

# 长江口潮滩湿地土壤酶活性的陆向变化以及 与环境因子的相关性

刘存歧<sup>1</sup> 陆健健<sup>2</sup> 李贺鹏<sup>2</sup>

(1. 河北大学生命科学学院,保定 071002 2. 华东师范大学河口海岸国家重点实验室,上海 200062)

**摘要** 研究了长江口崇明东滩潮滩湿地表层沉积物的土壤酶活性和环境因子沿高程的陆向变化及其它们之间的相关性。结果表明,在潮滩湿地表层沉积物中的全磷(TP)、全氮(TN)和有机质(OM)的含量,随着高程的增加,其含量呈上升趋势,而沉积物平均粒径(AGS)和溶解无机磷(DIP)含量逐渐降低。崇明东滩表层沉积物中碱性磷酸酶活性沿高程梯度有增加的趋势,与沉积物平均粒径和溶解无机磷含量呈极显著负相关( $p < 0.01$ ),与有机质、总氮、总磷含量呈显著正相关( $p < 0.05$ ),反映出碱性磷酸酶活性受底物和产物并存机制的诱导或抑制。过氧化氢酶活性随高程也有逐渐增大的趋势,其活性与有机质、总氮、总磷呈显著正相关与溶解无机磷和沉积物平均粒径呈负相关( $p < 0.05$ ),充分反映了随着演替的发展,沉积物的肥力逐渐增高的特点,也反映了沿高程梯度沉积物生物氧化作用逐渐增强。转化酶活性从藻类盐渍带到芦苇(*Phragmites australis*)带变化并不明显,在海三棱藨草(*Scirpus mariqueter*)带略高。蛋白酶活性从藻类盐渍带到芦苇带有降低的趋势,蛋白酶活性的高低更决定于有机质中蛋白质的含量而与有机质总量无关,说明蛋白酶可能主要由硅藻产生。

**关键词** 长江口 潮滩湿地 沉积物 土壤酶 理化性质

文章编号:1000-0933(2007)09-3663-07 中图分类号:Q143;S154.1 文献标识码:A

## The landward changes of soil enzyme activities in a tidal flat wetland of the Yangtze River estuary and correlations with physico-chemical factors

LIU Cun-Qi<sup>1</sup>, LU Jian-Jian<sup>2</sup>, LI He-Peng<sup>2</sup>

1 College of Life Science, Hebei University, Baoding 071002, China

2 National Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (9) 3663 ~ 3669.

**Abstract**: The landward changes of soil enzyme activities and physico-chemical properties of the surface sediments in the east end of Chongming Island, in the Yangtze river estuary, were studied. Along the elevation gradient or succession sequence, the contents of total phosphorus (TP), total nitrogen (TN) and organic matter (OM) of sediment increased, but the average grain size (AGS) and dissolved inorganic phosphorus (DIP) decreased. The activity of alkaline phosphatase increased gradually along the elevation gradient, and was positively correlated with the values of TP, TN and OM ( $p < 0.05$ ), but negatively to AGS and DIP ( $p < 0.01$ ). Alkaline phosphatase activity was correlated with a mechanism of substrate inductivity and product inhibition. Catalase activity had the similar trend of gradual elevation increase and enhanced the fertility of the soil and oxidative process of OM in the sediment. From the succession zones, bare flat to

基金项目 国家“973”资助项目(2002CB412406) 河北省生物工程重点学科资助项目

收稿日期 2006-07-27; 修订日期 2007-01-02

作者简介 刘存歧(1967~),河北昌黎人,博士,教授,主要从事动物生态及湿地生态学研究. E-mail liucunqi@sina.com.cn

**Foundation item** The project was financially supported by “973” national basic research program of China (No. 2002CB412406); Supported by Hebei Priority discipline

**Received date** 2006-07-27; **Accepted date** 2007-01-02

**Biography** LIU Cun-Qi, Ph. D, Professor, mainly engaged in ecology of animal and wetland. E-mail liucunqi@sina.com.cn

bulrush (*Scirpus mariqueter*) to reed (*Phragmites australis*), the activity of sucrase changed only insignificantly but the bulrush zone had a higher activity than others. The activity of proteinase decreased from bare flat to reed zone and the activity was negatively correlated with OM and TN ( $p < 0.05$ ), but positively with DIP ( $p < 0.05$ ). Through the succession zones a decrease in number of diatoms resulted in a decline in the concentration of protein, which influences the proteinase activity, suggesting that the proteinase in the sediment was produced by diatom.

**Key Words:** Yangtze River estuary; tide flat; sediment; soil enzyme; physico-chemical property

湿地 (wetland) 是介于陆地生态系统和水域生态系统之间的过渡带<sup>[1]</sup>, 具有独特的水文、土壤与生物特征, 具有滞留洪水、污染物中性化、有机质矿化和有机营养物之间相互转化、为野生动物提供栖息地等生态系统服务功能<sup>[2~4]</sup>, 也是自然界最具生物多样性的生态景观和人类赖以生存的重要环境, 对于湿地的研究与保护越来越受到人们的广泛重视。湿地生态系统具有营养汇的功能<sup>[5]</sup>, 其土壤中存在大量的高分子量的有机物, 但只有一小部分被湿地生物所利用, 因为只有低分子量的化合物才能被运输到细胞内进行氧化并作为生物的能量来源或身体的组成部分<sup>[4]</sup>。结构复杂的化合物必须通过土壤酶的分解作用才能转化成低分子量化合物, 因此土壤酶的分解作用普遍被认为是生态系统中有有机物质整个分解过程的限速步骤<sup>[5]</sup>, 控制着湿地生态系统的物质循环。所以土壤酶活性的大小影响着湿地生态系统的功能, 常常作为指示湿地物质分解循环过程快慢的重要指标<sup>[6]</sup>。很多研究显示湿地土壤酶活性具有明显时间和空间的变化<sup>[7~12]</sup>, 有机质<sup>[12~14]</sup>、酸碱度<sup>[7]</sup>、淹水条件与电子受体<sup>[15~17]</sup>等环境因子影响着酶活性的大小, 土壤酶也被用来作为判断湿地去除污染物能力的一种指标<sup>[18~21]</sup>。因此研究湿地土壤酶具有重要的意义。本文以具有典型特征的国际重要湿地-长江口崇明东滩潮滩湿地沉积物作为研究对象, 沿群落演替系列测定沉积物的理化性质和 4 种土壤酶的活性, 探讨各土壤酶活性的陆向变化及其影响因素, 以期为长江口湿地生态系统的保护和利用提供一定的理论依据。

## 1 研究区域概况与研究方法

### 1.1 研究区域概况

崇明东滩潮滩湿地位于上海市崇明岛东端, 面向我国辽阔的东海, 由长江挟带的泥沙在出海口淤积而成, 是国际重要湿地之一<sup>[22]</sup>。气候主要为季风性气候, 年均温度 15.2 ~ 16.0℃, 年均水温在 17.2 ~ 18.0℃ 之间, 年降雨量为 1123.7mm, 海水平均盐度为 0.1% ~ 0.3%。潮汐性质属于非正规半日浅潮, 潮汐作用成为潮滩形成的前提与基础。潮滩的底质为软相沉积物, 主要以细颗粒泥沙为主, 并伴有泥质粉沙。崇明东滩潮滩湿地地貌分带明显, 由于水动力学减弱和泥沙的絮凝作用, 泥沙粒径随高程 (低潮滩-中潮滩-高潮滩) 的增加而逐渐减小, 并伴有典型的自然生物群落演替系列, 沿高程增加依次为藻类盐渍带 (光滩)、海三棱藨草 (*Scirpus mariqueter*) 带和芦苇 (*Phragmites australis*) 带。由于外来种的入侵在海三棱藨草带和芦苇带之间出现了互花米草 (*Spartina alterniflora*) 镶嵌群落。由于崇明东滩湿地的地理位置重要性和生物群落的自然性, 该地成为研究河口新生潮滩湿地生态系统结构与功能的典型区域之一。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 沉积物样品的采集

崇明东滩潮滩湿地沉积物样品采集站点见图 1。沿藻类盐渍带到芦苇带陆向水平取一样带, 约 150m 设一样点, 共 11 个样点, S1 位于藻类盐渍带, S2 ~ S7 位于海三棱藨草带, S8 ~ S10 为海三棱藨草与芦苇混合带, S11 为芦苇带。每一个样点按对角线法采取 5 个样品, 每个样品各取表层沉积物 (0 ~ 10 cm) 100 g, 5 个样品等量充分混合, 放入封口袋带回实验室迅速阴凉处风干、研磨、过 80 目筛, 样品于 4℃ 保存, 待测沉积物土壤酶活性和理化因子。样品采集时间为 2002 年 8 月 31 日。

#### 1.2.2 理化因子和土壤酶活性的测定

测定沉积物样品全磷 (TP)、溶解无机磷 (DIP)、全氮 (TN)、有机质 (OM)、平均粒径 (AGS) 等 5 项理化性

质指标 ,均采用常规分析方法<sup>[23]</sup> ;酸碱度由抗水型 pH 计 (EUTECH 公司生产 )测定 ;过氧化氢酶活性的测定采用高锰酸钾容量法 ,蛋白酶采用茆三铜比色法 ,转化酶 (蔗糖酶 )采用硫代硫酸钠滴定法 ,碱性磷酸酶采用磷酸苯二钠比色法<sup>[24]</sup>。

1.2.3 数据分析

利用 SPSS 10.0 统计软件进行显著性及相关性分析。

2 结果与分析

2.1 崇明东滩潮滩湿地表层沉积物理化因子的陆向变化

崇明东滩表层沉积物理化因子陆向变化见表 1。崇明东滩以细颗粒沉积物为主 ,其沉积类型多为粘质粉砂与粉砂 ,其次有砂质粉砂、粉砂质及细沙。由于水力条件的差异 ,存在明显的沉积物分带现象。总的说来崇明东滩表层沉积物平均粒径从低潮滩 (藻类盐渍带 )到高潮滩 (芦苇带 )逐渐减小。

从藻类盐渍带到芦苇带全磷含量 (以 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 含量表示 )有增加的趋势 ,从 1.24g kg<sup>-1</sup>增加至 1.47 g kg<sup>-1</sup> ,芦苇带 S11 沉积物中全磷含量最高 ,表层沉积物溶解无机磷含量在靠近海向一侧较高 ,从藻类盐渍带到芦苇带逐渐降低 ,到 S8 样带达到最低点 ,而后又上升的趋势 ,即在芦苇带 S11 和海三棱藨草和互花米草的混合带 S10 含量有所增长。有机质含量从藻类盐渍带到芦苇带含量逐渐增大 ,到海三棱藨草和互花米草混合带 (S10 )达到最大 ,芦苇带 (S11 )略低于 S10 带。表层沉积物中全氮含量的变化趋势从 0.21 g kg<sup>-1</sup>增加到 0.68 g kg<sup>-1</sup>。沉积物中间隙水中 pH 的范围变化幅度很小 ,范围是 7.8 ~8.0。

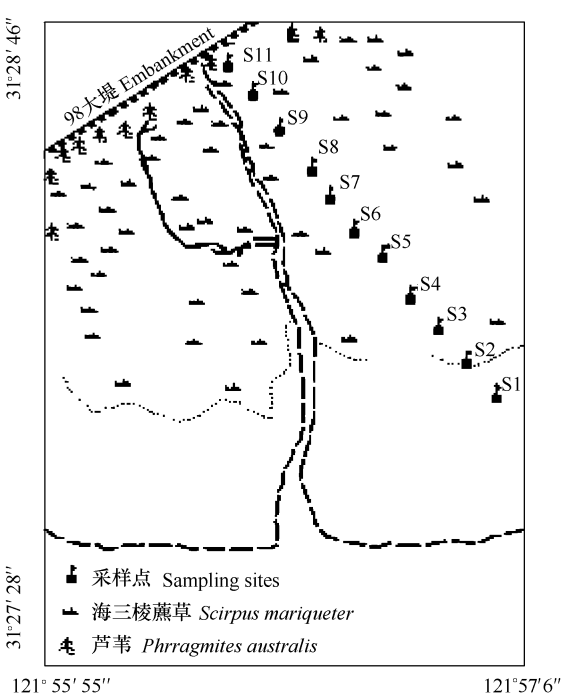


图 1 崇明东滩沉积物样品取样站位图

Fig.1 The sampling sites of sediment in the east end of Chongming Island ,the Yangtze River estuary

表 1 崇明东滩表层沉积物中物理化学性质特征

Table 1 Physico-chemical properties of the surface layer sediments in the east end of Chongming Island ,the Yangtze River estuary						
采样位点 Sampling sites	全磷 TP (g kg <sup>-1</sup> )	溶解无机磷 DIP (μg g <sup>-1</sup> )	全氮 TN (g kg <sup>-1</sup> )	有机质 OM (g kg <sup>-1</sup> )	平均粒径 AGS (μm)	pH
S1	1.24	1.709	0.21	65.76	37.18	8.0
S2	1.35	1.600	0.42	84.11	30.13	7.9
S3	1.32	1.563	0.47	99.13	40.69	7.8
S4	1.38	1.338	0.52	105.37	32.22	7.8
S5	1.39	1.040	0.54	107.81	26.22	7.8
S6	1.42	1.112	0.59	105.28	29.18	7.8
S7	1.42	0.860	0.52	105.38	25.32	7.9
S8	1.43	0.858	0.67	104.28	25.28	7.8
S9	1.43	0.925	0.61	104.64	14.82	7.8
S10	1.47	0.871	0.56	113.82	21.03	7.9
S11	1.47	0.869	0.68	107.27	15.94	7.8

TP ,total phosphorus ;DIP ,dissovled inorganic phosphorus ;TN ,total nitrogen ;OM ,organic matter ;AGS , Average grain size

2.2 崇明东滩潮滩湿地沉积物中土壤酶活性的陆向变化

碱性磷酸酶活性从藻类盐渍带到芦苇带呈现逐渐上升趋势。藻类盐渍带碱性磷酸酶活性最低 ,仅为

0.60 $\mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$  ,到达芦苇带活性最高 ,为 5.63 $\mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$  ,活性增加了 9 倍之多。

过氧化氢酶活性在崇明东滩表层沉积物中的变化趋势为在藻类盐渍带活性最低 ,随高程的增加以及植物群落的陆向演替 ,过氧化氢酶活性逐渐升高 ,在样带 S6 ~ S11 间酶活性的变化较小 ,并且趋于活性的最高值。由藻类盐渍带 (S1 )向植物带 (S2 )过渡之间酶活性变化最大 ,活性增加了 4.38 倍。

转化酶活性在样点 S1 和 S2 活性低 ,而后酶活性逐渐升高 ,在 S5 区活性最高 ,然后活性逐渐下降 ,在 S9 活性最低 ,最后在 S10 活性有所上升。

崇明东滩表层沉积物的蛋白酶活性总的变化趋势是由藻类盐渍带到芦苇带逐渐降低。藻类盐渍带蛋白酶活性最高 ,S1 ~ S5 区域的蛋白酶活性较高 ,并且变化幅度较小 ,活性降低了 9.1% ;而 S5 和 S6 间出现大幅度下降 ,活性下降了 53.7% ;但在 S6 ~ S10 之间蛋白酶的变化很小 ,在 S9 到 S10 活性稍微升高。

表 2 崇明东滩沉积物中土壤酶活性的陆向变化

Table 2 The landward changes of soil enzyme activities of sediments in the east end of Chongming island ,the Yangtze River estuary				
样点 Sampling site	碱性磷酸酶 ( $\mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) Alkaline phosphatase	过氧化氢酶 ( $\text{ml} \cdot \text{g}^{-1} (20\text{min})^{-1}$ ) Catalase	转化酶 ( $\text{ml} \cdot (10\text{g})^{-1} (24\text{h})^{-1}$ ) Sucrase	蛋白酶 ( $\mu\text{gNH}_4\text{-N} \cdot \text{g}^{-1} (24\text{h})^{-1}$ ) Proteinase
S1	0.60	0.13	3.84	10.84
S2	1.31	0.57	3.88	10.71
S3	1.91	0.70	4.28	10.09
S4	1.61	0.74	4.78	9.48
S5	2.41	0.82	5.28	9.85
S6	3.17	0.89	4.53	4.56
S7	4.37	0.82	4.18	4.38
S8	4.22	0.90	4.51	4.31
S9	4.27	0.91	3.81	3.39
S10	4.87	0.88	4.08	5.45
S11	5.63	0.87	3.84	4.68

2.3 土壤酶活性与土壤的理化因子的相关性

碱性磷酸酶活性与全磷、全氮和有机质呈显著的正相关 ,与溶解无机磷和平均粒径呈显著的负相关 ,其中与全磷和溶解无机磷的相关性最大。过氧化氢酶活性与 TP、TN 和 OM 含量间具有极显著的正相关性 ,而与 DIP 和平均粒径呈显著的负相关性 ,其中与全氮和有机质的相关性最大 ,转化酶活性与所测的理化因子相关性均不显著 ,蛋白酶活性仅与平均粒径和 DIP 含量间具有极显著的正相关性 ,与 TP、TN 和 OM 间具有显著的负相关性 (表 3 )。

表 3 崇明东滩表层沉积物中土壤酶活性与理化因子的相关性

Table 3 The correlations between soil enzyme activities and physico-chemical factors of surface sediments in the east end of Chongming island , the Yangtze River estuary					
	全磷 TP	溶解无机磷 DIP	全氮 TN	有机质 OM	平均粒径 PD
碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase	0.902 **	-0.920 **	0.810 **	0.719 *	-0.838 **
过氧化氢酶 Catalase	0.907 **	-0.824 **	0.949 **	0.952 **	-0.638 *
转化酶 Sucrase	0.065	-0.131	0.210	0.402	0.219
蛋白酶 Proteinase	-0.805 **	0.863 **	-0.750 **	-0.604 *	0.760 **

\* 表示显著性在 0.05 水平 (两尾) ,\* \* 表示显著性在 0.01 水平 (两尾)

3 讨论

3.1 崇明东滩潮滩湿地沉积物中理化因子的陆向变化

随着高程的增加 ,崇明东滩沉积物理化性质发生明显的梯度变化。由于植被的减浪作用<sup>[25]</sup> ,低潮滩到高

潮滩潮流强度逐渐减弱 ,有利于细颗粒泥沙的沉积 ,从而使沉积物平均粒径随着高程的增加而逐渐减小。

崇明东滩沉积物中有机质和总氮含量从藻类盐渍带到芦苇带逐渐升高 ,有机质含量和总氮含量呈正相关 ,说明沉积物中氮主要来源于有机质。由于植被对水流的减速作用 ,从藻类盐渍带到芦苇带的水流冲刷作用越小 ,植被的凋落物相当多部分进入土壤成为有机质 ,因此越到群落演替的较高阶段 ,植株密度越高 ,从而导致土壤的有机质含量增加的速度越高 ,进一步证实了在潮滩湿地中随着演替的发展土壤营养条件逐渐得到改善的结果<sup>[26]</sup>。

崇明东滩沉积物中全磷的含量从藻类盐渍带到芦苇带表现出逐渐增加的趋势 ,并与有机质含量成正相关 ,与平均粒径呈负相关 ,说明细颗粒有利于磷的吸附 ,植被的凋落物加速了磷的积累过程。溶解无机磷含量随着高程的增加或演替的进展而降低 ,因为随着高程的增加 ,淹水时间和频率逐渐减小 ,氧化还原电位逐渐升高 ,无机磷释放量减小 ,因此导致溶解无机磷随着高程的增加而逐渐降低。

在盐沼湿地从低潮滩到高潮滩 pH 逐渐减小<sup>[27]</sup> ,但在崇明东滩沉积物 pH 的变化不明显 ,可能是崇明东滩发育时间较短所致。

3.2 崇明东滩潮滩湿地沉积物中土壤酶活性与理化因子的关系

3.2.1 碱性磷酸酶

碱性磷酸酶能够催化有机磷向无机磷的转化反应 ,在磷的矿化过程中至关重要。碱性磷酸酶活性受各种因素的影响 ,如酸碱度、底物浓度和产物浓度等。尤其是在碱性磷酸酶活性与底物和产物之间存在着某种机制。Conter 等<sup>[28]</sup>发现可酶解磷能够诱导碱性磷酸酶活性的产生。Anronson 等<sup>[29]</sup>也注意到有机磷 (6-磷酸葡萄糖和 1-磷酸葡萄糖)的补加会导致酸性磷酸酶的活性的增加。Silva 等<sup>[29]</sup>研究了 Mandovi (Goa)河口沉积物中磷的获得性与磷酸酶之间的关系 ,发现高的磷酸酶活性对应于沉积物低的总磷浓度、正磷酸盐的浓度和高的有机磷浓度。Zhou 等<sup>[20]</sup>在研究湖泊沉积物中发现高的可酶解磷导致高的磷酸酶活性。Wright 和 Reddy<sup>[21]</sup>也证实了 Everglades 湿地碱性磷酸酶活性随磷含量的增大而增大的现象。这种机制被解释为底物诱导机制即有机磷或可酶解磷的含量的增加诱导碱性磷酸酶活性的提高。另外一个机制就是产物抑制机制 ,即高的正磷酸盐 (溶解无机磷)含量对碱性磷酸酶活性产生抑制作用 ,而低正磷酸盐含量会诱导磷酸酶活性的产生 ,这种机制尤其在水域中常为出现<sup>[31,32]</sup>。在目前湿地沉积物中碱性磷酸酶活性很少发现两种机制并存的现象。崇明东滩表层沉积物样品中 ,碱性磷酸酶活性与全磷呈极显著的正相关而与溶解无机磷含量呈极显著的负相关。说明了碱性磷酸酶活性与总磷和溶解无机磷的紧密的相互关系。由于在潮滩湿地中随着群落演替沉积物中有机质含量增加 ,有机磷含量也相应增加 ,而有机磷是碱性磷酸酶的底物 ,影响着碱性磷酸酶活性 ,高的底物浓度能够诱导微生物产生高的酶的活性 ,与前人的研究一致即存在底物诱导机制。同时溶解无机磷是碱性磷酸酶的反应产物 ,高含量时则对降低酶活性 ,而低含量时诱导碱性磷酸酶的产生。本研究综合表层数据发现碱性磷酸酶活性与全磷呈正相关 ,而与溶解无机磷呈负相关的结果 ,说明在崇明东滩潮滩湿地沉积物中关于磷释放两种机制并存 ,这两种机制的存在对于植被对无机磷的获得起到重要的调节作用。

崇明东滩沉积物中碱性磷酸酶活性与平均粒径呈负相关而有机质和总氮呈正相关 ,细颗粒有利于有机物的吸附 ,高的有机质含量也能够吸附大量的有机磷 ,诱导碱性磷酸酶活性的产生 ;同时有机质能够为微生物提供电子受体 ,因此高的有机质导致高的酶活性 ,这与前人的结果相似<sup>[33]</sup>。因此也导致了崇明东滩表层沉积物中碱性磷酸酶活随高程逐渐增加的趋势 ,也说明了高程越高有机磷的矿化率越高。

3.2.2 过氧化氢酶

过氧化氢酶催化过氧化氢转化成水的反应 ,能够指示土壤氧化强度 ,同时又是土壤肥力的指标<sup>[33]</sup>。在红树林潮滩湿地 ,沿着高程梯度发生着红树林群落的系列演替 ,由木榄群落向白骨壤群落演替。在红树林沉积物中 ,过氧化氢酶的活性逐渐增强 ,并与各群落的地上部分生物量成正比 ,体现了土壤酶活性与植物现存量的关系<sup>[26]</sup> ,即单位面积植物的现存量越高 ,土壤酶活性越大。崇明东滩沉积物中过氧化氢酶活性从藻类盐渍带到芦苇带过氧化氢酶活性逐渐增大 ,与总磷、总氮和有机质呈极显著的正相关 ,说明过氧化氢酶与土壤肥力有

良好的相关性,也说明土壤有机质不仅是其他养分的重要来源和贮藏场所,也是过氧化氢酶的来源和储藏基地。

3.2.3 转化酶

转化酶也称蔗糖酶,能催化  $\beta$ -D-呋喃果糖苷中未还原的  $\beta$ -D-呋喃果糖苷末端残基的水解,它的最适 pH 为 4.2~4.5。许多学者倾向于土壤转化酶的活性作为表征土壤肥力的重要指标<sup>[9]</sup>。转化酶的活性不仅取决于土壤有机质的含量,且更多取决于土壤的有机质类型<sup>[5]</sup>。在红树林潮滩各红树群落土壤中的转化酶活性均大于蛋白酶、脲酶和酸性磷酸酶,说明转化酶是最活跃的水解酶,能很好的反应土壤的生物学活性强度和土壤熟化程度<sup>[26]</sup>。崇明东滩沉积物中蔗糖酶的活性海三棱藨草带活性大于藻类盐渍带,但随着高程的增加转化酶活性并没有增加的趋势。通过相关性分析转化酶活性与总磷、总氮和有机质等环境因子并不存在相关性,这与红树林潮滩不同,支持了转化酶并不决定于有机质含量更决定于有机质类型的论点<sup>[12]</sup>,究竟什么原因导致转化酶的这种分布格局尚需进一步探讨。

3.2.4 蛋白酶

蛋白酶是一类作用于肽键的水解酶,引起蛋白质的分解,是土壤氮循环中的重要环节。土壤的蛋白质含量决定着蛋白酶的活性。崇明东滩潮滩从藻类盐渍带到芦苇带沉积物中蛋白酶活性降低,与沉积物的平均粒径呈极显著负相关。原因在于从低潮滩到高潮滩演变过程中,沉积物细颗粒增加和由于含水量的减少不利于浮游藻类和底栖硅藻的生长,从而使沉积物中蛋白质含量降低,此外,海三棱藨草带和芦苇带沉积物中的有机物主要以纤维素为主,因此有机物的组成影响酶的组成与活性,致使蛋白质含量降低。这种底物含量的降低,可能是导致高程越大蛋白酶活性越降低的原因,也可能崇明东滩潮滩的蛋白酶来源主要为藻菌植物有关。这一结果与在荷兰 Gooimeer 湖的研究结果一致<sup>[12]</sup>。从蛋白酶活性与理化因子的相关分析来看,蛋白酶活性并不与有机质呈正相关性,与普遍认为的高有机质导致高酶活性的结果有异,说明酶活性的高低不仅依赖于有机质的高低,更依赖于有机质的组成。这结果说明了在中高潮滩与氮循环相关的蛋白酶在植物的群落的演替方面作用不大。

从以上分析看出崇明东滩沉积物中土壤酶活性受环境因子的影响,通过回归分析更好地说明了碱性磷酸酶、过氧化氢酶、蛋白酶活性与环境条件的相互关系(相关显著)。土壤酶活性的高低决定于有机质、底物、产物含量的高低,更决定于有机物的组成。

References :

[1] Chen Y Y. Studies on Chinese wetlands. Changchun :Jilin Scientific and Technological Press ,1995.

[2] Mitsch W J ,Gosselink J G. Wetlands ,2nd Ed. Chapter 3 ,Wetland Types and Wetland Resources of North America. John Wiley & Sons ,Inc. , 1993.

[3] Sharitz R R ,Mitsch W J. Southern floodplain forests. In Biodiversity of the Southeastern United States. W. H. Martin ,S. G. Boyce and A. C. Echternacht eds. John Wiley ,1993. 311 — 372.

[4] Walbridge M R. Functions and values of forested wetlands in the southern United States. Journal of Forestry ,1993. 15 — 19.

[5] Zhou L K. Soil enzymology. Beijing :Science Press ,1987.

[6] Kiss S ,Dracan-Bularda M ,Radulesu D. Biological significance of enzymes accumulated in soil. Adv Agron ,1975 ,27 :25 — 87.

[7] Kang H ,Freeman C. Phosphatase and arylsulphatase activities in wetland soils : annual variation and controlling factors. Soil Biology & Biochemistry ,1999 ,31 :449 — 454.

[8] Wright A L ,Reddy K R. Phosphorus loading effects on extracellular enzyme activity in Everglades wetland soils. The Soil Science Society of America Journal ,2001 ,65 (2) :588 — 599.

[9] Zhang Y L ,Lin P. The seasonal and spatial dynamics of soil enzyme activities under *Kandelia candel* mangrove forests. Journal of Xiamen University (natural science) ,1999 ,38 (1) :129 — 136.

[10] Venkareswaran K ,Natarajan R. Distribution of phosphatase in sediments of Porto Novo. Indian J Mar Sci ,1983 ,12 :231 — 242.

[11] Zhou Y Y ,Li J Q ,Zhang M. Temporal and spatial variations in kinetics of alkaline phosphatase in sediments of a shallow Chinese eutrophic lake (Lake Donghu) . Water Research ,2002 ,36 :2084 — 2090.

[12] Boschker H T S ,Capenberg ,T E. Patterns of extracellular enzyme activities in littoral sediments of Lake Gooimeer ,The Netherlands. FEMS

Microbiology Ecology ,1998 ,25 :79 — 86.

[13] Boetius A ,Lochte K. Regulations of microbial enzymic degradation of organic matter in deep sea sediments. Mar. Ecol. Prog. Ser. ,1994 ,104 :299 — 307.

[14] Jackson C R ,Forman C M ,Sinsabaugh R L. Microbial enzyme activities as indicator of organic matter processing rates in a lake Erie coastal wetland. Freshwater Biol ,1995 ,34 :329 — 342.

[15] Pulford I D ,Tabatabai M A. Effects of waterlogging on enzyme activities in soil. Soil Biol Biochem ,1988 ,20 :215 — 219.

[16] Savant N K ,James A F ,McClellan G H. Effects of soil submergence on urea hydrolysis. Soil Sci ,1985 ,140 :81 — 88.

[17] Newman S ,Reddy K R. Alkaline phosphatase activity in the sediment-water column of a hypereutrophic lake. J Environ Qual ,1993 ,22 :832 — 838.

[18] Reddy K R ,D 'ANGELO E M. Biogeochemical indicators to evalute pollutant removal efficiency in Constructed wetlands. Wat Sci Tech. ,1997 ,35 ( 5 ) :1 — 10.

[19] Liang W ,Wu Z ,Zhou Q ,et al. Space distribution of microorganisms and substratum enzymes in integrated vertical constructed wetland. Environmental Science of Yunnan ,2002 21 ( 1 ) 5 — 8.

[20] Wu Z W ,Liang S. Cheng S P ,et al. Studies on correlation between the enzymatic activities in the rhizosphere and purification of wastewater in the constructed wetland. Acta Scientiae Circumstantia ,2001 21 ( 5 ) 622 — 624.

[21] Wu Z W ,Liang S ,Cheng S P ,et al. Mechanism of integrated vertical constructed wetlands treating wastewater. Resources and Environment in the Yangtze Basin ,2002 ,11 ( 2 ) :179 — 183.

[22] Lu J J. Wetlands of China. Shanghai :East China Normal University Press ,1990.

[23] Nanjing soil institute ,AC. Physic-chemical analysis of soils. Shanghai :Shanghai Scientific and Technological Press ,1978.

[24] Guan S Y. soil enzymes and their methology. Beijing :Agriculture Press ,1986.

[25] Yang S L ,Chen J Y. The role of vegetation in mud coast processes. Oceanologia et Limnologia Sinica ,1994 25 ( 6 ) :631 — 635.

[26] He B ,Wen G Y ,Yuan X ,et al. Studies on soil physical and chemical properties and enzyme activities of different mangrove communities in Luogang Bay of Guangxi. Forest Science ,38 ( 2 ) 21 — 26.

[27] Mitsch W J ,Gosselink J G. Wetlands. New York :John Wiley & Sons ,Inc ,2000.

[28] Conter Jr J B ,Health J R. Potential phosphate release from phosphomonoesters by acid phosphatase in a bog lake. Arch. Hydrobiol ,1988 ,111 :329 — 338.

[29] Anronson S ,Patni N J. The role of surface and extracellular phosphatase in the phosphatase in the requirement of Oocbromonas. Limnol Oceanogr ,1976 ,21 :838 — 845.

[30] Zhou Y Y ,Li J Q ,Zhang M. Vertical variations in kinetics of alkaline phosphatase and P species in sediments of a shallow Chinese eutrophic lake (Lake Donghu ). Hydrobiologia ,2001 ,450 :91 — 98.

[31] Chrost R J ,Siuda W ,Halemejk G. Long term studies on alkaline phosphatase activity (APA ) in a lake with fish-aquaculture in relation and phosphorus cycle. Arch Hydrobiol Suppl ,1984 ,70 :1 — 32.

[32] Pettersson K. The availability of phosphorus and the species composition of the spring phytoplankton in Lake Erken. Int Revueges Hydrobiol ,1985 ,70 :527 — 546.

[33] Xu G H. Studies on distribution of soil microorganism and biochemical properties in the north slope of the natural conservative zone of Changbaishang Mountain. Acta Ecologica Sinica ,1984 ,4 ( 3 ) 207 — 223.

参考文献：

[1] 陈宜瑜. 中国湿地研究. 长春 :吉林科技出版社 ,1995.

[5] 周礼恺. 土壤酶学. 北京 :科学出版社 ,1987.

[9] 张银龙 林鹏. 秋茄红树林土壤酶活性时空动态. 厦门大学学报 (自然科学) ,1999 38 ( 1 ) :129 ~ 136.

[19] 梁威 吴振斌 周巧红 等. 复合垂直流构建湿地基质微生物类群及酶活性的空间分布. 云南环境科学 2002 21 ( 1 ) 5 ~ 8.

[20] 吴振斌 梁威 成水平 等. 人工湿地植物根区土壤酶活性与污水净化效果及其相关分析. 环境科学学报 2001 21 ( 5 ) 622 ~ 624.

[21] 吴振斌 梁威 成水平 等. 复合垂直流构建湿地净化污水机制研究. 长江流域资源与环境 2002 ,11 ( 2 ) :179 ~ 183.

[22] 陆健建. 中国湿地. 上海 :华东师范大学出版社 ,1990.

[23] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海 :上海科学技术出版社 ,1978.

[24] 关松荫. 土壤酶及其研究方法. 北京 :农业出版社 ,1986.

[25] 杨世伦 陈吉余. 试论植物在潮滩发育演变中的作用. 海洋与湖沼 ,1994 25 ( 6 ) 631 ~ 635.

[26] 何斌 温远光 袁霞 等. 广西英罗港不同红树植物群落土壤理化性质与酶活性的研究. 林业科学 38 ( 2 ) 21 ~ 26.

[33] 许光辉. 长白山北坡自然保护区森林土壤微生物生态分布及其生化特性的研究. 生态学报 ,1984 4 ( 3 ) 207 ~ 223.