Echinochloa crusgali</i> var. <i>mitis</i>	M	9.24 ± 0.80	2.55 ± 0.23	3.63
水朝阳旋覆花 <i>Inula helianthus-aquatica</i>	M	11.70 ± 1.24	2.24 ± 0.03	5.23
陌上菜 <i>Lindernia procumbens</i>	M	11.60 ± 0.99	2.82 ± 0.01	4.11
鸭舌草 <i>Monochoria vaginalis</i>	M	18.63 ± 0.08	4.78 ± 1.74	4.98
水芹 <i>Oenanthe javanica</i>	M	15.82 ± 2.41	3.38 ± 0.09	4.68
双穗雀稗 <i>Paspalum paspaloides</i>	M	14.72 ± 0.67	3.68 ± 0.36	4.00
两栖蓼 <i>Polygonum amphibium</i>	M	15.51 ± 0.83	3.29 ± 0.07	4.72
水蓼 <i>Polygonum hydropiper</i>	M	12.70 ± 1.39	2.36 ± 0.13	5.38
酸模叶蓼 <i>Polygonum lapathifolium</i>	M	15.44 ± 0.78	4.82 ± 0.31	3.20
密花节节菜 <i>Rotala densiflora</i>	M	12.47 ± 3.12	2.87 ± 0.09	4.34
圆叶节节菜 <i>Rotala rotundifolia</i>	M	10.66 ± 0.57	2.81 ± 0.10	3.79
野慈姑 <i>Sagittaria trifolia</i>	M	18.20 ± 2.68	6.45 ± 0.06	2.82
白车轴草 <i>Trifolium repens</i>	M	26.61 ± 2.66	2.81 ± 0.12	9.49
菖蒲 <i>Acorus calamus</i>	E	10.06 ± 1.61	4.64 ± 0.35	2.17
鸢尾 <i>Iris tectorum</i>	E	6.64 ± 1.39	2.56 ± 0.05	2.59
田字苹 <i>Marsilea quadrifolia</i>	E	18.06 ± 2.64	4.21 ± 0.02	4.29
芦苇 <i>Phragmites australis</i>	E	6.73 ± 1.07	1.58 ± 0.04	4.25
萤蔺 <i>Scirpus juncooides</i>	E	11.99 ± 0.10	4.23 ± 1.56	2.80

续表

物种 Species	生活型 Life type *	TN/(mg/g)	TP/(mg/g)	N:P
水葱 <i>Scirpus validus</i>	E	12.82 ± 1.38	3.42 ± 0.38	3.74
香蒲 <i>Typha orientalis</i>	E	15.92 ± 3.43	4.11 ± 0.31	3.87
菰 <i>Zizania latifolia</i>	E	14.59 ± 3.25	2.78 ± 0.33	5.25
凤眼莲 <i>Eichhornia crassipes</i>	F	6.40 ± 0.38	2.75 ± 0.10	2.33
水鳖 <i>Hydrocharis dubia</i>	F	15.30 ± 0.34	3.99 ± 0.07	3.83
荇菜 <i>Nymphoides peltatum</i>	FL	16.96 ± 4.00	5.15 ± 0.32	3.29
菱 <i>Trapa bispinosa</i>	FL	15.11 ± 1.50	2.61 ± 0.07	5.79
金鱼藻 <i>Ceratophyllum demersum</i>	S	23.64 ± 8.01	2.85 ± 1.70	8.30
黑藻 <i>Hydrilla verticillata</i>	S	12.56 ± 0.55	2.54 ± 0.36	4.94
穗花狐尾藻 <i>Myriophyllum verticillatum</i>	S	20.07 ± 5.47	2.95 ± 0.76	6.81
大茨藻 <i>Najas marina</i>	S	22.05 ± 2.16	2.33 ± 0.62	9.48
菹草 <i>Potamogeton crispus</i>	S	24.85 ± 0.86	2.87 ± 0.11	8.66
光叶眼子菜 <i>Potamogeton lucens</i>	S	17.88 ± 2.66	2.23 ± 0.16	8.01
微齿眼子菜 <i>Potamogeton maackianus</i>	S	16.94 ± 5.19	2.11 ± 0.39	8.02
马来眼子菜 <i>Potamogeton malaianus</i>	S	11.37 ± 1.44	1.43 ± 0.11	7.98
篳齿眼子菜 <i>Potamogeton pectinatus</i>	S	13.15 ± 6.23	2.40 ± 1.03	5.49
穿叶眼子菜 <i>Potamogeton perfoliatus</i>	S	13.72 ± 3.38	2.17 ± 0.54	6.34
苦草 <i>Vallisneria spiralis</i>	S	18.96 ± 2.07	4.86 ± 0.08	3.90

* M = 湿生植物; E = 挺水植物; F = 漂浮植物; FL = 浮叶植物; S = 沉水植物

2.2 不同功能群湿地植物的氮、磷含量

不同功能群湿地植物间的氮、磷含量有显著差异(图1)。湿生植物、挺水植物、漂浮/浮叶植物和沉水植物的氮含量分别为 16.3、12.1、13.4 mg/g 和 17.7 mg/g, 磷含量分别为 3.6、3.4、3.6 mg/g 和 2.6 mg/g。方差分析显示, 沉水植物的总氮含量显著高于挺水和漂浮/浮叶植物($P < 0.05$), 湿生植物的磷含量显著高于沉水植物($P < 0.05$)。

2.3 地上部分和地下部分的氮磷含量

在所有取样物种中, 其中 33 种湿地植物采集到完整的地下部分。地上部分和地下部分氮的平均含量分别为 16.7 mg/g 和 9.8 mg/g, 其中 22 种植物(占 67%)地上部分的氮含量显著高于地下部分($P < 0.05$, 图2)。地上部分和地下部分磷的平均含量分别为 3.6 mg/g 和 3.1 mg/g, 其中 19 种植物(占 58%)地上部分的磷含量显著高于地下部分($P < 0.05$, 图2)。

进一步分析显示, 33 种湿地植物的地上部分生物量、以及氮和磷含量分别占整株生物量、氮和磷含量的 72%、82% 和 75% (图3)。其中湿生植物的上述百分比分别为 74%、82% 和 77%, 高于挺水植物的 63%、76% 和 65%, 然而, 方差分析显示两者之间没有显著差异($P > 0.05$, ANOVA)。漂浮植物在工程实际应用中很容易全株去除, 因此在上述分析中将整株看作地上部分。

3 讨论

本研究显示, 洱海湿地植物的总氮和总磷含量范围分别为 6.4—34.3 mg/g 和 1.4—6.5 mg/g, 高于 Koerselman 和 Meuleman 从 40 篇关于各种类型湿地生境中的植物氮磷含量的论文中统计到的 6—20 mg/g 和

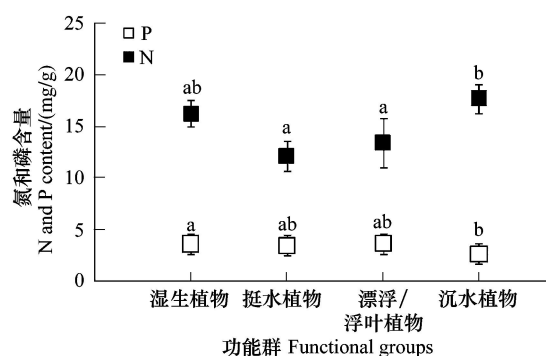


图1 不同功能群氮、磷含量比较(平均值和标准误)

Fig. 1 Comparison of the nitrogen and the phosphorus content among functional groups (mean and SE)

不同字母标注表示显著差异($P < 0.05$, LSD 检验) ($P < 0.05$, LSD test)

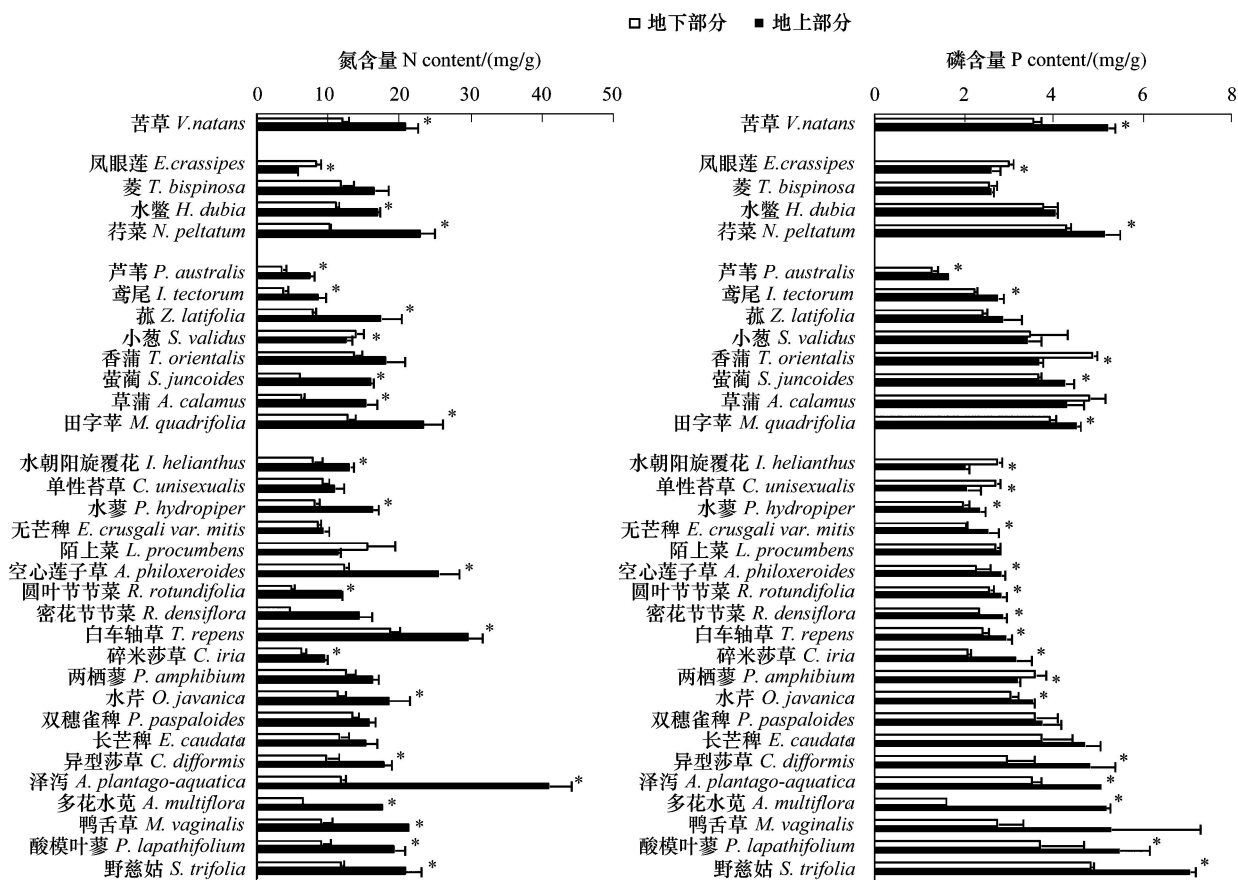


图 2 地上部分和地下部分氮、磷含量比较 (平均值和标准误)

Fig. 2 Comparison of the nitrogen and the phosphorus content between aboveground and underground (Mean and SE)

* 表示显著差异 ($P < 0.05$, LSD test)

0.2—3.3 mg/g 的含量范围^[9],也高于 McJannet 等在标准营养条件 ($N:P:K = 7:11:27$) 栽培的 41 中湿地植物的总氮和总磷含量范围 2.5—21.4 mg/g 和 1.3—5.1 mg/g (其中 1 个种 *Rumex verticillatus* 的总磷含量为 10.7 mg/g,未计入本范围)^[10]。洱海流域湿地植物的总氮和总磷平均含量分别为 15.7 mg/g 和 3.3 mg/g,高于熊汉锋等所测得的梁子湖湿地植物的平均含量(分别为 11.0 mg/g 和 2.2 mg/g)^[15]。

植物中氮、磷含量与许多生物与非生物因子有关,其中最主要的因子是生境条件^[5,9,16-18]。从水质条件看,2008 年洱海全年的总氮和总磷平均含量为 0.41 mg/L 和 0.02 mg/L(未发表资料,云南省环境科学研究院提供),与梁子湖湖心的平均含量 0.45 mg/L 和 0.03 mg/L(熊原文的含量单位为 g/kg,应该属于笔误)相差不大^[15],显然洱海和梁子湖具有类似水体营养水平。然而,研究已经揭示位于高原和半干旱区湖泊的水分蒸发作用远强于位于其他地区的湖泊,因此营养盐在沉积物中的累积更快^[19];此外,通江半通江湖泊的水体交换快,沉积物的氮磷含量偏低^[19]。例如,水质为中营养水平的洱海,其沉积物中的总氮含量为 2.16 g/kg,远远高于中下游富营养和超富营养水平湖泊巢湖(0.67 g/kg)和太湖(0.73 g/kg)^[19]。因此,尽管缺少洱海与上述各研究位点沉积物营养水平的资料,可以推测洱海湿地植物中的高氮磷含量,可能归因于其沉积物中的高营养盐含量。

植物干生物量中的氮磷比是一个具有重要生态意义的指标,一方面可以反映植被的结构和功能特征,同时也反映了群落水平的营养限制状况^[9,20-21]。当生境中磷过剩而氮不足时,植物过量吸收磷,干生物量中的氮磷比通常小于 14,植物生长表现为氮限制;反之,则植物干生物量中的氮磷比大于 16,植物生长表现为磷限制^[9]。本研究,44 种湿地植物的氮磷比范围为 2.2—9.5,显示洱海流域营养盐水平为磷过剩而氮偏低,处

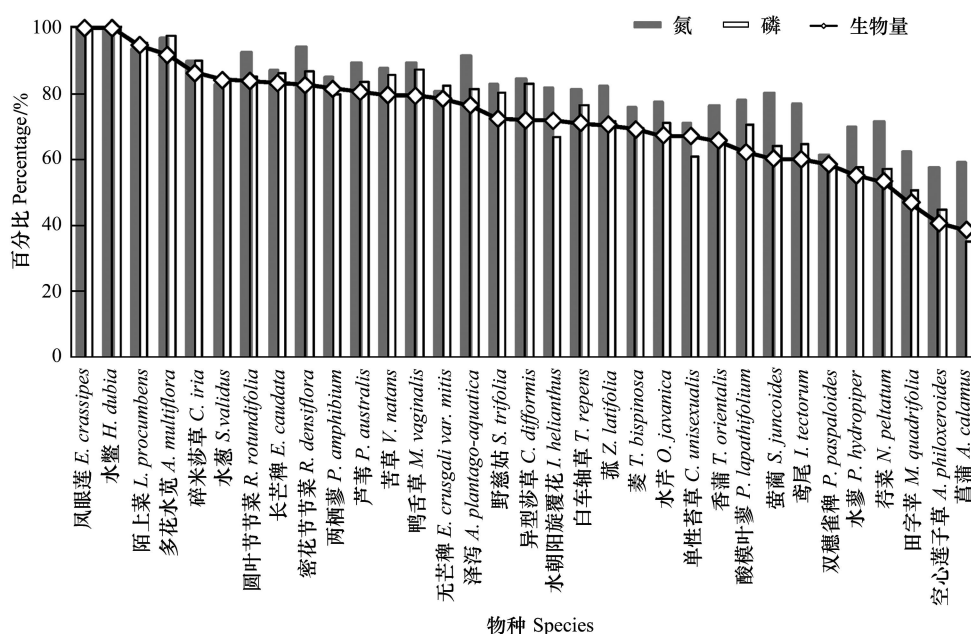


图3 湿地植物地上部分生物量、氮和磷含量占整株生物量、氮和磷含量的百分比

Fig. 3 Percentages of the biomass, the nitrogen and the phosphorus content of the above-ground to the whole plant

于氮限制状况。

不同功能群的湿地植物中氮和磷含量存在显著差别,沉水植物的氮含量显著高于浮叶/漂浮植物和挺水植物,而磷含量则表现为湿生植物显著高于沉水植物,这一结论与 Greenway 在构筑湿地获得的结果是一致的^[22]。根据上述特征,在湿地生态工程中可以有选择地应用物种,根据植物具有的不同净化优势和生活史特征,合理配置湿地植物群落的物种成分,提高综合净化效率和稳定性。此外,本研究结果也表明,分别占整株个体 72% 的生物量、82% 的氮含量和 75% 的磷含量位于植物的地上部分。这一结果建议,在以氮磷去除为目标的生态恢复工程中,选择恰当的植物生长季节^[23],适时收割植物的地上部分可以取得良好的效果。

References:

- [1] Tilman D. The resource-ratio hypothesis of plant succession. *American Naturalist*, 1985, 125(6): 827-852.
- [2] Grace J B, Tilman D. *Perspectives on Plant Competition*. San Diego: Academic Press, 1990.
- [3] Olde Venterink H, Pieterse N M, Belgers J D M, Wassen M J, Ruiter P C. N, P and K budgets along nutrient availability-productivity gradients in wetlands. *Ecological Applications*, 2002, 12(4): 1010-1026.
- [4] Güsewell S, Koerselman W. Variation in nitrogen and phosphorus concentrations of wetland plants. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 2002, 5(1): 37-61.
- [5] Reich P B, Oleksyn J. Global patterns of plant leaf N and P in relation to temperature and latitude. *PNAS*, 2004, 101(30): 11001-11006.
- [6] Han W, Fang J Y, Guo D, Zhang Y. Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry across 753 terrestrial plant species in China. *New Phytologist*, 2005, 168(2): 377-385.
- [7] He J S, Fang J Y, Wang Z H, Guo D, Flynn D F B, Geng Z. Stoichiometry and large-scale patterns of leaf carbon and nitrogen in the grassland biomes of China. *Oecologia*, 2006, 149(1): 115-122.
- [8] He J S, Wang L, Flynn D F B, Wang X, Ma W, Fang J. Leaf nitrogen: phosphorus stoichiometry across Chinese grassland biomes. *Oecologia*, 2008, 155(2): 301-310.
- [9] Koerselman W, Meuleman A F M. The vegetation N:P ratio: a new tool to detect the nature of nutrient limitation. *Journal of Applied Ecology*, 1996, 33(6): 1441-1450.
- [10] McJannet C L, Keddy P A, Pick F R. nitrogen and phosphorus tissue concentrations in 41 wetland plants: a comparison across habitats and functional groups. *Functional Ecology*, 1995, 9(2): 231-238.
- [11] Zheng G Q, Yu X X, Jiang N, He L H. The cause for change of water quality of Erhai Lake and prediction of water quality. *Journal of Northeast*

- Forestry University, 2004, 32(1): 99-102.
- [12] Yan C Z, Jin X C, Zhao J Z, Shen B, Li N B, Huang C Z, Xiong Z H. Ecological protection and sustainable utilization of Erhai Lake, Yunnan. *Environmental Science*, 2005, 26(5): 38-42.
- [13] Wang S M, Dou H S. A Directory of Lakes in China. Beijing: Science Press, 1998.
- [14] Dong M, Wang Y F, Kong F Z, Jiang G M, Zhang Z B. Survey, Observation and Analysis of Terrestrial Biocommunities. Beijing: Standards Press of China, 1996.
- [15] Xiong H F, Huang S K, Chen Z P, Liao Q Z, Tan Q L, Wang Y H. Accumulation features of nitrogen and phosphorus in plants of Liangzi Lake wetland. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(4): 466-470.
- [16] Thompson K, Parkinson J A, Band S, Spencer R E. A comparative study of leaf nutrient concentrations in a regional herbaceous flora. *New Phytologist*, 1997, 136(4): 679-689.
- [17] Cunningham S A, Summerhayes B, Westoby M. Evolutionary divergences in leaf structure and chemistry, comparing rainfall and soil nutrient gradients. *Ecological Monographs*, 1999, 69(4): 569-588.
- [18] Demars B O L, Edwards A C. Tissue nutrient concentrations in aquatic macrophytes: comparison across biophysical zones, surface water habitats and plant life forms. *Chemistry and Ecology*, 2008, 24(6): 413-422.
- [19] Sun S, Zhang C. Nitrogen distribution in the lakes and lacustrine of China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2000, 57(1): 23-31.
- [20] Güsewell S, Koerselman W. Variation in nitrogen and phosphorus concentrations of wetland plants. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 2002, 5(1): 37-61.
- [21] Güsewell S. N:P ratios in terrestrial plants: variation and functional significance. *New Phytologist*, 2004, 164(2): 243-266.
- [22] Greenway M. Nutrient content of wetland plants in constructed wetlands receiving municipal effluent in tropical Australia. *Water Science and Technology*, 1997, 35(5): 135-142.
- [23] Zhang W L, Zeng C S, Zhang L H, Wang W Q, Lin Y, Ai J Q. Seasonal dynamics of nitrogen- and phosphorus absorption efficiency of wetland plants in Minjiang River estuary. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(6): 1317-1322.

参考文献:

- [11] 郑国强, 于兴修, 江南, 何隆华. 洱海水质的演变过程及趋势. *东北林业大学学报*, 2004, 32(1): 99-102.
- [12] 颜昌宙, 金相灿, 赵景柱, 沈兵, 李宁波, 黄昌筑, 熊仲华. 云南洱海的生态保护及可持续利用对策. *环境科学*, 2005, 26(5): 38-42.
- [13] 王苏民, 窦鸿身. 中国湖泊志. 北京: 科学出版社, 1998.
- [14] 董明, 王义凤, 孔繁志, 蒋高明, 张知彬. 陆地生物群落调查观测与分析. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- [15] 熊汉锋, 黄世宽, 陈治平, 廖勤周, 谭启玲, 王运华. 梁子湖湿地植物的氮磷积累特征. *生态学杂志*, 2007, 26(4): 466-470.
- [23] 章文龙, 曾从盛, 张林海, 王维奇, 林燕, 艾金泉. 闽江河口湿地植物氮磷吸收效率的季节变化. *应用生态学报*, 2009, 20(6): 1317-1322.

CONTENTS

Applying landscape ecological concepts in urban land use classification	LI Weifeng, OUYANG Zhiyun, XIAO Yi (593)
Mating system of <i>Sinocalycanthus chinensis</i> (Cheng et S. Y. Chang) Cheng et S. Y. Chang, an endangered, indigenous species in China	ZHAO Hongbo, ZHOU Lihua, HAO Riming, et al (602)
Photosynthetically and ecophysiological characteristics of <i>Calligonum roborowasikii</i> in different altitudes on the northern slope of Kunlun Mountain	ZHU Juntao, LI Xiangyi, ZHANG Ximing, et al (611)
Spatial distribution pattern of different strata and spatial associations of different strata in the Schrenk Spruce Forest, northwest China	LI Minghui, HE Fenghua, PAN Cunde (620)
Effect of elevated CO ₂ on the body size, enzyme activity and host selection behavior of <i>Bemisia tabaci</i> biotype B	WANG Xuexia, WANG Guohong, GE Feng (629)
The dynamics of super-cooling ability and biochemical substances in the overwintering <i>Carposina niponensis</i> Walsingham (Lepidoptera: Carposinidae) larvae	WANG Peng, LING Fei, YU Yi, et al (638)
A comparative study of macrobenthic community under different mariculture types in Xiangshan Bay, China	LIAO Yibo, SHOU Lu, ZENG Jiangning, et al (646)
Feeding ecology of dorab wolf-herring, <i>Chirocentrus dorab</i> from the Beibu Gulf	YAN Yunrong, YANG Houchao, LU Huosheng, et al (654)
Make use of nest-site of oriental white stork in the Yellow River Estuary Nature Reserve	DUAN Yubao, TIAN Xiuhua, ZHU Shuyu, et al (666)
Winter and spring diet composition of feral yak in Helan Mountains, China	YAO Zhicheng, LIU Zhensheng, WANG Zhaoding, et al (673)
Effects of tree growth and soil properties on soil respiration rate in Chinese fir plantations	WANG Dan, WANG Bing, DAI Wei, et al (680)
Succession of potential vegetation in arid and semi-arid area of China	LI Fei, ZHAO Jun, ZHAO Chuanyan, ZHANG Xiaoqiang (689)
Responses on rhizosphere effect of two subalpine coniferous species to night-time warming and nitrogen fertilization in western Sichuan, China	WEI Yunyan, YIN Huajun, LIU Qing, et al (698)
Nitrogen and phosphorus contents in 44 wetland species from the Lake Erhai Basin	LU Jing, ZHOU Hongxia, TIAN Guangyu, et al (709)
Growth and physiological responses of the <i>Periploca sepium</i> Bunge seedlings to drought stress	AN Yuyan, LIANG Zongsuo, HAO Wenfang (716)
The spatial distribution and seasonal dynamics of fine roots in a mature <i>Caragana korshinskii</i> plantation	SHI Jianwei, WANG Mengben, CHEN Jianwen, et al (726)
The ultrastructure of chloroplast in mesophyll cell on two robinias under NaCl and Na ₂ SO ₄ stress	MENG Fanjuan, PANG Hongying, WANG Jianzhong, et al (734)
Relationship between tomato fruit growth and environmental factors under protected facility cultivation	CHENG Zhihui, CHEN Xuejin, LAI Linling, et al (742)
Effect of grafting eggplant on root exudates and disease resistance under <i>Verticillium dahliae</i> stress	ZHOU Baoli, LIU Na, YE Xueling, et al (749)
The drought risk zoning of winter wheat in North China	WU Dongli, WANG Chunyi, XUE Hongxi, et al (760)
Heat balance of cold type wheat field at grain-filling stage under drought stress condition	YAN Jufang, ZHANG Songwu, LIU Dangxiao (770)
Effects of different straw returning treatments on soil water, maize growth and photosynthetic characteristics in the semi-arid area of Southern Ningxia	GAO Fei, JIA Zhikuan, LU Wentao, et al (777)
Osmotic and ionic stress effects of high NaCl concentration on seedlings of four wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) genotypes	XU Meng, MA Qiaorong, ZHANG Jitao, et al (784)
Effects of ferulic acid, p-hydroxybenzoic acid and their mixture on mineral nitrogen and relative microbial function groups in forest soils	MU Rong, PAN Kaiwen, WANG Jinchuang, et al (793)
Soil microbial biomass and the influencing factors under <i>Pinus tabulaeformis</i> and <i>Picea asperata</i> plantations in the upper Min-jiang River	JIANG Yuanming, PANG Xueyong, BAO Weikai (801)
Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi and dark septate endophytes in the rhizosphere of <i>Artemisia sphaerocephala</i> from Inner Mongolia desert	HE Xueli, WANG Yinyin, ZHAO Lili, et al (812)
Effect of chlorothalonil on soil microbial communities of <i>Larix</i> artificial shelter-forest	SHAO Yuanyuan, WANG Zhiying, ZOU Li, et al (819)
Research of the vegetation's cooling effect in city's residential quarter	LI Yinghan, WANG Junjian, LI Guicai, et al (830)
Landscape dynamics of Baiyangdian Lake from 1974 to 2007	ZHUANG Changwei, OUYANG Zhiyun, XU Weihua, et al (839)
Evaluation of tourism transport ecological footprint in Zhoushan islands	XIAO Jianhong, YU Qingdong, LIU Kang, et al (849)
Nitrogen transformation and its residue in pot experiments amended with organic and inorganic ¹⁵ N cross labeled fertilizers	PENG Peiqin, QIU Shaojun, HOU Hongbo, et al (858)
Effects of dissolve organic carbon (DOC) contents on sorption and desorption of phenanthrene on sediments during ageing	JIAO Lixin, MENG Wei, ZHENG Binghui, et al (866)
Heavy metal concentrations and bioaccumulation of ramie (<i>Boehmeria nivea</i>) growing on 3 mining areas in Shimen, Lengshuijiang and Liuyang of Hunan Province	SHE Wei, JIE Yucheng, XING Hucheng, et al (874)
Discussion	
Climate characteristic of seasonal variation and its influence on annual growth period of <i>populus euphratica</i> Oliv in Hexi Corridor in recent 55 years	LIU Puxing, ZHANG Kexin (882)
Forward trajectory analysis of wheat aphids during long-distance migration using HYSPLIT model	YU Zhenxing, WU Yuqing, JIANG Yueli, et al (889)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任: 孔红梅

执行编辑: 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 3 期 (2011 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 3 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许可证	京海工商广字第 8013 号		

