

# 黄河三角洲滨海湿地碱蓬群落土壤树脂磷测定及剖面分布特征

屈凡柱<sup>1,2</sup>, 于君宝<sup>1</sup>, 孟灵<sup>1,2</sup>, 徐刚<sup>1</sup>

(1. 中国科学院烟台海岸带研究所, 滨海湿地生态实验室,

海岸带环境过程重点实验室, 山东 烟台 264003; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 采用两种阴离子交换树脂提取黄河三角洲滨海湿地碱蓬群落土壤有效磷, 通过对比分析, 确定了最佳的吸附时间(16 h)和解吸时间(2 h), 并对黄河三角洲滨海湿地碱蓬群落土壤树脂磷含量及剖面分布特征进行研究, 结果表明: 各土层树脂磷含量在 11.91~24.56 mg/kg 之间, 平均值为 16.51 mg/kg; 极大值和极小值分别出现在 0~10 cm 和 20~30 cm 的土层, 当土层深度大于 30 cm 时, 树脂磷的含量变化不大。

**关键词:** 黄河三角洲; 滨海湿地; 碱蓬; 树脂磷; 剖面分布

中图分类号: S153.6 文献标识码: A 文章编号: 1009-2242(2010)06-0150-03

## Resin-P and Its Distribution Profile in the *Suaeda salsa* Community Soil in the Yellow River Delta Coastal Wetland

QU Fan-zhu<sup>1,2</sup>, YU Jun-bao<sup>1</sup>, MENG Ling<sup>1,2</sup>, XU Gang<sup>1</sup>

(1. Laboratory of Coastal Wetland Ecology, Key Laboratory of Coastal Environment Processes, Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

**Abstract:** The resin membrane method for soil phosphorus extraction is widely used in the determination of available phosphorus in soil. In this paper, two kinds of anion exchange membrane were used to assess available P with 18 soil samples from the *Suaeda salsa* community in the Yellow River delta coastal wetland. The optimum adsorption and desorption time was 16, 2 h, respectively. By using this method, the distribution of resin-P in soil profile was explored. The results suggested that the P contents extracted by resin membrane was between 11.91 mg/kg and 24.56 mg/kg, with an average 16.51 mg/kg, the upper layer contained much higher than the lower layers. Maximum value occurs 0-10 cm while the minimum appears in the 20-30 cm. When the depth is greater than 30 cm, there is little change in resin-P contents.

**Key words:** Yellow River delta; coastal wetland; *Suaeda salsa*; resin-P; distribution in soil profile

磷是生态系统重要的营养元素之一, 它参与或控制生物圈中生物地球化学循环的诸多过程。磷是有机体内不可缺少的重要元素; 是生物体内核酸、磷脂类化合物的重要组成成分; 是细胞内一切生物化学作用能量的基础<sup>[1]</sup>。磷作为植物生长发育必须的大量营养元素之一, 不仅是植物生产力的重要限制因子, 也在维持生态系统平衡中起着重要作用<sup>[2]</sup>。由于磷化学性质相对稳定, 因此也是土壤中经常缺乏的元素之一。离子交换树脂法是新一代的土壤养分测试技术, 利用离子交换树脂研究土壤养分对植物有效供应状况的报道日渐增多<sup>[3]</sup>。相关研究已经肯定了该方法的可行性<sup>[4,9]</sup>。树脂磷是指用阴离子交换树脂代换出的磷, 是与土壤溶液处于平衡状态的土壤固相无机磷, 这部分磷构成了土壤活性磷的绝大部分, 对植物是充分有效的。本文采用两种树脂膜提取黄河三角洲滨海湿地碱蓬群落土壤有效磷, 并探讨碱蓬群落土壤树脂磷的吸附解吸规律和剖面分布特征。该研究对了解黄河三角洲湿地土壤磷元素分布状况及从磷的生物地球化学角度探讨生态修复有重要意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于黄河三角洲湿地自然保护区(37°40′ - 38°10′ N, 118°41′ - 119°16′ E)内清八汉与毛丝垞流路之间的潮间带地区。研究区属温带季风型大陆性气候, 四季分明, 冷热干湿界限极为明显, 年均气温 12.8 °C,

收稿日期: 2010-05-22

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-223); 公益性行业(农业)科研专项经费项目(200903001); 中国科学院百人计划项目; 山东省科技攻关计划项目(2008GG20005006, 2008GG3NS07005); 中国科学院、国家外国专家局创新团队国际合作伙伴计划项目

作者简介: 屈凡柱(1982-), 男, 山东省济宁人, 硕士研究生, 主要从事环境生态和生物地球化学研究。E-mail: fanzhuqu@163.com

通讯作者: 于君宝(1970-), 男, 研究员, 主要研究方向为湿地生物地球化学与生态修复。E-mail: Junbao.yu@gmail.com

无霜期 206 d, 年平均降水量为 551.9 mm。区内分布有大面积的滨海湿地, 土壤为隐性性潮土和盐土土类, 主要湿地植物为碱蓬(*Suaeda salsa*); 芦苇(*Phragmites australis*)、荻(*Triarrhena sacchariflora*)、穗状狐尾藻(*Myriophyllum spicatum*)、补血草(*Limonium sinense*)、蒲草(*Typha angustifolia*) 等分布面积较少。碱蓬(*Suaeda salsa*) 又叫黄须菜、盐吸, 是一种耐盐能力很强的盐生植物, 为藜科碱蓬属一年生草本植物, 适生于潮间带和滨海盐碱地带及内陆重盐斑土地上, 在黄河三角洲滨海湿地盐渍区分布广泛。

## 1.2 土壤样品采集与分析方法

2009 年 5 月在研究区域内选取代表性群落—碱蓬群落进行样品采集, 共设置 3 个采样点(A、B 和 C), 在土壤剖面上自上而下分层采集土壤样品, 每层 10 cm, 采样深度为 60 cm, 每层随机采集 3 份土壤混合, 作为该采样点土壤的代表性样品, 土壤样品采集后放入聚乙烯袋中, 密封以防止样品污染, 样品在室温下自然风干, 过 100 目筛后密封保存备用。两种树脂膜采用上海树脂厂有限公司和浙江千秋环保水处理有限公司生产的阴离子树脂膜(以颜色区别, 分别记为蓝膜和绿膜)。树脂膜裁剪规格为 5 mm × 1.2 mm 的长方形小片, 用 95% 的乙醇浸洗 12 h, 然后放入 0.5 mol/L NaHCO<sub>3</sub> 溶液中饱和 3 d, 中间更换 NaHCO<sub>3</sub> 溶液 6 次, 饱和后的膜放在去离子水中备用。仪器采用北京普析通用仪器有限责任公司生产的 TU-1810 紫外可见分光光度计。

实验过程中, 准确称取 0.500 g 风干土样放入 50 ml 离心管中, 加入 25 ml 去离子水, 再分别加入 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 饱和的树脂膜 1 片、2 片、4 片, 振荡整夜(16 h), 并做空白试验, 取出树脂膜, 用去离子水冲洗 3 次, 再放入 25 ml 0.5 mol/L HCl 溶液中振荡(16 h), 然后吸取 10 ml HCl 解吸液注入 50 ml 容量瓶中, 加水稀释至 30 ml, 加二硝基酚指示剂 2 滴, 用 2.0 mol/L NaOH 溶液及 0.5 mol/L H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液调节至溶液呈微黄色, 然后加入 5 ml 钼锑抗显色剂, 摇匀, 用水定容, 在室温高于 15 °C 的条件下放置 30 min 后在分光光度计 712 nm 下比色测定, 从而确定树脂膜的最佳用量。实验中所用试剂均采用分析纯试剂。

为了确定树脂磷吸附—解吸时间, 首先准确称取 0.500 g 风干土样放入 50 ml 离心管中, 再加入 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 饱和的树脂膜, 振荡时间设 0.5, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 24 h 共 11 个处理, 3 次重复, 并做空白试验, 取出树脂膜, 用去离子水冲洗 3 次, 再放入 0.5 mol/L HCl 溶液中振荡(16 h), 用磷钼蓝分光光度法测磷, 确定最佳的吸附时间。确定最佳的吸附时间后, 再重复实验, 振荡最佳的吸附时间后, 取出树脂膜, 用去离子水冲洗 3 次, 放入 0.5 mol/L HCl 溶液中振荡, 解吸时间设 0.5, 1, 2, 4, 6, 8 h 共 6 个处理, 3 次重复。同时做空白试验, 用磷钼蓝分光光度法测磷, 确定最佳解吸时间。确定了树脂磷最佳的吸附—解吸时间后, 再分别测定碱蓬群落土壤不同土层中树脂磷的含量。

表 1 不同树脂膜强度下提取的树脂磷含量

## 2 结果与讨论

### 2.1 树脂膜及其使用量的确定

用上海树脂厂有限公司生产的阴离子交换树脂膜(蓝膜)和浙江千秋环保水处理有限公司生产的阴离子交换树脂膜(绿膜)进行相同时间的吸附解吸实验, 两种树脂膜提取的土壤磷之间具有显著的相关性( $R^2 = 0.9753$ )。据表 1 数据做 Anova 方差分析可知, 该试验中同种膜不同数量之间  $F = 15.61$ ,  $Pr > F = 0.0259 < 0.05$ , 故不同膜使用量对树脂磷的吸附解吸量的影响有显著差异。相同膜使用量不同种类膜之间,  $F = 2.98$ ,  $Pr > F = 0.0351 < 0.05$ , 故两种不同的膜对树脂磷的吸附解吸量的影响差异显著。执行 Duncan's 检验, 不同树脂膜使用量提取的树脂磷的含量蓝膜 4 片 > 蓝膜 2 片 > 绿膜 4 片

样点	土层/ cm	树脂磷含量/ (mg · kg <sup>-1</sup> )		树脂磷含量/ (mg · kg <sup>-1</sup> )		树脂磷含量/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	
		绿膜 1 片	蓝膜 1 片	绿膜 2 片	蓝膜 2 片	绿膜 4 片	蓝膜 4 片
A 点	0-10	10.28	10.93	14.60	16.51	14.48	16.66
	10-20	8.08	8.36	11.99	15.07	11.98	15.13
	20-30	5.51	5.83	9.95	11.62	10.11	11.60
	30-40	6.85	7.10	10.93	12.46	10.82	12.32
	40-50	7.22	7.46	11.50	13.38	11.65	13.43
	50-60	5.63	5.95	8.89	10.64	8.88	10.69
B 点	0-10	6.97	7.30	13.05	15.66	13.04	15.81
	10-20	6.69	7.02	10.36	12.56	10.23	12.46
	20-30	6.53	6.89	9.87	11.91	9.85	12.07
	30-40	7.95	8.32	13.13	14.68	13.17	14.67
	40-50	7.83	8.20	12.97	14.52	12.96	14.69
	50-60	6.48	6.89	10.77	11.58	10.76	11.50
C 点	0-10	10.03	10.69	20.80	23.33	20.71	23.42
	10-20	8.56	9.38	19.21	22.02	19.07	22.15
	20-30	7.83	8.65	15.17	16.89	15.32	16.78
	30-40	9.30	9.95	13.05	15.82	13.02	15.89
	40-50	11.50	11.99	11.42	12.07	11.89	12.04
	50-60	10.03	10.85	13.30	15.82	13.28	15.97

> 绿膜 2 片 >> 蓝膜 1 片 > 绿膜 1 片, 且蓝膜 4 片与蓝膜 2 片、绿膜 4 片与绿膜 2 片不存在显著差异, 但与蓝膜 1 片、绿膜 1 片存在极显著差异( $F = 20.37, P < 0.0001$ )。对蓝膜 2 片与绿膜 2 片做 Means 方差分析, 两者

差异显著( $p < 0.01$ )。综合考虑实验过程中树脂膜冲洗步骤和实验效果, 选用蓝膜 2 片进行测定较为合理。

### 2.2 吸附-解吸时间

离子交换树脂膜对土壤中磷离子的吸附是一种动力学的交换作用, 它对土壤中的磷离子的吸附量和吸附比例随吸附时间和其它离子的变化而变化。在进行土壤树脂磷的吸附-解吸实验时, 选用 C 样点 0-10 cm 的混合土样。从图 1 吸附曲线可以看出, 两种树脂膜对供试土样中磷的吸附差异不大。在 0~10 h 时, 蓝膜与绿膜对磷的吸附量差异不大; 在 12~20 h 蓝膜对磷的吸附总量大于绿膜; 当时间达到 24 h 时, 两者又表现为差异不大。在 16 h 内, 随着提取时间的延长, 蓝膜提取的土壤磷量明显增加, 但大于 16 h 后, 蓝膜吸附量增加不明显; 绿膜则稍有增幅。从图 2 解吸曲线可以看出, 在 0~0.5 h 蓝膜、绿膜的树脂磷解吸量已经占解吸总量 90.7%, 89.1%, 随着解吸时间的延长, 解吸量缓慢增加, 至 4 h 时, 解吸量到达顶峰。与国内和国际上很多土壤磷分级研究<sup>[6,11]</sup>中所采用的吸附和解吸时间均为 16~17 h 不同, 本实验结果表明使用蓝膜提取黄河三角洲滨海湿地碱蓬群落土壤树脂磷的最佳的吸附、解吸时间分别为 16, 2 h, 其中解吸时间大为缩短。

### 2.3 碱蓬群落土壤树脂磷的剖面分布

目前国内许多学者已经在湿地土壤树脂磷的剖面分布研究领域开展了大量工作, 并取得了许多重要成果。王国平、翟正丽等<sup>[11]</sup>对中国东北松嫩平原四个不同沙化程度的湿地土壤中磷的形态和剖面分布进行研究, 由于树脂磷被认为是可交换态无机磷, 在所有的沙化和没有沙化的土壤剖面中, 上层土壤中的树脂磷的含量较高并随着深度加深而迅速减少。彭娜、王凯荣等<sup>[12]</sup>研究不同水分条件下施用稻草对土壤有机酸和有效磷的影响发现施用稻草能显著提高土壤有效磷(树脂磷)的含量( $p < 0.05$ ), 且连续淹水条件下的提高幅度又显著高于干湿交替条件下( $p < 0.05$ )。蒋薇、白军红等<sup>[13]</sup>对白洋淀典型台湿地土壤生源元素剖面分布特征研究发现有效磷含量随着土层加深呈现增加趋势。吴建富、王海辉等<sup>[14]</sup>对长期施用不同肥料稻田土壤养分的剖面分布特征进行研究, 发现有效磷只有在耕层比单施化肥有明显的增加, 各处理中有效磷的积累主要集中在表层土壤, 其它土层相差很小。于群英、李孝亮等<sup>[15]</sup>研究了安徽不同类型土壤无机磷组分含量状况发现各类型土壤剖面中均存在无机磷积累现象。

根据 2.1 节和 2.2 节的实验结论, 我们进行碱蓬群落树脂磷剖面分布的测定时树脂膜使用量均为蓝色 2 片, 吸附和解吸时间分别采用 16 h 和 2 h。研究表明: 各土层提取的树脂磷含量中, 由图 3 可以看出, 极大值出现 0-10 cm 土层, 含量为 24.56 mg/kg, 极小值出现在 20-30 cm 土层, 含量为 11.91 mg/kg。平均为 16.51 mg/kg, 变异系数为 25.08%。土壤树脂磷的平均含量最高为 0-10 cm 土层, 土层深度大于 30 cm 时, 树脂磷的含量变化不大。说明滨海湿地土壤中树脂磷主要在土壤的表层, 其原因主要是研究区域植物根系对土壤中的磷形态的活化, 由于根系分布量由表层向深层递减, 造成能够被树脂离子交换的磷酸根离子表层比根系作用力影响微弱土层含量大。

## 3 主要结论

- (1) 用阴离子交换树脂膜提取黄河三角洲滨海湿地碱蓬群落土壤有效磷, 最佳吸附时间(16 h)和解吸时间(2 h)。
- (2) 对黄河三角洲滨海湿地碱蓬群落土壤树脂磷含量及剖面分布特征进行研究, 结果表明: 不同土层树脂磷含量在 11.91~24.56 mg/kg 之间, 平均值为 16.51 mg/kg。极大值和极小值分别出现在 0-10 cm 和 20-30 cm 的土层, 当深度大于 30 cm 时, 树脂磷的含量变化不大。

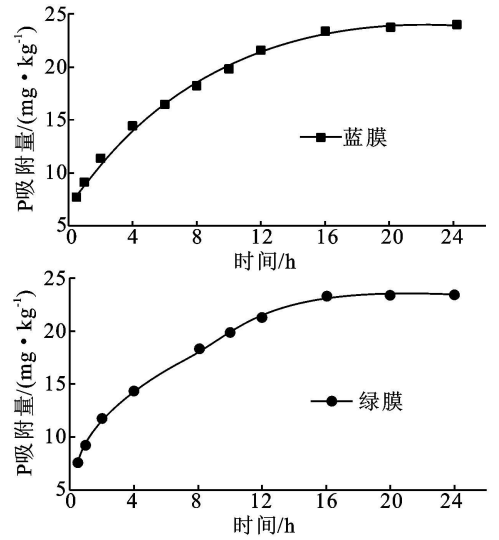


图 1 磷的吸附量随时间的变化关系

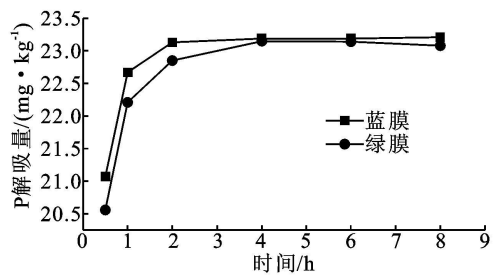


图 2 树脂磷的释放量随时间的变化关系

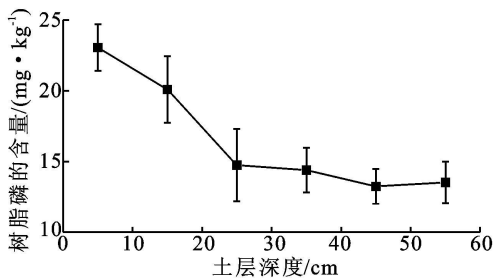


图 3 碱蓬群落土壤树脂磷含量剖面分布图

常规水分下和高水分下, 配施腐殖酸处理可提高杨树的根系活力, 叶绿素含量和硝酸还原酶活性。同时提高了杨树的叶片的光合速率和气孔导度, 降低了蒸腾速率, 水分利用效率 WUE 也有显著提高, 利于杨树的干物质积累。相同水分条件下, 叶和根部的生长素、赤霉素和根部的玉米素也较单施无机肥处理高。以上各指标, 高水分下各处理又提高幅度高于常规水分下的处理, 说明高水促进了杨树的生长。但由于过度灌水, 产生了某些负作用, 如根系活力低于相同施肥的常规水分处理, 脱落酸含量高于常规水分处理等。

从生物量上看, 干旱胁迫下, 配施腐殖酸可一定程度上提高杨树的抗旱能力, 提高了树体氮元素的含量, 对磷和钾元素的吸收影响不大, 但从总体上对杨树的生长量影响很小。在常规水分下和高水分条件下, 同单施无机肥处理相比, 配施腐殖酸处理的总生物量分别提高了 14.99% 和 55.28%。由此可见, 高水分下, 放大了腐殖酸促进生长的作用, 同样杨树氮、磷和钾的营养含量也有较大提高。

参考文献:

- [1] 嵇庆才, 周明耀, 张凤翔, 等. 水肥耦合条件下水稻根系形态及其活力研究[C]//中国农业工程学会 2005 年学术年会论文集, 2005: 230-234.
- [2] 梁运江, 依艳丽, 许广波, 等. 水肥耦合效应的研究进展与展望[J]. 湖北农业科学, 2006, 45(3): 385-388.
- [3] 李亚龙, 崔远来, 李远华, 等. 水肥交互作用对稻田氮素利用率和氮素平衡的影响[J]. 灌溉排水学报, 2009, 28(4): 21-24.
- [4] 高亚军. 农田水肥效应及其生理机制研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2002.
- [5] 赵励军. 不同来源腐殖酸促进植物生长活性及作用机理研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2005.
- [6] 贺婧, 颜丽. 不同来源腐殖酸对土壤生化反应强度的影响[J]. 土壤通报, 2008, 39(2): 456-458.
- [7] 邢尚军, 刘方春, 杜振宇, 等. 腐殖酸肥料对杨树生长及土壤性质的影响[J]. 水土保持学报, 2009, 23(4): 126-130.
- [8] 付士磊, 周永斌, 何兴元. 干旱胁迫对杨树光合生理指标的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17(11): 2016-2019.
- [9] 阮晓, 王强, 许宁一, 等. 白梭梭同化枝对干旱胁迫的生理生态响应[J]. 林业科学, 2005, 41(5): 28-32.
- [10] 杨建伟, 梁宗锁, 韩蕊莲. 不同土壤水分含量对 4 个树种 WUE 的影响[J]. 西北林学院学报, 2004, 19(1): 9-13.
- [11] 冯玉龙, 王文章, 敖红. 长白落叶松无性系选择生理指标的研究[J]. 林业科学, 2000, 36(1): 80-85.
- [12] 刘瑞香, 杨吉力, 高丽. 中国沙棘和俄罗斯沙棘叶片在不同土壤水分条件下脯氨酸、可溶性糖及内源激素含量的变化[J]. 水土保持学报, 2005, 19(3): 148-152.

上接第 152 页

参考文献:

- [1] 韩兴国, 李凌浩, 黄建辉. 生物地球化学概论[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999: 245-249.
- [2] 鲁如坤. 土壤-植物营养学原理和施肥[M]. 北京: 化学工业出版社, 1998.
- [3] 门玉英, 贺立源. 离子交换树脂在土壤养分测试中的研究进展[J]. 中国土壤与肥料, 2007(3): 4-9.
- [4] Dalal R C. Desorption of soil phosphate by anion exchange resin[J]. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 1974, 5(6): 531-538.
- [5] Dalal R C. Comparative prediction of yield response and phosphorus uptake from soil using anion and cation exchange resins[J]. Soil Sci., 1985, 139: 227-231.
- [6] Saggat S, Hedley M J, White R E. A simplified resin membrane technique for extracting phosphorus from soils[J]. Fertilizer Research, 1990, 24: 173-180.
- [7] Yang J E, Jacobsen J E. Soil inorganic phosphorus fractions and their uptake relationships in calcareous soil[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1990, 54: 1666-1669.
- [8] Teo Y H, Beyrouthy C A, Gbur E E. Relating soil test P to P uptake by paddy rice[J]. Soil Sci., 1995, 159(6): 409-414.
- [9] 程明芳. 离子交换树脂膜提取土壤养分技术研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2002.
- [10] Hedley M J, Stewart J W B, Chauhan B S. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and laboratory incubations[J]. Soil Science Society of America Journal, 1982, 46: 970-976.
- [11] Wang Guo ping, Zhai Zheng li, Liu Jing shuang, et al. Forms and profile distribution of soil phosphorus in four wetlands across gradients of sand desertification in Northeast China[J]. Geoderma, 2008, 145: 50-59.
- [12] 彭娜, 王凯荣, Buresh R J, 等. 不同水分条件下施用稻草对土壤有机酸和有效磷的影响[J]. 土壤学报, 2006, 43(2): 347-351.
- [13] 蒋薇, 白军红, 高海峰, 等. 白洋淀典型台湿地土壤生源元素剖面分布特征[J]. 水土保持学报, 2009, 23(5): 161-164.
- [14] 吴建富, 王海辉, 等. 长期施用不同肥料稻田土壤养分的剖面分布特征[J]. 江西农业大学学报, 2001, 23(1): 54-56.
- [15] 于群英, 李孝良, 李粉茹, 等. 安徽省土壤无机磷组分状况及施肥对土壤磷素的影响[J]. 水土保持学报, 2006, 20(4): 57-61.