

ISSN 0564-3929

Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao

土壤学报

第五十二卷

第一期

二〇一五年一月

科学出版社



中国土壤学会
科学出版社

主办
出版

2015

第52卷 第1期

Vol.52 No.1

《土壤学报》编辑委员会

主 编: 史学正

执行编委: (按姓氏笔画为序)

丁维新	巨晓棠	王敬国	王朝辉	史 舟	宇万太	朱永官
李永涛	李芳柏	李保国	李 航	吴金水	沈其荣	张玉龙
张甘霖	张福锁	陈德明	邵明安	杨劲松	杨明义	杨林章
林先贵	依艳丽	周东美	周健民	金继运	逢焕成	胡 锋
施卫明	骆永明	赵小敏	贾仲君	徐国华	徐明岗	徐建明
崔中利	常志州	黄巧云	章明奎	蒋 新	彭新华	雷 梅
窦 森	廖宗文	蔡祖聪	蔡崇法	潘根兴	魏朝富	

编辑部主任: 陈德明

责任编辑: 汪枏生 卢 萍 檀满枝

土 壤 学 报

Turang Xuebao

(双月刊, 1948 年创刊)

第 52 卷 第 1 期 2015 年 1 月

ACTA PEDOLOGICA SINICA

(Bimonthly, Started in 1948)

Vol. 52 No. 1 Jan., 2015

编 辑 《土 壤 学 报》编 辑 委 员 会
地址: 南京市北京东路 71 号 邮政编码: 210008
电话: 025 - 86881237
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

Edited by Editorial Board of Acta Pedologica Sinica
Add: 71 East Beijing Road, Nanjing 210008, China
Tel: 025 - 86881237
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

主 编 史 学 正
主 管 中 国 科 学 院
主 办 中 国 土 壤 学 会
承 办 中国科学院南京土壤研究所

Editor-in-Chief Shi Xuezheng
Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Soil Science Society of China
Undertaken by Institute of Soil Science,
Chinese Academy of Sciences

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

印刷装订 北京中科印刷有限公司
总 发 行 科 学 出 版 社
地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717
电话: 010 - 64017032
E-mail: journal@mail.sciencep.com

Printed by Beijing Zhongke Printing Limited Company
Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China
Tel: 010 - 64017032
E-mail: journal@mail.sciencep.com

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

国内统一刊号: CN 32-1119/P

国内邮发代号: 2-560

国外发行代号: BM45

定价: 60.00 元

国 内 外 公 开 发 行



ISSN 0564-3929



0 1 >

9 770564 392156

鄱阳湖洲滩湿地土壤-水-植物系统中磷的 静态迁移研究*

徐 进^{1,2} 徐力刚^{2†} 丁克强¹ 龚 然¹

(1 南京工程学院环境工程学院, 南京 211167)

(2 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室, 南京 210008)

摘 要 通过采集鄱阳湖典型洲滩湿地土壤和植物来开展磷的静态迁移模拟实验,研究了鄱阳湖洲滩湿地土壤-水-植物系统对磷的吸收、释放及转移规律,并对静态实验前后,不同形态磷素在系统中的迁移量进行了监测。在此基础上,利用 Freundlich 模型和 Langmuir 模型对鄱阳湖洲滩湿地土壤基质对磷的吸附解吸特性进行了一元线性回归分析。结果表明:磷素不断从土壤和水体中释放出来,被植物大量的吸收。在培育之前,植物体内磷含量为 1.0 mg g^{-1} ,水样磷浓度为 2.3 mg L^{-1} ;而试验后植物体内磷含量为 2.1 mg g^{-1} ,水样磷浓度为 0.062 mg L^{-1} 。随着植物根系的生长,对磷素需求不断变大。直至试验进行到 28d 时,植物体内的磷素含量趋于恒定。同时,由土壤磷分级试验可看出,试验前后 Al-P 含量变化较小, Ca-P 含量略有增加, Fe-P 含量增幅较大。相对于 Freundlich 模型而言,采用 Langmuir 模型对湿地土壤基质对磷的吸附过程进行模拟相关性更好。该研究成果旨在为防治湖泊水体污染、开展湿地污染物的环境效应研究提供科学的理论依据。

关键词 土壤;植物;磷;洲滩湿地;鄱阳湖

中图分类号 X524 **文献标识码** A

湖滨湿地对污染物磷入湖前的截留主要通过植物吸收、土壤吸附和沉淀、微生物固定等作用来实现^[1]。在湿地植物对磷的吸收方面,学者开展了大量研究,自然湖滨植被带能大幅度降低进入河湖水系的磷营养物质^[2-3]。戴莽等^[4]发现在富营养化较为严重的武汉东湖,不同植物的修复会使水体营养盐显著降低。Brix^[5]研究表明,一些水生植物对磷的吸收蓄积能力可达 $3 \sim 5 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ 。磷在植物体内的分配和积累过程,与植物种类、土壤构造、气候等多种因素有关。植物对磷的吸收蓄积能力因植物种类及季节不同而变化。Adcock 和 Ganf^[6]发现水麦冬 (*Triglochin palustre*) 具有明显发达的根系和较高的地下生物量,对磷的去除效果是芦苇 (*Phragmites communis*) 的 5 倍。Reddy 和 Debusk^[7]发现夏季风眼莲 (*Eichhornia crassipes*) 对磷的去除效果较好,而水鳖在冬季对污染水体磷的净化效果较好。王国祥等^[8]利用镶嵌组合植物群落(由挺水、

浮叶、沉水植物为优势种的斑块小群落构成)控制湖泊饮用水区藻类以及氮磷污染,发现漂浮植物及沉水植物对磷的吸收效果差,而挺水植物庞大的根系植于底泥中,可从底泥中直接吸收沉积的磷。虽然对植物吸收磷的能力持有不同的观点,但植物生长对磷的去除是有益的,这是不争的事实。因为无论是漂浮、浮叶、沉水植物还是挺水植物,其根区系统能有效吸附截留水中的悬浮物和颗粒状磷,促进磷的沉降。不仅如此,植物向湿地传输氧气,其传输的量取决于植物的种植密度和根区的氧分压^[9]。这不仅可满足植物在无氧环境中的呼吸需要,而且能够为根区的好氧、兼性和厌氧微生物提供各自适宜的小环境^[10]。

在湿地土壤-水-植物系统中,土壤中磷的形态特征及其分布和转化还受到土壤类型、环境条件的影响。沉积物是湖泊营养的内负荷,沉积物磷的释放是湖泊水体磷的重要来源之一。在外源营养负

* 国家重点基础研究发展计划项目(2012CB417005)、国家自然科学基金项目(41101465,41371121,41271329)、中国科学院支持全国科学院联盟建设专项重大项目和江西省科技支撑项目(20122BBG70160)资助

† 通讯作者, E-mail: lgxu@niglas.ac.cn

作者简介:徐 进(1979—),女,博士,副教授,主要研究领域为水污染控制与生态修复。E-mail:xujin100408@163.com

收稿日期:2014-02-17;收到修改稿日期:2014-06-19

荷得到控制的条件下,内源性磷向水体的释放对于促成湖泊二次富营养化的发生具有重要的作用。湿地中的磷在水体动态过程中持续不断地沉降到底泥中^[11],同时部分磷素又通过解吸、分解等作用而释放到底泥间隙水中,后释放到上覆水体,因此湿地沉积物与上覆水之间存在着磷素的动态平衡。

在湿地系统中,植物、土壤和水并不是孤立的,而是相互影响和相互促进、共同作用的。土壤支撑着湖滨湿地动植物和微生物的生命过程,基质性状的任何改变均可能影响生物的生长发育,从而影响它们的净化效果;植物的输氧作用则使污染物质在好氧及厌氧交替的环境中被微生物降解。对于磷素在湖滨湿地土壤-水-植物系统中的迁移,前人分别针对于植物吸收及土壤影响两方面开展了大量研究,对磷在三者之间的归趋行为缺乏系统的研究。

鄱阳湖是我国第一大淡水湖,位于江西省北部,介于东经 115°49′~116°46′E,北纬 28°11′~29°51′N,流域面积为 $1.6 \times 10^5 \text{ km}^2$,是长江流域仅有的两个通江湖泊之一,年均入江水量达 $1.45 \times 10^{11} \text{ m}^3$,形成了完整的鄱阳湖水系和湖泊洲滩湿地植被景观。鄱阳湖是一个吞吐型湖泊,其水位受五河入湖水量和长江水位顶托双重影响,无论年内还是年际间,水位变幅巨大,最大年变幅为 9.59~15.36 m,最小变幅为 3.80~9.79 m。正是由于鄱阳湖水位的这种巨大变幅,形成了鄱阳湖汛期“洪水茫茫一片水连天”,枯期“湖水沉沉一线滩无边”

的独特湿地生态景观。鄱阳湖湖滨湿地在涵养水源、调蓄洪水、调节气候、降解污染方面发挥着重要的作用,同时其所具有的极其丰富湿地植被资源,在控制侵蚀、保护土壤和营养物质循环以及为生物提供栖息地等方面发挥了巨大的生态服务功能^[12-14]。本文通过采集鄱阳湖典型洲滩湿地土壤和植物来开展静态迁移模拟实验,研究鄱阳湖湿地土壤-水-植物系统对磷的吸收、释放及转移规律;并且对静态实验前后,土壤、植物系统中不同磷形态的测定,分析不同形态磷在系统中的迁移与分配,以此分析植物、土壤对磷的吸收能力,以及磷素在水、土壤和植物三者间的迁移过程,阐明鄱阳湖湖滨湿地土壤-水-植物系统中磷的迁移过程与归趋机制。

1 材料与方法

1.1 供试土壤与植物

于鄱阳湖典型洲滩湿地采集 0~30 cm 表层底泥,同时采集相应的上覆水带回实验室。试验植物种类选取睡莲。将采集回来的睡莲(*Nymphaea trag-ona*)移入清水中,让其恢复迁移过程中受损的根系。底泥样品置于阴凉通风处自然风干后碾磨,过 100 目筛,密封避光保存待分析。底泥样品基本理化性质分析:pH、含水率(称重法)、全磷等;底泥磷素形态分级(铁磷、钙磷、铝磷)^[15],结果见表 1。

表 1 表层底泥的理化性质
Table 1 Physico-chemical properties of the surface sediment

质地 Texture	pH	含水量 Soil water content (%)	全磷 Total phosphorus (mg kg ⁻¹)	铁磷 Fe-P (mg kg ⁻¹)	钙磷 Ca-P (mg kg ⁻¹)	铝磷 Al-P (mg kg ⁻¹)
粉砂壤 Silt loam	7.3	1.62	25.50	0.19	7.46	2.10

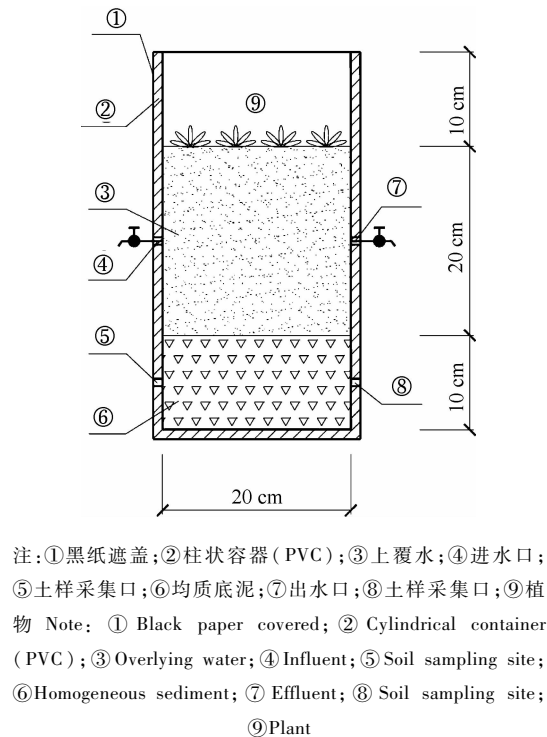
1.2 试验装置

静态模型装置为一内径 20 cm,高 40 cm,下端封口的 PVC 柱状容器,外面覆盖黑纸以避光。装置内加入等量过 100 目筛的均质底泥至 10 cm 高度,同时称重底泥质量。将湖水在不扰动底泥的前提下缓慢注入实验柱中,灌注至水深 20 cm,于 25℃ 避光静置培养,如图 1。

1.3 试验设计

将睡莲放入模型装置中。分别于第 3、6、9、16、

23、28、35、42 天于水土界面 3 cm 处采集上覆水水样,分析磷素浓度,测定方法见《水和废水监测分析方法》^[16]。每次采样后补充相同体积的试验湖水;同时采集土壤、植物样品,分析磷素含量。试验结束后,小心采集表层 1~2 cm 底泥进行磷素分级测定,测定铁磷、钙磷、铝磷的含量,探讨土壤中各形态磷的迁移变化量。上覆水起始磷素浓度为 2.3 mg L^{-1} (即水体磷浓度的本底值)。特别要说明的是:由于鄱阳湖水体中磷浓度为 1.0 mg L^{-1} ,规



注:①黑纸遮盖;②柱状容器 (PVC);③上覆水;④进水口;
⑤土样采集口;⑥均质底泥;⑦出水口;⑧土样采集口;⑨植
物 Note: ① Black paper covered; ② Cylindrical container
(PVC); ③ Overlying water; ④ Inlet; ⑤ Soil sampling site;
⑥ Homogeneous sediment; ⑦ Effluent; ⑧ Soil sampling site;
⑨ Plant

图 1 静态试验装置图

Fig. 1 Sketch of the device for the static experiment

律性不明显,为保证试验效果良好,将磷浓度放大 2 倍左右进行研究。

溶解 KH_2PO_4 于 $0.01\text{ mol L}^{-1}\text{ KCl}$ 溶液中,组成标准系列,磷浓度梯度分别为 2、4、8、16、24、32、40 mg L^{-1} 。分别称取风干土样 1 g,加入 7 支离心管中,然后分别加入 20 ml 磷标准溶液,每管中滴加 2 滴氯仿,防止微生物作用。各离心管加盖密封,于恒温振荡器上振荡 24 h,待平衡后,静置 1 h,于 $3\,500\text{ r min}^{-1}$ 下离心 10 min,测定全磷含量。

1.4 模型方法

利用 Freundlich 模型和 Langmuir 模型对鄱阳湖洲滩湿地土壤基质中磷的吸附进行一元线性回归分析,并对回归方程进行相关性计算。通过变换,两种吸附模型均可转变为线性形式,拟合模型的相关系数 r 反映了模型的适用范围。将 Freundlich 模型两边取对数,即变为线性方程形式:

$$\lg F_p = 1/n \lg C + \lg K \tag{1}$$

式中, F_p 为磷在土壤基质上的吸附量, mg kg^{-1} ; K 为平衡吸附常数; C 为吸附平衡时溶液中磷的浓度, mg L^{-1} ; n 为常数。

将 Langmuir 模型转变为:

$$C/F_p = 1/(S_m K) + C/S_m \tag{2}$$

$$1/F_p = 1/(S_m K) (1/C) + 1/S_m \tag{3}$$

式中, S_m 为基质对磷的最大吸附量, mg kg^{-1} ; C 为

吸附平衡时溶液中磷的浓度, mg L^{-1} ; K 为平衡吸附常数。

以 C/F_p 对 C 作图或以 $1/F_p$ 对 $1/C$ 作图,根据最小二乘法原理对其进行一元线形拟合,根据斜率和截距可求出吸附常数 K 。

2 结果与讨论

2.1 土壤-水-植物系统中磷素迁移转化过程

2.1.1 土壤磷素变化 图 2 为土壤-水-植物系统中的土壤磷素随时间的变化量。沉积物与上覆水之间磷含量的变化实质上是吸附与解吸的静态平衡过程。图中,土壤磷背景值为 25.5 mg kg^{-1} ,试验过程中其平均磷浓度为 9.8 mg kg^{-1} 。图 2 中可看出,试验初期,土壤磷含量迅速下降,3d 内土壤磷含量从 25.5 mg kg^{-1} 下降至 11.5 mg kg^{-1} ,此时土壤中的磷大量释放至上覆水中。这是由于试验开始阶段,上覆水磷浓度较低,水-土界面处磷浓度梯度相差较大,土壤中的磷迅速扩散至水中。随后的试验中,土壤磷浓度变化幅度不大,在 $7.8 \sim 11.5\text{ mg kg}^{-1}$ 之间。试验进行至 16 ~ 23 d 时,磷素下降坡度较大,且对应的图 3 中上覆水的磷素也在下降。说明该时期,植物生长状态良好。沉积物对磷的吸附-解吸过程,与土壤中磷素的形态相关,土壤中的磷只是被吸收和停留在土壤的表面,此外这种吸附沉淀反应是可逆的。土壤磷素主要是以无机态的正磷酸盐为主,当土壤中出现利于钙、铁、铝等不溶性磷酸盐溶解的条件时,磷将从沉积物中解吸出来进入间隙水中,再逐步扩散至水-土界面,进而扩散至上覆水中。

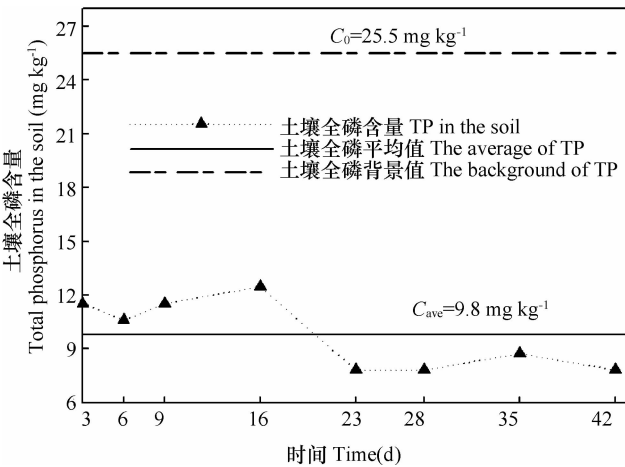


图 2 土壤全磷含量变化趋势

Fig. 2 Variation of total phosphorus content in the soil

2.1.2 上覆水磷素变化 图 3 为土壤-水-植物系统中上覆水的磷素变化过程。图中,上覆水磷背景值为 2.3 mg L^{-1} ,试验过程中其平均磷浓度为 0.7 mg L^{-1} 。试验初期,在 $1\sim9\text{ d}$ 释放较为平缓,上覆水磷浓度从 1.7 mg L^{-1} 下降至 1.4 mg L^{-1} ,平均每天减少的磷浓度不到 0.05 mg L^{-1} ;在 $9\sim16\text{ d}$,曲线下滑坡度变大,上覆水磷浓度减少至 0.5 mg L^{-1} 。随后 $16\sim35\text{ d}$,曲线变缓,上覆水磷浓度从 0.5 mg L^{-1} 减少至 0.08 mg L^{-1} ; $35\sim42\text{ d}$,上覆水磷浓度基本未变化,水-土界面磷浓度基本达到平衡。

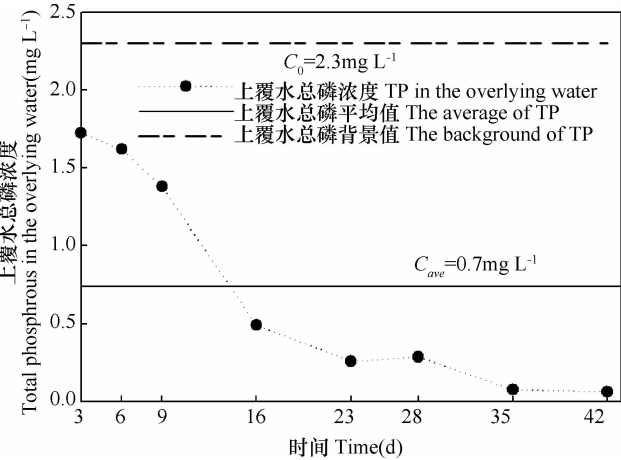


图 3 上覆水总磷浓度变化趋势

Fig. 3 Variation of total phosphorus concentration in the overlying-water

2.1.3 植物磷素变化 图 4 为土壤-水-植物系统中植物的磷素变化过程。植物磷背景含量为 1.6 mg g^{-1} ,试验过程中其平均含量为 1.0 mg g^{-1} 。随着植物的生长,植物对磷的吸收能力逐渐增强。试验过程中,植物磷含量是逐渐升高的,表明植物吸收了生命所需的磷元素,植物体生物量明显递增。水体和土壤含磷量变化曲线呈下降趋势,说明随着湿地植被的生长,植物吸收磷的效果很明显,植物的磷素含量在 $28\sim42\text{ d}$ 趋于平缓,植物体内的磷素含量慢慢趋向恒定。

结合图 2~图 4 可以看出,植物生长初期($1\sim9\text{ d}$),正处于生长发育阶段,此时生物量较小,幼小的植物根系不发达,吸收能力不明显,系统净化污水的作用无法完全体现出来,土壤磷在该阶段以吸附为主;当试验运行至较成熟阶段时(大约 $10\sim40\text{ d}$),水体中磷浓度下降速度由较缓至加速,而土壤中的磷含量先降低后上升,植被生长情况良好,相应水生植物的生物量也逐渐变大,上覆水中磷素含浓度有了明显的下降,水生植物在污水处理中的作用得到了充分的体现。由此可见,水生植物在植

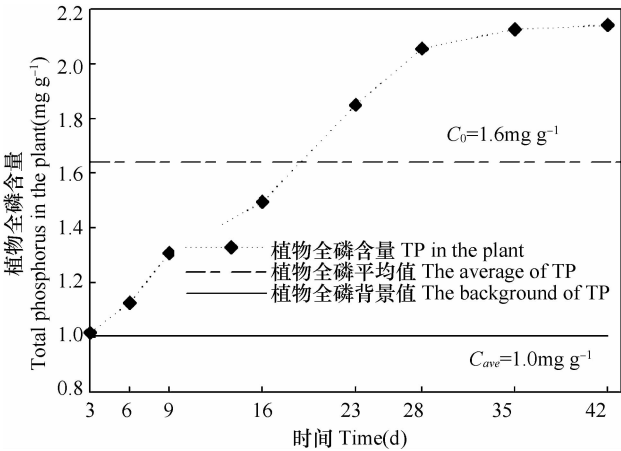


图 4 植物全磷含量变化趋势

Fig. 4 Variation of total phosphorus content in the plants

物-水体-土壤这三者系统中吸附磷的能力是较强的。磷素的超标预示着水体富营养化的开始,故磷素在上覆水体中浓度的降低也折射出水生植被对于水体富营养化具有治理和防治效果。此外,水生植被在湿地污水净化处理中起着十分重要的作用。为了植物良好的生长,定期向水生系统中加入营养液,植物自身能吸收一部分营养物质,同时在它的根际部位聚集着微生物,这也为降解一些营养物质提供了必要的场所和好氧厌氧条件。

2.1.4 土壤-水-植物系统中磷素的变化 试验初期,土壤和上覆水中的磷含量均有所下降, 3 d 内土壤磷含量下降幅度较大,土壤中的磷部分释放至上覆水中(图 2~图 3);由于是静态模拟试验,因此虽然土壤磷释放至上覆水中,水体交换较慢,但是上覆水中磷仍然呈现下降的趋势,只有局部靠近土壤表面的水层磷浓度可能有所升高;此时植物中磷含量保持快速上升趋势,植物根系扎在土壤中,土壤中的磷部分转移至植物体。当试验运行至中后期阶段,水体中磷浓度下降渐缓,此时植物生长良好,磷增加量也随之渐缓,土壤磷含量基本未变化,土壤-水-植物系统中磷素达到了平衡(图 4)。

2.2 静态迁移前后土壤磷分级及植物磷含量

2.2.1 土壤磷素变化 底泥中磷的吸收与释放与磷的沉淀形态有着直接的关系。磷一般以有机磷、铝磷(Al-P)、铁磷(Fe-P)和钙磷(Ca-P)形态存在。静态试验前后土壤中不同形态磷含量变化如图 5。由图中可看出,试验前后土壤中 Fe-P 含量较多,Ca-P、Al-P 含量较少。其中,Al-P 含量极低,从试验前 0.020 mg kg^{-1} 减少至试验后 0.016

mg kg⁻¹, 试验前后含量变化较小; Ca - P 含量略有增加, 从 0. 202 mg kg⁻¹ 增加至 0. 239 mg kg⁻¹; Fe-P 含量增幅较大, 试验前为 0. 746 mg kg⁻¹, 试验后为 0. 862 mg kg⁻¹。其中, Ca-P 增加可能是在表面形成难溶的羟基磷酸钙, Fe-P 略有增加则可能是在植物生长过程中氧化还原电位增加导致的。Al-P 降低主要是通过水解, 而被沉水植物吸收; 随着沉水植物的生长, 根系的逐渐发达, 水生植物将氧气输送至根区, 使植物根区的还原态介质形成了氧化态的微环境, 这种根区有氧区域和缺氧区域的共同存在为根区的好氧、兼性和厌氧微生物提供了不同适宜的小生境, 各种微生物共同作用加速了沉积物中有机磷向无机磷的转化, 不溶性磷向可溶性磷的转化。

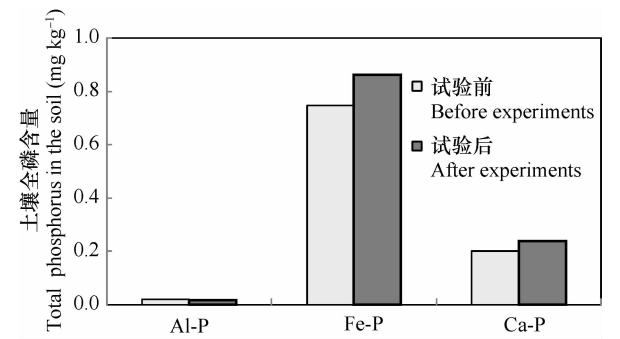
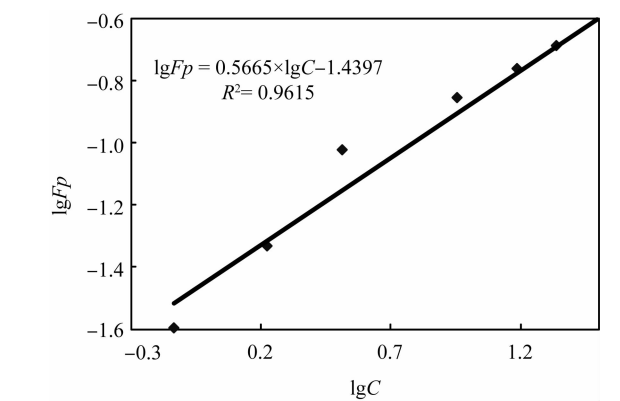


图 5 试验前后土壤中各形态磷变化
Fig. 5 Forms of phosphorus in the soil before and after the experiment



注: C: 吸附平衡浓度, mg L⁻¹; Fp: 吸附量, μg g⁻¹
Note: C: Adsorption equilibrium concentration, mg L⁻¹;
Fp: Adsorption rate, μg g⁻¹
图 6 湿地基质对磷的吸附等温曲线
(Freundlich 模型)

Fig. 6 Adsorption isotherm of phosphorus on the wetland soils
(Freundlich model)

2. 2. 2 植物磷素变化 在水-土壤系统中种入植被后, 植被体内的磷含量大幅增加, 由试验前的 1. 0 mg g⁻¹ 增加至 2. 1 mg g⁻¹, 表明植物吸收能力明显高于土壤的吸磷效率。在水生植物生长初期, 其植物根系不发达, 植物根区不能为微生物的生存提供必要的场所和好氧厌氧条件, 因此微生物的水质净化功能得不到充分的体现。随着时间的推移, 在后期生长过程中, 睡莲的块根已经深扎在土壤中, 并且须根生长较发达, 其发达的植物根系增强了穿透介质的作用, 这也更大程度地为微生物的生存和降解营养物质提供了必要的场所和好氧条件, 对上覆水中磷素的吸收也有了很大的提高。

2. 3 土壤-水-植物系统中释磷或纳磷过程及其动力描述

利用 Freundlich 模型, 由不同初始浓度下磷的吸附/解吸试验结果, 绘制初始磷浓度随吸附量(解吸量)变化的关系图(见图 6)。由图可见, 在初始磷浓度较低的情况下, 存在着解吸现象; 随着磷浓度的增加, 逐渐进入吸附区。

吸附等温线同样也可由 Langmuir 关系式描述。图 7 是以 Langmuir 吸附模型对试验数据进行模拟的结果。

Langmuir 模型拟合的基质最大吸附量为 0. 26 mg Pg⁻¹, 相关系数为 0. 99, 拟合较好; Freundlich 模型拟合的基质吸附等温线的相关系数为 0. 96。Langmuir 模型更为精确。

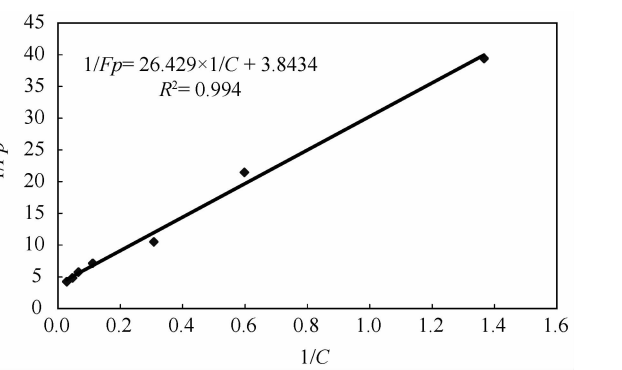


图 7 湿地基质对磷的吸附等温曲线 (Langmuir 模型)
Fig. 7 Adsorption isotherm of phosphorus on the wetland soils
(Langmuir model)

3 结 论

土壤-水-植物系统中,土壤与植物对磷素的吸收能力不同。总体而言,土壤交替的吸磷与释磷,水体中磷素不断减少;植物内磷不断上升。说明随植物根系的生长,植物对磷素需求不断变大,吸磷能力也不断加强。随着试验的持续进行,水体中磷浓度下降渐缓,此时植物磷增加量也随之渐缓,土壤磷含量基本没有变化,土壤-水-植物系统中磷素达到了动态平衡。利用 Langmuir 模型或 Freundlich 模型进行吸附拟合表明,在初始磷浓度较低的情况下,存在着解吸现象;随着磷浓度的增加,逐渐进入吸附区。磷素在植物-水体-土壤迁移是一个复杂的过程,本论文只做了静态模拟试验,以及试验前后磷分级的变化;但是磷的各种存在形式是多种多样的,磷元素也会随着条件的变化而改变其存在形式。因此,今后还应该研究更多形式磷的转换与迁移规律,才能更全面地探索磷素在三者中的变化趋势。

参 考 文 献

- [1] Inamori R, Wang Y, Yamamoto T, et al. Seasonal effect on N_2O formation in nitrification in constructed wetlands. *Chemosphere*, 2008, 73:1071—1077
- [2] Pant H K, Reddy K R. Phosphorus sorption characteristics of estuarine sediments under different redox conditions. *Journal of Environmental Quality*, 2001, 30:1474—1480
- [3] 刘吉平, 吕宪国, 杨青, 等. 三江平原环型湿地土壤养分的空间分布规律. *土壤学报*, 2006, 43(2):247—255. Liu J P, Lü X G, Yang Q, et al. Soil nutrient distribution of annular wetlands in Sanjiang Plain (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(2):247—255
- [4] 戴莽, 倪乐意, 谢平, 等. 利用大型围隔研究沉水植被对水体富营养化的影响. *水生生物学报*, 1999, 23(2):97—101. Dai M, Ni L Y, Xie P, et al. Experimental studies on the effects of submersed macrophytes on the eutrophication of lake water using large-sized enclosures (In Chinese). *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1999, 23(2):97—101
- [5] Brix H. Treatment of wastewater in the rhizosphere of wetland plants-The root-zone Method. *Water Science and Technology*, 1987, 19:107—118
- [6] Adcock P W, Ganf G G. Growth characteristics of three macrophyte species growing in a natural and constructed wetland system. *Water Science and Technology*, 1994, 29(4):95—102
- [7] Reddy K R, Debusk W F. Nutrient removal potential of selected aquatic macrophytes. *Journal of Environmental Quality*, 1985, 14(4):459—462
- [8] 王国祥, 濮培民, 张圣照, 等. 用镶嵌组合植物群落控制湖泊饮用水源区藻类及氮污染. *植物资源与环境*, 1998, 7(2):35—41. Wang G X, Pu P M, Zhang S Z, et al. The purification of mosaic community of macrophytes for eutrophic lake water (In Chinese). *Journal of Plant Resources and Environment*, 1998, 7(2):35—41
- [9] Boon A G. Report of a visit by members and Staff of water resources center to Germany to investigate the root zone method for treatment of wastewaters. Stevenage, England: Water Research Center, 1985
- [10] Brix H. Use of constructed wetland in water pollution control: Historical development, present status and future perspectives. *Water Science and Technology*, 1994, 30(8):209—223
- [11] 裴洪平, 王维维, 何金土, 等. 杭州西湖引水后生态系统中磷循环模型. *生态学报*, 1998, 18(6):648—653. Pei H P, Wang W W, He J T, et al. A phosphorus circulation dynamics model in the ecosystem for the West Lake after drawing, Hangzhou (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 1998, 18(6):648—653
- [12] 李健, 舒晓波, 陈水森. 基于 Landsat-TM 数据鄱阳湖湿地植被生物量遥感监测模型的建立. *广州大学学报:自然科学版*, 2005, 4(6):494—498. Li J, Shu X B, Chen S S. Establishment of wetland vegetation biomass model by in-situ and remote sensing observation in Poyang Lake area (In Chinese). *Journal of Guangzhou University: Natural Science Edition*, 2005, 4(6):494—498
- [13] 简敏菲, 宋玉斌, 倪才英. 鄱阳湖湿地水生生物重金属污染的特性分析. *江西师范大学学报:自然科学版*, 2006, 30(5):504—508. Jian M F, Song Y B, Ni C Y. Analysis and assessment of heavy metal content of aquatic in the wetland of Poyang Lake (In Chinese). *Journal of Jiangxi Normal University: Natural Sciences Edition*, 2006, 30(5):504—508
- [14] 胡振鹏, 葛刚, 刘成林, 等. 鄱阳湖湿地植物生态系统结构及湖水水位对其影响研究. *长江流域资源与环境*, 2010, 19(6):597—605. Hu Z P, Ge G, Liu C L, et al. Structure of Poyang Lake wetland plants ecosystem and influence of lake water level for the structure (In Chinese). *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2010, 19(6):597—605
- [15] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社, 1983. Agro-chemistry Specialty Committee, Soil Science Society of China. General analytical methods of soil and agro-chemistry (In Chinese). Beijing: Science Press, 1983
- [16] 国家环保局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法:第4版. 北京:中国环境科学出版社, 1989. Editorial Board of Monitor and Analytical Methods of Water and Waste Water, State Environmental Protection Administration of China. Monitor and analytical methods of water and waste water (In Chinese). 4th ed. Beijing: China Environmental Science Press, 1989

STATIC TRANSFER OF PHOSPHORUS IN THE SOIL-WATER-PLANT SYSTEM OF BEACH WETLANDS IN POYANG LAKE

Xu Jin^{1,2} Xu Ligang^{2†} Ding Keqiang¹ Gong Ran¹

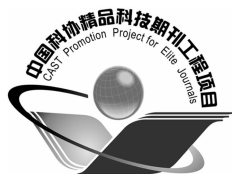
(1 School of Environmental Engineering, Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211167, China)

(2 State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology,
Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract Samples of soil and plants were collected from shoal wetlands in the Poyang Lake for indoor simulation of static transfer of phosphorus in a soil-water-plant system to explore laws of the absorption, release and transfer of phosphorus in the soil-water-plant wetland system of the Poyang Lake. Before and after the experiment, transfer of phosphorus relative to form in the system was analyzed. The experiment device was a cylindrical container of polyvinyl chloride, 10cm in inner diameter and 40cm in height, containing a 10cm thick layer of homogeneous sediment. Water lily was planted in the cylinder. The overlaying water in the cylinder was sampled for and analyzed of phosphorus on D3, D6, D9, D16, D23, D28, D35 and D42 after the experiment began (D day). Meanwhile, soil and plant samples were also collected for analysis of phosphorus concentration. At the end of the experiment, fractionation of phosphorus in the surface layer (1~2cm) was performed, and concentrations of Fe-P, Ca-P and Al-P were determined to explore variation of the transfer of phosphorus relative to form. On such a basis, the Freundlich model and Langmuir model were used to perform one-dimension linear regressive analysis of adsorption and desorption of P in the soil sediment of the shoal wetlands in the Poyang Lake. Results show that phosphorus was released continuously from the soil into the water, and mostly absorbed by plants. Before the experiment, phosphorus concentration was found to be 1.0 mg g^{-1} in the plants and $2.3 \text{ } \mu\text{g ml}^{-1}$ in the overlaying-water, and after the experiment it was 2.1 mg g^{-1} and 0.062 mg L^{-1} , respectively. In the initial period of the experiment, phosphorus concentration in the overlaying water decreased from 1.7 to 1.4 mg L^{-1} , and on D16, it was found to be 0.5 mg L^{-1} , and then it leveled off from D35 and on. During the first 3 days, phosphorus in the soil decreased quickly, from 25.5 to 11.5 mg kg^{-1} . As this was only a static experiment, though part of the phosphorus in the soil was released into the overlaying water, the exchange between the soil and the water was very slow. P concentration in the overlaying water as a whole still displayed a decreasing trend. Only the concentration in the water layer close to the surface of the soil increased somewhat. At that time, phosphorus content in the plants kept rising rapidly. Plant roots grew deep into the soil, facilitating phosphorus transfer from the soil into the plants. With the growth of the plant root systems, plants' demand for P increased. The rising P content in the plant began to level off on D28. The decline of phosphorus content in the overlaying water began to slow down at the mid-later stages of the experiment. At that time, the plants were well developed and phosphorus content in the soil kept almost unchanged, and the phosphorus in the soil-water-plant system reached its equilibrium. Meanwhile, soil phosphorus fractionations before and after the experiment show that the content of Al-P remained almost unchanged, the content of Ca-P increased slightly but the content of Fe-P did by a large margin. The content of Fe-P in the soil was quite high and that of Ca-P and Al-P quite low, either before or after the experiment. Among the three fractions, Al-P was extremely low in content, being 0.020 mg kg^{-1} before the experiment and 0.016 mg kg^{-1} after the experiment, almost unchanged; the content of Ca-P increased slightly from 0.202 to 0.239 mg kg^{-1} ; and the content of Fe-P increased by a large margin from 0.746 to 0.862 mg kg^{-1} . Relative to the Freundlich model, the Langmuir model was better in simulating phosphorus adsorption process in wetland soils. The findings of this study may serve as scientific theoretical basis for management of lake pollution and research on environmental effects of pollutant in wetlands.

Key words Soil; Plants; Phosphorus; Shoal wetland; Poyang Lake

(责任编辑:檀满枝)



综述与评论

农业土壤学研究:侯光炯学术思想形成之考察——纪念侯光炯先生诞辰 110 周年..... 申丽娟 丁恩俊 陈绍兰等(1)

土壤多样性研究趋势与未来挑战 任圆圆 张学雷(9)

土壤磷酸盐氧同位素分析方法和应用研究进展 张 晗 王佳妮 郭庆军等(19)

研究论文

土壤制图中多等级代表性采样与分层随机采样的对比研究 杨 琳 朱阿兴 张淑杰等(28)

河南省典型淋溶土土系划分研究 鞠 兵 吴克宁 李 玲等(38)

黄土坡面细沟侵蚀发育过程与模拟 吴淑芳 刘政鸿 霍云云等(48)

黄土丘陵区小流域土壤有效水空间变异及其季节性特征 高晓东 吴普特 张宝庆等(57)

科尔沁沙丘-草甸相间地区表土饱和和导水率的土壤传递函数研究 孙 丽 刘廷玺 段利民等(68)

砒砂岩风化物对土壤水分特征曲线及蒸发的影响 张 磊 齐瑞鹏 张应龙等(77)

稳定同位素²⁰²Hg 稀释技术测定土壤汞有效性——与化学提取方法比较 郑顺安 徐志宇 王 飞等(87)

土壤提取液中酰基高丝氨酸内酯的气相色谱-质谱检测方法优化 生弘杰 宋 洋 卞永荣等(95)

复合污染土壤中土霉素的吸附行为及其对土壤重金属解吸影响的研究 陈励科 马婷婷 潘 霞等(104)

污染区千金子和酢浆草根际土壤中 PAHs 结合态残留的梯度分布 王意泽 高彦征 彭安萍等(112)

土壤磷解吸特性对菜稻轮作田间渗漏水总磷浓度的影响 章明清 李 娟 孔庆波(120)

湖区小麦-玉米轮作模式下不同施肥措施调控氮磷养分流失研究 谭德水 江丽华 谭淑樱等(128)

鄱阳湖洲滩湿地土壤-水-植物系统中磷的静态迁移研究 徐 进 徐力刚 丁克强等(138)

菇菜套作对土壤微生物群落的影响 陈 敏 王军涛 冯有智等(145)

黄土高原油松根际土壤酶活性及真菌群落多样性研究——以黄龙山林场为例 褚洪龙 李 莎 唐 明(154)

硅介导番茄青枯病抗性的土壤定量蛋白质组学研究 陈玉婷 林威鹏 范雪滢等(162)

有机无机肥配施对红壤旱地花生生理特性、产量及品质的影响 许小伟 樊剑波 陈 晏等(174)

氮素富集对青藏高原高寒草甸土壤有机碳迁移和累积过程的影响 李林森 程淑兰 方华军等(183)

长期施肥下黑土活性有机质和碳库管理指数研究 何翠翠 王立刚 王迎春等(194)

火烧和保留采伐剩余物对土壤有机碳矿化的影响 吴君君 杨智杰 刘小飞等(203)

研究简报

碳氮稳定同位素检测能力的验证——2013 年实验室间比对分析结果的汇总 曹亚澄 韩 勇 唐昊冶等(212)

土壤厚度的划分标准与案例研究 易 晨 李德成 张甘霖等(220)

积盐条件下土壤酸化过程的特异性研究 王媛华 段增强 赵 宇等(228)

四川省不同区域水稻氮肥施用效果研究 张 智 王伟妮 李 昆等(234)

小叶锦鸡儿灌丛化对退化沙质草地土壤孔隙特征的影响 李宗超 胡 霞(242)

信息

《土壤学报》2013 年度优秀论文评选揭晓 (241)

封面图片:黄土坡面细沟形态发育过程(由吴淑芳提供)

CONTENTS

Reviews and Comments

Agricultural soil science research: Formation of Hou Kuangchun's academic thought—Celebrate 110th anniversary of Mr Hou Kuangchun's birth	Shen Lijuan, Ding Enjun, Chen Shaolan, et al. (8)
Study on pedodiversity: Status quo and future challenges	Ren Yuanyuan, Zhang Xuelei(17)
Advance in study on method for oxygen isotopic analysis of phosphate in soil and its application	Zhang Han, Wang Jiani, Guo Qingjun, et al. (26)

Research Articles

A comparative study of multi-grade representative sampling and stratified random sampling for soil mapping	Yang Lin, Zhu A-xing, Zhang Shujie, et al. (37)
Classification of Typical Argosols of Henan Province at soil series level of Chinese Soil Taxonomy	Ju Bing, Wu Kening, Li Ling, et al. (47)
Development of rill erosion on loess slope and its simulation	Wu Shufang, Liu Zhenghong, Huo Yunyun, et al. (55)
Spatial variability of available soil moisture and its seasonality in a small watershed in the hilly region of the Loess Plateau	Gao Xiaodong, Wu Pute, Zhang Baoqing, et al. (66)
Prediction of saturated hydraulic conductivity of surface soil in sand-dune-and-meadow interlaced region of Horqin with pedo-transfer functions method	Sun Li, Liu Tingxi, Duan Limin, et al. (75)
Effects of amendment of aeolian sandy soil and loess with soft sandstone on soil water retention curve and evaporation	Zhang Lei, Qi Ruipeng, Zhang Yinglong, et al. (85)
Comparison between stale isotope ²⁰² Hg dilution technique and chemical extraction in determining Hg availability in two typical soils of China	Zheng Shunan, Xu Zhiyu, Wang Fei, et al. (94)
Optimization of determination of N-acyl-homoserine lactones in soil solution with Gas-Chromatography-Mass Spectrometry	Sheng Hongjie, Song Yang, Bian Yongrong, et al. (102)
Sorption behavior of oxytetracycline in complex contaminated soil and its effects on desorption of heavy metals in the soil	Chen Like, Ma Tingting, Pan Xia, et al. (111)
Gradient distribution of bound-PAH residues in different layers of rhizosphere soils of moleplant and wood sorrel growing in polluted regions	Wang Yize, Gao Yanzheng, Peng Anping, et al. (118)
Soil P desorption characteristics and their effects on total P concentration in percolating water in fields under vegetable-rice rotation system	Zhang Mingqing, Li Juan, Kong Qingbo(127)
Effects of fertilization controlling nitrogen and phosphorus loss from farmland under wheat-maize rotation in Nansi Lake region	Tan Deshui, Jiang Lihua, Tan Shuying, et al. (137)
Static transfer of phosphorus in the soil-water-plant system of beach wetlands in Poyang Lake	Xu Jin, Xu Ligang, Ding Keqiang, et al. (144)
Changes in soil microbial community in response to tomato- <i>Agaricus bisporus</i> interplanting	Chen Min, Wang Juntao, Feng Youzhi, et al. (152)
Soil enzyme activity and fungal community diversity in rhizosphere of <i>Pinus tabulaeformis</i> Carr. growing on Loess Plateau— A case study of Huanglongshan forest farm	Chu Honglong, Li Sha, Tang Ming(161)
Soil quantitative proteomic analysis of silicon-mediated resistance of tomato (<i>Solanum lycopersicum</i>) to <i>Ralstonia solanacearum</i>	Chen Yuting, Lin Weipeng, Fan Xueying, et al. (172)
Effect of manure combined with chemical fertilizer application on yield, kernel quality and physiological characteristics of peanut to red soil in subtropical China	Xu Xiaowei, Fan Jianbo, Chen Yan, et al. (181)
Effects of nitrogen enrichment on transfer and accumulation of soil organic carbon in alpine meadows on the Qinghai-Tibetan Plateau	Li Linsen, Cheng Shulan, Fang Huajun, et al. (192)
Effect of long-term fertilization on labile organic matter in and carbon pool management index of black soil	He Cuicui, Wang Ligang, Wang Yingchun, et al. (202)
Effect of prescribed burning and reservation of logging residues on soil organic carbon mineralization	Wu Junjun, Yang Zhijie, Liu Xiaofei, et al. (210)

Research Notes

Testing of proficiency for measurement of carbon and nitrogen stable isotopes ...	Cao Yacheng, Han Yong, Tang Haoye, et al. (218)
Criteria for partition of soil thickness and case studies	Yi Chen, Li Decheng, Zhang Ganlin, et al. (227)
Specificity of soil acidification affected by salt accumulation	Wang Aihua, Duan Zengqiang, Zhao Yu, et al. (233)
Effects of nitrogen fertilization on rice in different regions of Sichuan Province	Zhang Zhi, Wang Weini, Li Kun, et al. (240)
Effects of shrub (<i>Caragana microphylla</i> Lam) encroachment on soil porosity of degraded sandy grassland	Li Zongchao, Hu Xia(248)

Cover Picture: Rill morphological development process on loess slope (by Wu Shufang)