

# 骆马湖滨岸带 4 种植物氮磷与土壤氮磷含量关系

张翠英<sup>1,2</sup>, 徐德兰<sup>1</sup>, 万 蕾<sup>1</sup>, 韩宝平<sup>1,2</sup>, 闫 姗<sup>2</sup>

(1. 徐州工程学院 环境工程学院, 江苏 徐州 221008; 2. 中国矿业大学 环境与测绘学院, 江苏 徐州 221008)

**摘 要:**对骆马湖东部滨岸带 4 种植物和土壤的总氮、总磷含量进行了测定,比较了植物组织氮磷分布变化,分析了土壤氮磷的空间分布及其与植物氮磷的关系。结果表明:滨岸带植物区土壤 TN、TP 显著高于无草区;4 种植物群落立地土壤氮磷的水平变化差异较大,TN 按近滨—前滨—后滨依次递减变化,而 TP 按后滨—近滨—前滨依次递减变化;从垂直变化来看,4 种植物群落的立地土壤各层 TN、TP 差异显著,土壤表层(0—20 cm) TN 最高;而 TP 最高值分别出现在黄蒿、茅草群落土壤表层以及芦苇、香蒲群落土壤次表层(20—40 cm)。4 种植物的叶、茎、根等组织的 TN、TP 差异较大,但均以叶中含量最高,茎和根中含量较低,而且植物对氮素的吸收能力远大于磷素。相关分析表明,植物叶 TN 与土壤表层、次表层 TN 显著正相关,植物叶 TP 与土壤表层 TP 极显著正相关,植物茎 TP 与土壤次表层 TP 显著负相关。芦苇和茅草对土壤氮磷的吸收富集效应较好,而香蒲和黄蒿对土壤氮磷的吸收富集效应较弱。

**关键词:**骆马湖; 滨岸带; 植物; 土壤; 氮磷

**中图分类号:**S153. +1

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2013)02-0038-05

## Relationship between N and P Contents in Four Types of Plants and Soils in Riparian Zone of Luomahu Lake

ZHANG Cui-ying<sup>1,2</sup>, XU De-lan<sup>1</sup>, WAN Lei<sup>1</sup>, HAN Bao-ping<sup>1,2</sup>, YAN Shan<sup>2</sup>

(1. College of Environmental Engineering, Xuzhou Institute of Technology,

Xuzhou, Jiangsu 221008, China; 2. School of Environment Science and Spatial

Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu 221008, China)

**Abstract:** The N and P contents in four plants and soils in riparian zone of Luomahu Lake were determined and analyzed, and relationship between plants and soils were discussed. The results showed that TN and TP in soils grown plants were significantly higher than control. Horizontal change pattern of N and P was different in soils of four plant areas, TN declined from nearshore, foreshore to backshore, while TP decreased from backshore, nearshore to foreshore. In vertical direction, the differences of TN and TP in each soil layer of four plants areas were significant, TN was the highest in surface soil (0—20 cm), TP was the highest in surface soil of *I. cylindrica* and *A. scoparia* areas or subsurface (20—40 cm) of *P. australis* and *T. orientalis* areas. The differences between TN and TP in leaves, stems and roots of four plants were significant, TN and TP were the highest in plant leaves, lower in plant stems and roots, and capacity of absorption to N was far more than P. The correlation analysis showed that TN of plant leaf was significantly positively correlated with TN in surface soil and subsurface, respective, TP of plant leaf was significantly positively correlated with TP in surface soil, and TP of plant stem was significantly negatively correlated with TP in subsurface soil. It was concluded that *P. australis* and *I. cylindrica* had a better uptake effect to soil N and P, but uptake effect to soil N and P of *T. orientalis* and *A. scoparia* was weaker.

**Key words:** Luomahu Lake; riparian zone; plant; soil; TN and TP

滨岸带指介于河溪和陆域之间的生态过渡带,是陆地生态系统与水生生态系统交错的一种类型<sup>[1]</sup>,是

由美国农业部国家自然资源保护局向美国公众推荐的土地利用保护方式,具有明显的边缘效应。滨岸带

特殊的地理位置为植被的生存提供了良好的条件,使其具有过滤截留污染物、为生物提供栖息地、保持水土以及美化景观等功能<sup>[2-3]</sup>。植物是滨岸带发挥作用的重要环节,研究不同植物组织对径流污染物净化效果的差异,对于滨岸带的各项生态服务功能的发挥具有十分重要的意义,但针对这一方面的研究大多数还处于初步试验阶段<sup>[4]</sup>。

目前,国内外学者对滨岸带的应用研究多集中在对氮、磷营养元素的截留上<sup>[5]</sup>,而植物吸收是滨岸带截留氮、磷的主要机理之一<sup>[6]</sup>。因此,本研究选择骆马湖东部滨岸带的植物作为研究对象,分析立地土壤和植物组织的总氮、总磷含量,探讨不同植物对氮、磷的吸收富集效应以及与土壤氮、磷含量的关系,为阐明滨岸带植物群落的净化效果提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

骆马湖(34°00′—34°14′N, 118°06′—118°18′E)位于江苏省北部,京杭大运河中段,是江苏省四大湖泊之一,湖区南北长 27 km,东西平均宽 13 km,总面积为 375 km<sup>2</sup>。正常蓄水位 23.0 m,平均水深 3.3 m,最大水深 5.5 m,年换水次数在 10 次左右,是典型的过水性浅水湖泊。骆马湖湿地水生植物主要有浮游植物和维管植物。在骆马湖的浮游植物中共发现了 8 个门,硅藻门、绿藻门、裸藻门等藻类的分布范围大、密度较高,而黄藻门、金藻门等藻类则零星出现,浮游植物的分布位置和数量受到季节和环境等因素影响较大。维管植物中的双子叶植物有 33 科共 81 个种类,单子叶植物共 8 个科 44 个种类,蕨类植物则有 3 个科共 4 个种类,其中的莲、野菱和大豆均是国家Ⅱ级保护的湿地水生植物,而香蒲、金鱼藻、柳树、芦苇、莲等水生植物都是重要的经济作物。

1.2 样点概况

本试验点选在骆马湖宿迁段东部滨岸带,按照近滨、前滨和后滨分为 3 个采样区,植物群落组成见表 1。近滨植物群落主要有芦苇、水蓼、香蒲、水花生等,其中芦苇覆盖度为 95%,群落距离湖泊约 5 m,宽 200 m;前滨植物群落主要有香蒲、扒根草、黄蒿等,其中香蒲覆盖度为 89%,群落距离湖泊约 65 m,宽 240 m;后滨植物群落主要有黄蒿、茅草、柳树、杨树等,其中在黄蒿优势区覆盖度为 85%,在茅草群落优势区覆盖度为 90%,距离湖泊约 135 m,宽 220 m。在采样区中,选择植物发育良好的滨岸带进行研究,植物带宽度约为 140 m,植被覆盖度大于 85%。

1.3 采样方法

于 2010 年 8 月 27 日对研究区域进行了采样。主要采集了滨岸带土壤、植物及植物的立地土壤等样品。(1) 滨岸带土壤采集:分别选取骆马湖东南滨岸带的有植物群落分布区(植物区)与无植物群落分布区(无草区),在两块样地中沿南北方向分别设置一个 20 m×20 m 的大样方,并在大样方内以 2 m×2 m 的距离设置连续的小样方,取小样方内的表层土壤(0—20 cm),各设 4 个取样点,共采集 24 个土壤样品。(2) 植物及植物的立地土壤采集:选取滨岸带均一、没有明显间断存在的植物群落为取样点,在每个植物群落带上分别采集植物优势种 3 株,除去淤泥、杂质、枯根叶,称其鲜质量,仔细分为叶、茎、根三部分,共采集 12 个植物样品;并对植物的立地土壤进行垂向采集,以 20 cm 为一层采集 0—60 cm 的土壤样品,其中,0—20 cm 为表层,20—40 cm 为次表层,40—60 cm 为第三层,共采集了 36 个土壤样品。

表 1 采样区植物群落情况

采样区	植物种类	海拔/ m	与湖水 距离/m	覆盖 度/%
a	芦苇 <i>P. australis</i>	41.255	5(近滨)	95
b	香蒲 <i>T. orientalis</i>	37.358	65(前滨)	89
c	黄蒿 <i>A. scoparia</i>	78.559	135(后滨)	85
	茅草 <i>I. cylindrica</i>	38.589		90

1.4 分析方法

(1) 土壤总氮(TN)、总磷(TP)测定:土壤样品在 40℃下烘干,捡出土壤中的根系、石块和杂物,放入研钵中反复研磨至粉末状,过 100 目筛,备用;土壤的总氮测定采用半微量凯氏定氮法,总磷测定采用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>—HClO<sub>4</sub> 消解钼锑抗比色法<sup>[7]</sup>。(2) 植物样品总氮、总磷测定:植物样品在 60℃下烘干,粉碎,过 60 目筛,备用;总氮、总磷测定分别采用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>—H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>—靛酚蓝比色法和 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>—H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>—钼锑抗比色法<sup>[8-9]</sup>。(3) 数据分析:采用 SPSS 13.0 和 Excel 2007 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 骆马湖滨岸带土壤营养盐概况

分别测定了骆马湖滨岸带有植物群落分布区(植物区)与无植物群落分布区(无草区)的土壤氮磷含量(表 2)。由表 2 可知,骆马湖滨岸带植物区土壤 TN 和 TP 分别为 1.48,0.48 mg/g,均高于无草区的 1.16,0.33 mg/g。土壤 TN 按照近滨、前滨和后滨的顺序依次递减,而土壤 TP 则为近滨>前滨>后滨,这可能与植物的种类、土壤的性质以及人类活动

等因素有关。方差分析表明,植物区和无草区的 TN 差异显著( $P<0.05$ ),植物区和无草区的 TP 差异极显著( $P<0.01$ )。

表 2 骆马湖滨岸带土壤氮磷含量分析 mg/g

取样点	TN		TP	
	植物区	无草区	植物区	无草区
近滨	1.71±0.31	1.38±0.14	0.65±0.19	0.48±0.13
前滨	1.51±0.12	1.19±0.18	0.12±0.09	0.01±0.02
后滨	1.22±0.21	0.92±0.19	0.66±0.13	0.49±0.09
均值	1.48±0.25	1.16±0.24	0.48±0.34	0.33±0.30

2.2 骆马湖滨岸带植物立地土壤氮磷含量变化

2.2.1 植物立地土壤氮磷含量水平变化 湖泊湿地中,植物的生长能力、植被的类型及湖泊的富营养化程度均受湿地氮素含量的影响<sup>[10]</sup>。而氮素含量又受到植被的盖度和类型的影响。动植物残体和生物固氮作用是湿地土壤氮素的两个重要来源,此外,还有一部分氮素来源于大气降水<sup>[11]</sup>。由骆马湖滨岸带植物立地土壤氮含量的水平变化(图 1)可知,植物立地

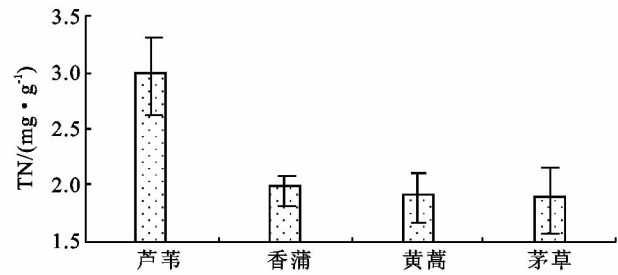


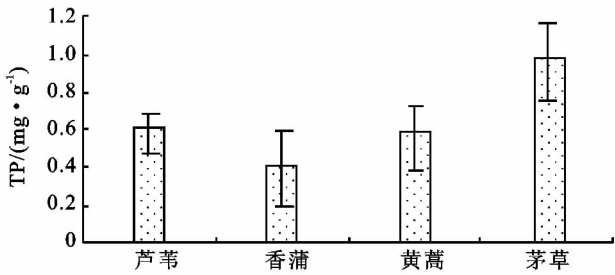
图 1 骆马湖滨岸带植物立地土壤氮磷含量水平变化

2.2.2 植物立地土壤氮磷含量垂直变化 由植物群落立地土壤 TN 垂直变化(图 2)可见,芦苇群落表层 TN 最高,为 2.96 mg/g;黄蒿群落第三层(40—60 cm) TN 最低,为 1.12 mg/g。不同植物立地土壤表层的 TN 均最高,且由表层向下逐渐降低。就表层来看,芦苇群落 TN 含量最高,而香蒲、黄蒿、茅草群落 TN 依次递减;就第三层来看,黄蒿群落 TN 最低,而香蒲、茅草、芦苇群落 TN 依次升高。

不同植物立地土壤各层 TN 含量差异显著( $P<0.05$ ),但芦苇群落土壤各层的 TN 均最高,黄蒿群落最低。这是因为土壤采样层位于地下水位上方,因此氮素不会通过地下潜流的运输被带走,换言之,氮素的消失只能通过植物吸收或脱氮还原作用来进行。在茅草、黄蒿等草本类群落土壤中氮含量较低,主要是因为植物在生长发育过程中,对氮素的需求量更多,因此群落土壤中的氮含量较少。而在挺水植物群落中,香蒲群落土壤的总氮含量低于芦苇群落,其原因可能是氮素发生了还原反应,直接损失到大气中。不同植物群落土壤表层的总氮含量均最高,并由表层

土壤 TN 含量的变化规律明显,接近滨(a 区)—前滨(b 区)—后滨(c 区)依次递减变化,即  $a>b>c$ 。a 区表层(0—20 cm) TN 为 2.96 mg/g,是 b 区(1.95 mg/g)的 1.52 倍,是 c 区(1.87 mg/g)的 1.58 倍。方差分析表明,植物立地土壤 TN 的水平变化差异显著( $P<0.05$ )。

天然湿地的滨岸带土壤中磷素含量主要来源于成土母质和动植物的残体<sup>[12]</sup>。磷素在湿地生态系统中具有一定的稳定性,这种稳定态的存在对湿地来说非常重要,由于水文地理条件变化频繁,磷素能够从湖泊水体转移到土壤中,被黏土吸附而留存于湿地滨岸带土壤中<sup>[13]</sup>。由图 1 可知,植物立地土壤 TP 含量变化规律与 TN 差异较大,按后滨(c 区)—近滨(a 区)—前滨(b 区)依次递减变化,即  $c>a>b$ 。c 区表层 TP 为 0.76 mg/g,是 a 区(0.58 mg/g)的 1.31 倍,是 b 区(0.39 mg/g)的 1.95 倍。方差分析表明,植物立地土壤 TP 的水平变化呈极显著差异( $P<0.01$ )。



向下逐渐降低。这与赵磊<sup>[14]</sup>的南矾山湿地典型群落植物—土壤系统氮磷转化研究结果相一致。 $\text{NO}_3^-$  离子一般会依附于带负电荷的土壤颗粒中,所以氮素在湿地中通过地下潜流主要以硝态氮的形式流失,也有可能发生了脱氮作用被释放到大气中。水生植物为满足自身生长需要对氮素的吸收实际上是一种持留机制,当然不同种类的植物对土壤氮素的吸收富集能力也各不相同<sup>[15]</sup>。

从图 2 可以看出,芦苇群落次表层(20—40 cm) TP 最高,为 1.19 mg/g;茅草群落第三层 TP 最低,为 0.20 mg/g。另外,芦苇、香蒲群落土壤的 TP 最大值出现在次表层,最小值出现在第三层;而黄蒿、茅草群落土壤的表层 TP 均最高,由表层向下逐渐降低,变化规律和 TN 相似。就表层而言,茅草群落 TP 最高,为 0.96 mg/g,而芦苇、黄蒿、香蒲群落 TP 依次递减;就第三层来看,茅草群落 TP 最低,而香蒲、黄蒿、芦苇群落 TP 依次升高。不同植物立地土壤各层 TP 差异显著( $P<0.05$ ),在茅草、黄蒿群落中,土壤总磷含量随着土层深度的增加而不断降低,这一结果和很

多湿地磷变化的研究结论相同。其主要原因在于磷没有任何气体形式或蒸汽形式的化合物,因此是比较典型的沉积型循环物质,很多土壤中的磷酸盐最终都被固结在深层沉积物中。而在芦苇、香蒲群落中,表层土壤的总磷含量小于次表层,可能是因为这些群落

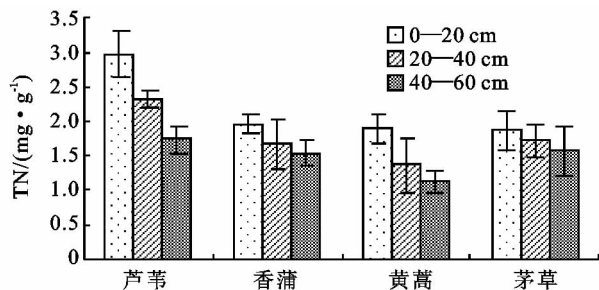
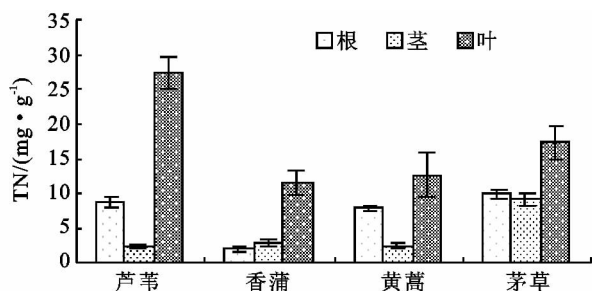


图2 骆马湖滨岸带植物立地土壤氮磷含量垂直变化

### 2.3 骆马湖滨岸带植物氮磷含量的变化

对骆马湖滨岸带植物叶、茎、根等组织的 TN、TP 的分析表明,4 种植物不同组织的 TN、TP 差异较大,且 TN 含量普遍较高(图 3)。由图 3 可知,4 种植物组织的 TN,均以叶中含量最高,尤其是芦苇叶,高达 27.47 mg/g,茅草叶也较高为 17.39 mg/g;其次是植物的根,这些地下部分的 TN 也相对较高,茅草根达到 9.91 mg/g,芦苇根为 8.71 mg/g;植物的茎中 TN 含量最低,芦苇、黄蒿茎的 TN 分别为 2.36, 2.44 mg/g。4 种植物组织的 TP,除黄蒿外仍以叶中含量最高,尤其是茅草叶达 7.35 mg/g,芦苇叶为 3.43 mg/g;其次是根和茎,黄蒿等草本植物的根、茎的 TP 基本在 2~3 mg/g 之间,香蒲等挺水植物的根、茎部



距离湖泊较近,处于可能被淹没的区域,表层土壤周期性的水淹和冲洗,会带走一部分磷素,使其表层含量最低。总之,土壤对磷的吸附能力以及成土母质全磷含量是形成该垂直分布格局的原因。此外,剖面间的差异可能还与植被覆盖、干湿交替作用等有关。

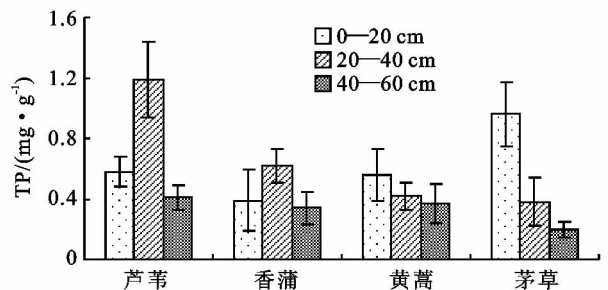
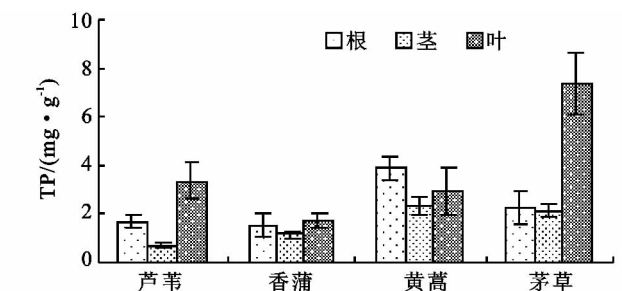


图3 骆马湖滨岸带植物氮磷含量

不同植物对不同营养元素的吸收与积累具有选择性。同时,植物对于不同化学元素的选择性吸收还表现在,植物的不同组织器官对不同营养元素的吸收富集能力方面。有研究认为,由于水生植物利用发达的根系吸收水中的营养盐等物质,对富营养化水体起到明显的净化作用,进而达到净化水体的目的<sup>[16]</sup>。也有研究发现,水生植物除了利用发达的根系吸收水中的营养物质外,茎叶也可能是吸收氮磷等营养元素的重要器官<sup>[17]</sup>。植物各组织营养元素含量有所差异主要受不同器官的结构和功能影响<sup>[18]</sup>。比如植物的

分对 P 的吸收能力普遍较弱,而且草本植物的 TP 含量高于挺水植物。

对 4 种植物氮、磷含量的分析还发现,芦苇和茅草全株 TN 较高,分别为 12.85, 12.18 mg/g,对 N 有较强的吸收和同化作用;而且黄蒿和茅草全株 TP 较高,分别为 3.03, 3.90 mg/g,对 P 的吸收和同化量也较大;但香蒲全株 TN、TP 最低,分别为 5.49, 1.45 mg/g,对 N、P 的吸收和同化量较小。植物叶部 TN 含量远大于根部,可见植物叶部对滨岸带土壤中的 N 具有显著的吸收与固定作用;而除黄蒿根部 TP 含量大于叶部外,其他植物 TP 含量均为叶部大于根部,因此植物组织对 P 的吸收固定作用与植物种类有关,但总体上受叶部影响较大。



叶片是植物光合作用的载体,也是植物新陈代谢最为旺盛的部分。而茎和根中的营养元素含量比较低,主要是由于营养输出的关系。草本植物和挺水植物的氮磷含量有所差异,具体表现在草本植物的根吸收能力普遍较强,而挺水植物的根吸收能力差异较大。

不同植物对氮磷的吸收富集效应的差异可以通过植物干生物量中的氮磷比来体现。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,它一方面可以反映植被的结构和功能特征,另一方面也可以反映群落水平的营养限制状况<sup>[19-20]</sup>。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<sup>[21]</sup>。骆马湖滨岸缓冲带四种植物的氮磷比范围为 2.88~6.98,表明采样区域营养盐水平为磷过剩而氮偏低,处于氮限制状况,四种植物中以芦苇的总氮含量最大,这是由于湿地水生植物芦苇体内的营养物质主要来源于水体和沉积物。

### 2.4 骆马湖滨岸带植物与土壤氮磷含量相关性分析

植物的氮磷含量与土壤氮磷含量关系密切。由表 3 可以看出,植物叶、茎、根等组织的 TN、TP 与土壤各层 TN、TP 相关系数差异较大。植物的叶与土壤表层、次表层及 0—60 cm 土层的 TN 显著正相关(相关系数分别为: $r=0.914, P<0.05$ ;  $r=0.922, P<0.05$ ;  $r=0.922, P<0.05$ ),植物的茎、根与土壤各层 TN 的相关性均不显著;植物叶与土壤表层 TP 极显著正相关( $r=0.995, P<0.01$ ),植物茎与土壤次表层 TP 显著负相关( $r=-0.895, P<0.05$ ),植物根与土壤各层 TP 的相关性均不显著。

表 3 骆马湖滨岸带植物氮磷与土壤氮磷含量相关系数					
项目	土层深度/cm	植株	叶	茎	根
TN	0—20	0.568	0.914 *	—0.417	0.234
	20—40	0.663	0.922 *	—0.114	0.216
	40—60	0.549	0.698	0.196	0.037
	0—60	0.629	0.922 *	—0.197	0.194
TP	0—20	0.884	0.995 * *	0.483	0.125
	20—40	—0.645	—0.341	—0.895 *	—0.562
	40—60	—0.725	—0.829	—0.536	0.027
	0—60	—0.252	0.078	—0.684	—0.448

注: \* 表示 0.05 水平显著, \*\* 表示 0.01 水平显著。

## 3 结论

(1) 滨岸缓冲带的近滨、前滨、后滨分别生长着芦苇、香蒲、茅草和黄蒿等植物群落,随着离湖距离的增加,由水生植物向耐旱植物过渡。

(2) 植物群落区 TN、TP 和无草区 TN、TP 差异显著,说明植物群落区的土壤氮、磷富集效果更好。

(3) 不同植物群落落地土壤各层 TN、TP 差异显著,芦苇群落土壤表层(0—20 cm)中的 TN 最高,为 2.96 mg/g,芦苇群落土壤次表层(20—40 cm)中的 TP 最高,为 1.19 mg/g;土壤各层 TN 以表层最高,且由表层向下逐渐降低;土壤各层 TP 表现出两种不同的变化特征,黄蒿、茅草群落土壤各层由表层向下逐渐降低,而芦苇、香蒲群落土壤各层表现为次表层>表层>第三层。

(4) 不同湿地植物的根、茎、叶等组织的 TN、TP

差异较大,且对磷素的吸收量远远小于氮素。在植物的不同组织中,叶的 TN、TP 最高,其中芦苇叶 TN 高达 27.47 mg/g,茅草叶 TP 最高为 7.35 mg/g,其次是根和茎。

(5) 植物组织氮磷含量与土壤氮磷含量关系密切。植物叶 TN 与土壤表层、次表层的 TN 显著正相关,植物叶 TP 与土壤表层 TP 极显著正相关,植物茎 TP 与土壤次表层 TP 显著负相关。植物利用根、茎、叶等吸收营养物质以及不同植物对氮、磷的吸收机理还有待于进一步研究。

### 参考文献:

[1] Robles-Diaz-de-Leon L, Kangas P. Evaluation of potential gross income from non-timber products in a model riparian forest for the Chesapeake Bay Watershed[J]. Agro. Forestry Systems,1999,44(2/3):215-225.

[2] 张建春,彭补拙. 河岸带研究及其退化生态系统的恢复与重建[J]. 生态学报,2003,23(1):56-63.

[3] 诸葛亦斯,刘德富,黄任铃. 生态河流缓冲带构建技术初探[J]. 水资源与水工程学报,2006,17(2):63-67.

[4] 邓红兵,王青春,王庆礼,等. 河岸植被缓冲带与河岸带管理[J]. 应用生态学报,2001,12(6):951-954.

[5] Delgado D A, Eugenio P, Viquira F F. Vegetated filter strips for waste water purification: a review[J]. Biore-source Technology,1995,51(1):13-22.

[6] 郭彬,汤兰,唐莉华,等. 滨岸缓冲带截留污染物机理和效果的研究进展[J]. 水土保持研究,2010,17(6):257-262.

[7] 郭晓明,马腾,陈柳竹,等. 污水灌溉区土壤肥力及酶活性特征研究[J]. 生态环境学报,2012,21(1):78-83.

[8] 付必谦. 生态学实验原理与方法[M]. 北京:科学出版社,2006.

[9] 常会庆,王世华,徐晓峰,等. 两种水生植物对重富营养化水体修复效果研究[J]. 水土保持研究,2012,19(5):262-265.

[10] 南楠,张波,李海东,等. 洪泽湖湿地主要植物群落的水质净化能力研究[J]. 水土保持研究,2011,18(1):228-232.

[11] 李秀珍,肖笃宁,胡远满,等. 湿地养分截留功能的空间模拟: II. 模型的完善和应用[J]. 生态学报,2002,22(4):486-495.

[12] Xie Y H, Yu D, Ren B. Effects of nitrogen and phosphorus availability on the decomposition of aquatic plants[J]. Aquatic Botany,2004,80(1):29-37.

[13] 崔保山,杨志峰. 湿地生态系统模型研究进展[J]. 地球科学进展,2001,16(3):352-355.

[14] 赵磊. 南矾山湿地典型群落植物—土壤系统 N、P 转化[D]. 南昌:南昌大学,2008.

含量高于精河河下游河岸带土壤,但就两河下游河岸带土壤养分的总体评价而言,二者养分含量均较低,这可能与研究区常年受到阿拉山口大风影响,大量的盐尘降落在此处,致使土壤盐渍化加剧关系密切。此外,两河上游是农业生产区,人为干扰也可能是土壤养分较低的重要原因之一。

#### 参考文献:

- [1] 毋兆鹏. 博尔塔拉河、精河流域绿洲土壤异质性及其驱动力研究[J]. 土壤通报, 2010, 41(1): 81-86.
- [2] 古丽格娜·哈力木拉提, 木合塔尔·吐尔洪, 于坤, 等. 喀什葛尔河流域盐渍化土壤盐分特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(1): 169-173.
- [3] 孔红岭, 孙明高, 孔艳菊, 等. 盐分、干旱及其交叉胁迫对皂角幼苗生长性状的影响[J]. 中南林业科技大学学报: 自然科学版, 2007, 27(1): 55-59.
- [4] 张勃, 孟宝, 郝建秀, 等. 干旱区绿洲荒漠带土壤盐异质性及生态环境效应研究[J]. 中国沙漠, 2006, 26(1): 81-84.
- [5] 钱亦兵, 周华荣, 赵锐锋, 等. 塔里木河中下游湿地及其周边土壤理化性状的空间异质性[J]. 水土保持学报, 2005, 19(6): 31-34.
- [6] 胡江玲, 张高, 赵枫, 等. 新疆精河流域不同土地利用方式对土壤质量的影响[J]. 水土保持研究, 2010, 17(4): 92-99.
- [7] 杨晓梅, 程积民, 孟蕾, 等. 子午岭不同林地土壤有机碳及养分储量特征分析[J]. 水土保持研究, 2010, 17(3): 130-134.
- [8] 腊贵晓, 顾怀胜, 刘国顺, 等. 喀斯特地区烟田土壤养分的空间变异特征[J]. 水土保持研究, 2012, 19(3): 48-53.
- [9] 傅德平, 袁月, 昌光辉, 等. 艾比湖湿地植物群落特征与土

壤环境关系研究[J]. 江西农业学报, 2008, 20(5): 106-109.

- [10] 钱亦兵, 蒋进, 吴兆宁. 艾比湖地区土壤异质性及其对植物群落生态分布的影响[J]. 干旱区地理, 2003, 26(3): 217-222.
- [11] 徐欢欢, 曾从盛, 王维奇, 等. 艾比湖湿地土壤有机碳垂直分布特征及其影响因子分析[J]. 福建师范大学学报: 自然科学版, 2010, 26(5): 86-91.
- [12] 秦璐, 傅德平, 杨军, 等. 艾比湖湿地自然保护区典型群落土壤理化性质分析[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(8): 144-151.
- [13] 谢正宇, 李文华, 谢正君, 等. 艾比湖湿地自然保护区生态系统服务功能价值评价[J]. 干旱区地理, 2011, 34(3): 532-540.
- [14] 孙丽, 高亚琪. 新疆艾比湖流域耕地面积变化对艾比湖湖面面积的影响分析[J]. 广西农业科学, 2010, 41(8): 848-852.
- [15] 李新琪, 朱海涌. 新疆艾比湖流域平原区景观土壤属性特征研究[J]. 新疆环境保护, 2009, 31(3): 10-14.
- [16] 杨晓东, 傅德平, 袁月, 等. 新疆艾比湖湿地自然保护区主要植物的种间关系[J]. 干旱区研究, 2010, 27(2): 249-256.
- [17] 弥艳, 常顺利, 师庆东, 等. 农业面源污染对丰水期艾比湖流域水环境的影响[J]. 干旱区研究, 2010, 27(2): 278-283.
- [18] 吐尔逊·吐尔洪, 吉力力·阿不都外力, 阿克拜尔·依拉洪, 等. 艾比湖盐尘对植物生理性状的影响[J]. 干旱区研究, 2009, 26(4): 533-542.
- [19] 毛吉旦木·地力夏提, 王勇辉, 海米提·依米提. 博、精河下游河岸带土壤速效养分空间异质性分析[J]. 水土保持研究, 2012, 19(6): 19-28.

(上接第42页)

- [15] 王庆改, 白军红, 张勇, 等. 湿地植物对土壤生态系统中氮含量变化的响应[J]. 水土保持研究, 2007, 14(4): 164-167.
- [16] 唐述虞, 陈建国, 史建文. 凤眼莲在炼油废水中的生长及其净化作用[J]. 环境科学, 1996, 17(1): 44-46.
- [17] Anderson J M, Lneson P, Huish A C. Nitrogen and cation mobilization by soil fauna feeding on leaf litter and soil organic matter from deciduous wood lands[J]. Soil Biol. Biochem., 1983, 15(4): 463-467.
- [18] Royle R N, King R J. Aquatic macrophytes in Lake Liddell, New South Wales: biomass, nitrogen and phosphorus status, and changing distribution from

1981 to 1987[J]. Aquatic Botany, 1991, 41(4): 281-298.

- [19] Gusewell S, Koerselman W. Variation in nitrogen and phosphorus concentrations of wetland plants[J]. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, 2002, 5(1): 37-61.
- [20] Gusewell S. N:P ratios in terrestrial plants: variation and functional significance[J]. New Phytologist, 2004, 164(2): 243-266.
- [21] Koerselman W, Meuleman A F M. The vegetation N:P ratio: a new tool to detect the nature of nutrient limitation[J]. Journal of Applied Ecology, 1996, 33(6): 1441-1450.