

# 围垦对杭州湾南岸滨海湿地土壤养分分布的影响<sup>①</sup>

吴明<sup>1,2</sup>, 邵学新<sup>2</sup>, 胡锋<sup>1</sup>, 蒋科毅<sup>2</sup>

(1 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095; 2 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江富阳 311400)

**摘要:** 在杭州湾南岸典型滨海湿地以空间代时间的方法, 采集不同围垦年代的自然湿地土壤和围垦后利用土壤, 研究了湿地土壤有机质、N 和 P 的空间分布规律及围垦利用对养分空间分布的影响。结果表明, 随围垦时间的增加, 土壤表层全 P 含量表现为增加的趋势, 围垦 5 年、25 年和 50 年土壤全 P 含量比未围垦光滩分别增加 12%、25% 和 76%; 土壤有机质则表现为先降低后增加趋势, 围垦 5 年和围垦 25 年土壤有机质相比未围垦光滩分别减少 14% 和 50%, 围垦 50 年则比未围垦光滩增加 87%; 土壤全 N 的分布趋势和有机质基本一致。对养分剖面分布的分析表明, 围垦及其利用等人为干扰活动对养分的影响主要集中于土壤表层。相关性分析显示, 土壤中全 N 含量与有机质含量呈现出显著的正相关, 说明在土壤中 N 主要是以有机 N 的形态存在, 而全 P 含量与有机质含量的关系不显著。土壤颗粒组成与土壤有机质、N 素等养分含量有较为明显的关系, 有机质、全 N 与物理性黏粒 (<0.01 mm) 的各组分都表现为显著或极显著正相关; 土壤中 P 素与土壤质地的关系则并不是很密切。研究表明, 围垦及其利用引起的土壤水分和质地等物理性质的变化以及不同围垦历史是影响湿地土壤养分空间分布的主要因素。

**关键词:** 滨海湿地; 养分; 围垦; 影响

**中图分类号:** S151.3

湿地 (wetland) 与森林、海洋并称为全球三大生态系统, 是唯一的 4 因 (大气因、水因、土因、岩石因) 交汇的生态系统, 被称为“地球之肾”、天然水库和天然物种库。湿地土壤是 C 和 N 重要的源、汇或转化器, 在全球 C、N 循环中发挥着重要作用<sup>[1-2]</sup>。有机质、N 和 P 既是湿地土壤组成的重要部分, 又是湿地生态系统中极其重要的生态因子, 其含量显著影响着湿地生态系统的生产力<sup>[3]</sup>。湿地土壤有机质是气候变化的一种敏感指示物, 它能够用来指示对气候变化的响应<sup>[4]</sup>; 而 N、P 则是引发江河湖泊等永久性湿地 (permanently flooded wetland) 发生富营养化的重要因子, 是湿地营养水平指示物<sup>[2,5]</sup>。营养元素循环研究是现代湿地生态学研究热点<sup>[6]</sup>。

滨海湿地是我国湿地的重要类型之一, 以杭州湾为界, 分成杭州湾以北和杭州湾以南的两个部分<sup>[7]</sup>。杭州湾南岸湿地属于淤涨型滩涂, 每年新增大量湿地面积, 同时由于发展需要, 又被不断地围垦利用。湿地的围垦和开发改变了土壤环境, 进而影响土壤 C、N 和 P 等养分循环<sup>[8]</sup>。因而对该地区湿地土壤养分的空间分布及其影响因素进行研究, 是湿地生态系统生态过程、生态功能机理研究的深入, 可为退化湿地的

恢复与重建、湿地的合理开发与保护提供理论依据, 也为区域生态安全和全球 C、N 和 P 循环研究奠定基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域概况

杭州湾为钱塘江口延伸的、呈喇叭口形状的河口海湾。研究区选在杭州湾南岸的慈溪三北滩涂湿地核心地块, 国家林业局杭州湾湿地定位研究站附近, 样区地理坐标范围为东经 121°04′ ~ 121°11′, 北纬 30°17′ ~ 30°20′ (图 1)。属北亚热带海洋性季风气候, 四季分明, 年平均气温 16℃, 年平均降水量 1273 mm, 日照 2038 h, 无霜期 244 天<sup>[9]</sup>。湿地主要土壤类型为盐土类的滨海盐土亚类和潮土化盐土<sup>[10]</sup>。

### 1.2 样点布设与分析方法

根据资料收集及现场勘察, 在垂直杭州湾南岸海岸线方向, 选择一条长 4000 m, 宽 500 m 的水平样带, 以空间代时间的方法<sup>[11-12]</sup>, 由北向南布设 4 处不同围垦年代的取样点, 其中设置新出露的光滩为对照样点, 然后根据围垦历史分别采集围垦 5 年, 25 年和 50 年样点各一处 (表 1)。对每一个取样点, 各挖

①基金项目: 浙江省-中国林科院合作项目 (2005SY09)、浙江省重点项目 (2005C22072) 和浙江省重大项目 (2004C12030) 资助。

作者简介: 吴明 (1969—), 男, 浙江嵊州人, 副研究员, 主要从事土壤生态学研究。E-mail: hangzhoubay@126.com

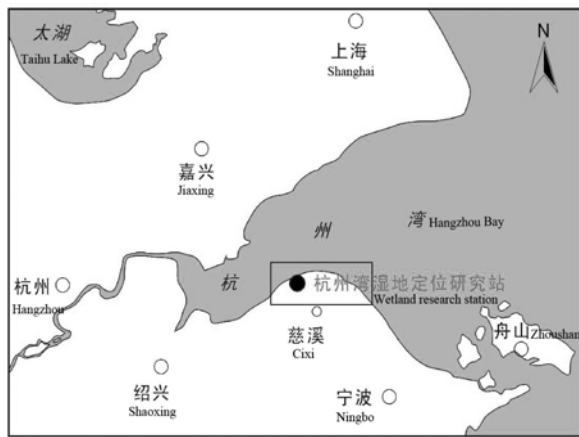


图 1 研究区域地理位置

Fig. 1 Location of studied region

表 1 湿地土壤采样点信息

Table 1 Information of soil samples

样点编号	样点描述
CK	未围垦，新出露光滩（无高等植物分布）
S1	围垦 5 年，未利用（芦苇自然生长）
S2	围垦 25 年，旱地
S3	围垦 50 年，旱地

3 个 60 cm 的剖面。由于土壤自然发生层次尚不明显，因而采用机械分层，每 20 cm 一层取样，共 3 层。

土壤有机质采用重铬酸钾容量法（外加热）测定；全 N 采用半微量凯氏法测定；全 P 采用硫酸-高氯酸消煮，钼锑抗比色法测定；颗粒组成采用比重计法测定<sup>[13-14]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 湿地土壤养分的空间水平分布

不同取样点土壤有机质、全 N 和全 P 含量见图 2。从图中可以看到，土壤不同养分含量变化趋势有所不同。全 P 含量由高到低表现为：围垦 50 年 > 围垦 25 年 > 围垦 5 年 > 未围垦，其中，围垦 50 年土壤全 P 含量为 0.88 g/kg，比未围垦光滩全 P 增加 76% ( $p < 0.05$ )，围垦 25 年和围垦 5 年土壤全 P 含量分别比未围垦光滩全 P 含量增加了 25% ( $p > 0.05$ ) 和 12% ( $p > 0.05$ )。土壤有机质和全 N 的变化趋势相同，都表现为：围垦 50 年 > 未围垦 > 围垦 5 年 > 围垦 25 年。围垦 50 年土壤有机质含量为 12.86 g/kg，比未围垦光滩有机质增加 87% ( $p < 0.05$ )，围垦 25 年和围垦 5 年土壤有机质相比未围垦光滩则分别减少

50% ( $p < 0.05$ ) 和 14% ( $p > 0.05$ )。围垦 50 年土壤全 N 含量比未围垦光滩增加 84% ( $p < 0.05$ )，围垦 25 年和围垦 5 年土壤全 N 相比未围垦光滩则分别减少 40% ( $p < 0.05$ ) 和 6% ( $p > 0.05$ )。

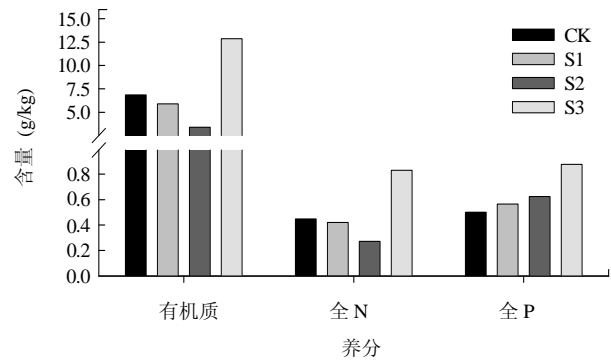


图 2 湿地土壤表层养分的空间变化

Fig. 2 Spatial distributions of soil nutrients in different reclamation years

### 2.2 湿地土壤养分的剖面垂直分布

图 3 为湿地土壤养分的剖面分布图，可以看出，有机质、全 N 和全 P 在土壤剖面表层的含量一般都高于剖面中间层或底层，这与大多数土壤养分的分布规律基本相似<sup>[1, 15-16]</sup>。但不同养分在剖面中的变化情况有所不同，有机质和全 N 变幅相对较大，同一剖面的不同层次中，有机质含量的最大值与最小值的比值最大可达 3.9，全 N 含量比值最大可达 2.8。全 P 除围垦 50 年的土壤外，其他样点含量的变化不是很明显，在土壤剖面中的变异系数不超过 8%。这主要是由于一般情况下，P 在土壤中的移动性很小，向下淋溶少，因而在土壤中变异不大。土壤养分在剖面不同层次中的变异系数也不一样，在 0 ~ 20 cm 中变异系数较大，有机质、全 N 和全 P 分别为 55%，53% 和 26%，而往下则变异系数减小，说明人为作用对土壤表层的扰动最为强烈。

### 2.3 湿地土壤养分与土壤颗粒组成的相关性分析

从表 2 中可见，湿地土壤中全 N 含量与有机质含量呈现出显著的正相关，相关系数为 0.91，说明在土壤中 N 主要是以有机 N 的形态存在；全 P 含量与有机质含量的关系不显著。土壤颗粒组成决定着土壤的物理、化学和生物特性。不同土壤的机械组成，在矿物组成上有显著的差别，其化学成分和其他各种性质也均不相同。一般来说，土壤中的养分状况和它对各养分吸附能力的强弱都与土壤的粒级组成有关<sup>[17]</sup>。本研究结果也表明土壤颗粒组成与有机质、N 素等养分含量有较

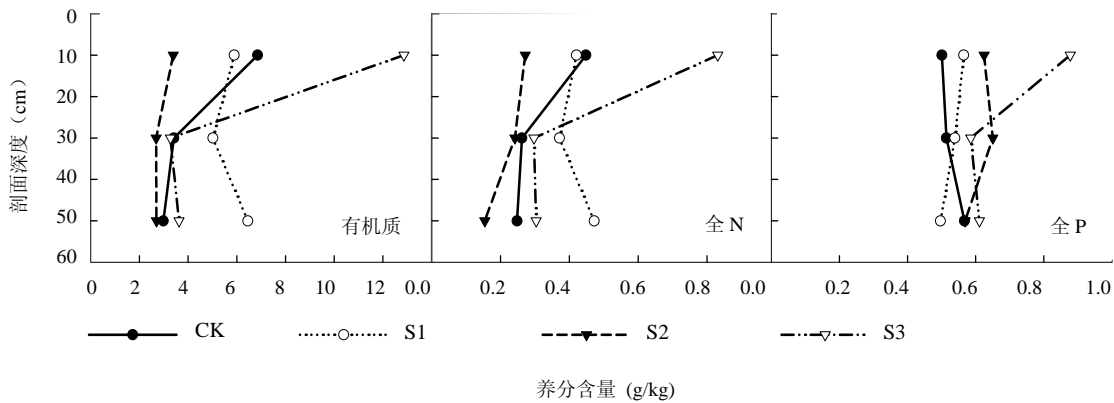


图 3 湿地土壤养分剖面分布图

Fig. 3 Vertical distributions of soil nutrients in different reclamation years

表 2 土壤养分及其与土壤颗粒之间的相关关系

Table 2 Correlation between contents of soil nutrients and soil particles at different sizes

	有机质	全 N	全 P
有机质	1		
全 N	0.91 **	1	
全 P	0.05	0.15	1
0.25 ~ 0.05 mm	-0.37 *	-0.34	-0.07
0.05 ~ 0.01 mm	-0.63 **	-0.62 **	0.28
0.01 ~ 0.005 mm	0.82 **	0.81 **	-0.13
0.005 ~ 0.001 mm	0.83 **	0.77 **	-0.21
<0.001 mm	0.76 **	0.73 **	-0.22

为明显的关系(表 2)。除全 N 与砂粒(0.25 ~ 0.05 mm)没有显著的相关关系外,有机质、全 N 与物理性砂粒(>0.01 mm)的各组分都表现为显著或极显著负相关,与物理性黏粒(<0.01 mm)的各组分都表现为显著或极显著正相关,即物理性砂粒含量越多它们的含量降低;土壤物理性黏粒含量增加,这些养分的含量则越高。因而围垦及其利用引起的不同取样点土壤粒级组成的变化使得土壤养分含量的空间分布发生变化。土壤 P 素与不同粒级的关系与有机质、N 素等有所不同,全 P 仅与粗粉粒(0.05 ~ 0.01 mm)表现为正相关关系,与其他几个粒级都为负相关,且都没有达到显著性水平。

### 3 讨论

围垦对土壤有机质和全 N 的影响主要与围垦引起的土壤水分、颗粒组成的变化以及利用历史有关。土壤有机质的含量主要取决于有机物的输入量和输出量,农

业湿地土壤有机质除人工施肥外,主要来源于土壤原有有机物的矿化和动植物残体的分解,有机质的输出量则主要包括分解和侵蚀损失<sup>[15]</sup>。土壤中 N 主要来源于动植物残体、生物固 N 及人工施肥,少量来源于降水和灌溉水,土壤中 N 主要是以有机 N 的形态存在。随着湿地的围垦,其地势抬升,地下水位逐步下降,土壤通气条件改善,有机质分解加快,含量逐步降低,土壤中 N 的变化趋势与有机质相同。围垦历史对湿地土壤有机质和全 N 含量的影响可以分成两个阶段,在围垦初期(围垦 5 年和 25 年),土壤有机质和全 N 表现为下降的趋势;随着围垦历史的增加(围垦 50 年),土壤受人为干扰加剧,表层土壤有机质除了自然的植物残体归还外,可能还有人为有机肥源的输入,土壤熟化程度越来越高,有机质、全 N 等养分输入量大于输出量,使得有机质、N 素含量提高,并且比未围垦时的含量还要高。迟光宇等<sup>[8]</sup>对三江平原不同开垦年限的水田及旱地研究也表明,开垦初期土壤有机 C 发生损失,随着开垦年限的增加,则趋于平缓甚至增加。土壤质地影响着土壤的保水保肥能力,土壤有机质和全 N 与土壤颗粒组成尤其是物理性黏粒(<0.01 mm)具有很好的正相关关系(表 2),因而围垦及其利用引起的土壤物理性黏粒的变化可能是影响土壤养分的主要因素。

土壤中 P 素除植物残体内存在少量有机态以外,其他主要为无机形态且主要来源于成土母质,其含量受土壤类型和气候条件的影响<sup>[15,18]</sup>,因此研究区土壤全 P 与有机质的关系不显著。于君宝等<sup>[18]</sup>对三江平原泥炭沼泽沉积物中营养物质分布的研究也表明,泥炭中 P 的沉积数量与有机质的关系不大。本研究土壤中 P 素与土壤质地的关系不是很密切,这

与其他研究的结果<sup>[19-20]</sup>有所不同, 可能在该研究区人为因素如围垦历史等对 P 素影响较大。P 随着围垦利用年限增长而始终表现增加的趋势, 这与 P 在土壤与其他养分的行为不同有关, P 在土壤中的移动性较小, 除了随土壤侵蚀通过地表径流流失损失外, 土壤中 P 的损失几乎可以忽略不计<sup>[21]</sup>。外界进入的 P 绝大多数积累在土壤中, 且土壤对 P 的吸附主要发生在表层<sup>[5]</sup>, 使得土壤表层 P 逐渐增加, 而表层以下的变幅很小。

#### 4 结论

随着围垦历史的变化, 土壤养分含量发生明显变化: 湿地土壤全 P 含量表现为增加的趋势, 而有机质、全 N 则以围垦 25 年湿地土壤为转折点表现先减小后增加的趋势。对养分剖面分布的分析表明, 围垦及其利用等人为干扰活动对养分的影响主要集中于土壤表层。

湿地土壤中全 N 含量与有机质含量呈现出显著的正相关, 说明在土壤中 N 主要是以有机 N 的形态存在; 而全 P 含量与有机质含量的关系不显著。土壤颗粒组成与土壤中有机质、N 素等养分含量有较为明显的关系, 而土壤中 P 素与土壤质地的关系并不是很密切。

围垦及其利用引起的土壤水分和质地等物理性质、植被覆盖类型的变化以及不同围垦历史影响着湿地土壤养分的空间分布, 然而, 由于滨海湿地较复杂的微地貌格局和水文事件的随机性以及各种人类活动的干扰, 其土壤中营养物质含量的空间分布规律以及湿地养分之间及其与土壤颗粒组成的关系受到多种因素的综合影响, 各种因素的影响方式和影响程度仍需进一步研究探讨。

#### 参考文献:

- [1] 白军红, 邓伟, 朱颜明, 栾兆擎, 张玉霞. 霍林河流域湿地土壤碳氮空间分布特征及生态效应. 应用生态学报, 2003, 14(9): 1494-1498
- [2] 白军红, 李晓文, 崔保山, 王庆改. 湿地土壤氮素研究概述. 土壤, 2006, 38(2): 143-147
- [3] Mitsch WJ, Gosselink JG. Wetlands. New York: Van Nostrand Reinhold, 1986
- [4] 肖辉林. 气候变化与土壤有机质的关系. 土壤与环境, 1999, 8(4): 300-304
- [5] 王国平. 湿地磷的生物地球化学特性. 水土保持学报, 2004, 18(4): 193-199
- [6] 何太蓉, 杨达源, 杨永兴. 三江平原泥炭沼泽土剖面 P、K 养分分布特征及影响因素分析. 农村生态环境, 2004, 20(1): 29-33
- [7] 陈建伟, 黄桂林. 中国湿地分类系统及其划分指标的探讨. 林业资源管理, 1995, 5: 65-71
- [8] 迟光宇, 王俊, 陈欣, 史奕. 三江平原不同土地利用方式下土壤有机碳的动态变化. 土壤, 2006, 38(6): 755-761
- [9] 何贵平, 陈益泰, 黄一青, 范林洁. 杭州湾海涂造林后土壤盐分和水份动态变化. 林业科学研究, 2006, 19(2): 257-260
- [10] 吴明. 杭州湾滨海湿地生态特征及保护利用研究. 浙江林业科技, 2004, 24(6): 41-45
- [11] 郑秋红, 张宏, 贾海坤, 刘颖慧, 伍永秋, 全占军. 怀来盆地弃耕地自然恢复过程中土壤养分动态. 生态与农村环境学报, 2006, 22(1): 24-28
- [12] 常凤来, 田昆, 莫剑锋, 陆梅, 李宁云. 不同利用方式对纳帕海湿地土壤质量的影响. 西部林业科学, 2005, 34(4): 81-84
- [13] 鲁如坤主编. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999
- [14] Su ZY, Xiong YM, Zhu JY, Ye YC, Ye M. Soil organic carbon content and distribution in small landscape of Dongguan, south China. Pedosphere, 2006, 16(1): 10-17
- [15] 熊汉锋, 廖勤周, 吴庆丰, 王运华. 湖北梁子湖湿地土壤养分的分布特征和相关性分析. 湖泊科学, 2005, 17(1): 93-96
- [16] 刘吉平, 吕宪国, 杨青, 郗敏. 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
- [17] 朱静华, 周艺敏, 景海春, 兰耀龙. 天津地区土壤机械组成与土壤养分状况相关关系的探讨. 天津农业科学, 1994(1): 1-3
- [18] 于君宝, 刘景双, 王金达. 三江平原泥炭沼泽沉积物中营养物质的分布规律. 湿地科学, 2004, 2(1): 31-35
- [19] 彭佩钦, 张文菊, 童成立, 仇少君, 张文超. 洞庭湖湿地土壤碳、氮、磷及其与土壤物理性状的关系. 应用生态学报, 2005, 16(10): 1872-1878
- [20] 王洪杰, 李宪文, 史学正, 于东升. 不同土地利用方式下土壤养分的分布及其与土壤颗粒组成关系. 水土保持学报, 2003, 17(2): 44-50
- [21] 黄昌勇主编. 土壤学. 北京: 中国农业出版社, 2000

## Effects of Reclamation on Soil Nutrients Distribution of Coastal Wetland in South Hangzhou Bay

WU Ming<sup>1, 2</sup>, SHAO Xue-xin<sup>2</sup>, HU Feng<sup>1</sup>, JIANG Ke-yi<sup>2</sup>

(1 *College of Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;*

2 *Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang, Zhejiang 311400, China)*

**Abstract:** Based on the analyses of soils with different reclamation years in Hangzhou Bay coastal wetland, the spatial distribution of nutrients and reclamation effects on nutrients such as nitrogen, phosphorous and organic matter were studied. The results indicated that soil total phosphorous (TP) content increased with the increase of reclamation year. Compared to the tideland (CK), TP in surface layers of soils reclaimed for 5, 25 and 50 years increased by 12%, 25% and 76% respectively. Soil organic matter (OM) decreased at first then increased. Compared to CK, soil OM in surface layers reclaimed for 5 and 25 years decreased by 14% and 50% respectively, while OM in soils reclaimed for 50 years increased by 87%. And soil total nitrogen showed a similar tendency to OM. The nutrients distribution in soil profiles indicated that reclamation effects on soil nutrients were significant in soil surface layers. There was a significantly positive correlation between soil TN and soil OM, but no between TP and soil OM. There was a significant correlation between particles of less than 0.01 mm and soil OM and TN. No significant correlation between textures and soil TP. Changes of soil water, texture, and reclamation year were the main factors that influence the nutrient distribution.

**Key words:** Coastal wetland, Soil nutrients, Distribution, Reclamation