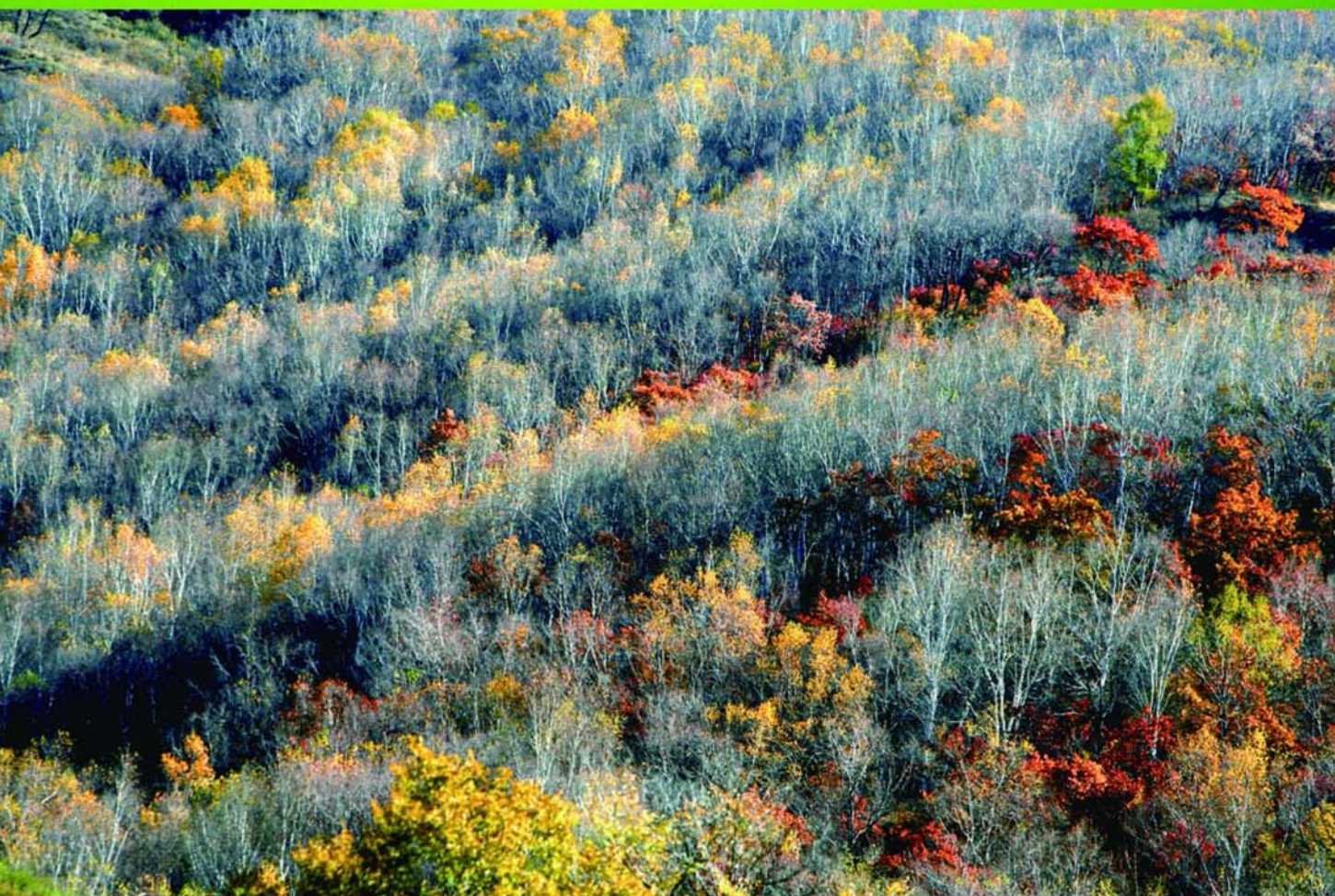


ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第16期 Vol.31 No.16 **2011**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 16 期

2011 年 8 月 (半月刊)

目次

人工和天然湿地芦苇根际土壤细菌群落结构多样性的比较·····	汪仲琼,王为东,祝贵兵,等 (4489)
不同土壤水分下山杏光合作用光响应过程及其模拟·····	郎莹,张光灿,张征坤,等 (4499)
不同颜色遮阳网遮光对丘陵茶园夏秋茶和春茶产量及主要生化成分的影响·····	秦志敏,付晓青,肖润林,等 (4509)
镉胁迫对烟草叶激素水平、光合特性、荧光特性的影响·····	吴坤,吴中红,邵付菊,等 (4517)
条浒苔和缘管浒苔对镉胁迫的生理响应比较·····	蒋和平,郑青松,朱明,等 (4525)
盐胁迫对拟南芥和盐芥莲座叶芥子油苷含量的影响·····	庞秋颖,陈思学,于涛,等 (4534)
长期双季稻绿肥轮作对水稻产量及稻田土壤有机质的影响·····	高菊生,曹卫东,李冬初,等 (4542)
基于水量平衡下灌区农田系统中氮素迁移及平衡的分析·····	杜军,杨培岭,李云开,等 (4549)
苏北海滨湿地互花米草种子特征及实生苗生长·····	徐伟伟,王国祥,刘金娥,等 (4560)
基于 AnnAGNPS 模型的三峡库区秭归县非点源污染输出评价·····	田耀武,黄志霖,肖文发 (4568)
镉污染对不同生境拟水狼蛛氧化酶和金属硫蛋白应激的影响·····	张征田,庞振凌,夏敏,等 (4579)
印度洋南赤道流区水体叶绿素 a 的分布及粒级结构·····	周亚东,王春生,王小谷,等 (4586)
长江口滩涂围垦后水鸟群落结构的变化——以南汇东滩为例·····	张斌,袁晓,裴恩乐,等 (4599)
应用鱼类完整性指数 (FAII) 评价长江口沿岸碎波带健康状况·····	毛成贵,钟俊生,蒋日进,等 (4609)
基于渔业调查的南极半岛北部水域南极磷虾种群年龄结构分析·····	朱国平,吴强,冯春雷,等 (4620)
水稻模型 ORYZA2000 在湖南双季稻区的验证与适应性评价·····	莫志鸿,冯利平,邹海平,等 (4628)
旱地农田不同耕作系统的能量/碳平衡·····	王小彬,王燕,代快,等 (4638)
宁夏黄灌区稻田冬春休闲期硝态氮淋失量·····	王永生,杨世琦 (4653)
太湖沉积物有机碳与氮的来源·····	倪兆奎,李跃进,王圣瑞,等 (4661)
日偏食对乌鲁木齐空气可培养细菌群落的影响·····	马晶,孙建,张涛,等 (4671)
灰飞虱与褐飞虱种内和种间密度效应比较·····	吕进,曹婷婷,王丽萍,等 (4680)
圈养马来熊行为节律和时间分配的季节变化·····	兰存子,刘振生,王爱善,等 (4689)
塔里木荒漠河岸林干扰状况与林隙特征·····	韩路,王海珍,陈加利,等 (4699)
珍稀植物伯乐树一年生更新幼苗的死亡原因和保育策略·····	乔琦,秦新生,邢福武,等 (4709)
垃圾堆肥复合菌剂对干旱胁迫下草坪植物生理生态特性的影响·····	多立安,王晶晶,赵树兰 (4717)
CLM3.0-DGVM 中植物叶面积指数与气候因子的时空关系·····	邵璞,曾晓东 (4725)
基于生态效率的辽宁省循环经济分析·····	韩瑞玲,佟连军,宋亚楠 (4732)
专论与综述	
土壤食物网中的真菌/细菌比率及测定方法·····	曹志平,李德鹏,韩雪梅 (4741)
生态社区评价指标体系研究进展·····	周传斌,戴欣,王如松,等 (4749)
问题讨论	
不同胁迫条件下化感与非化感水稻 PAL 多基因家族的差异表达·····	方长甸,王清水,余彦,等 (4760)
研究简报	
钦州湾大型底栖动物生态学研究·····	王迪,陈丕茂,马媛 (4768)
人工恢复黄河三角洲湿地土壤碳氮含量变化特征·····	董凯凯,王惠,杨丽原,等 (4778)
基于地统计学丰林自然保护区森林生物量估测及空间格局分析·····	刘晓梅,布仁仓,邓华卫,等 (4783)
晋西黄土区辽东栎、山杨树干液流比较研究·····	隋旭红,张建军,文万荣 (4791)
小兴安岭典型苔草和灌木沼泽 N ₂ O 排放及影响因子·····	石兰英,牟长城,田新民,等 (4799)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-08	



封面图说: 在长白山麓低海拔地区的晚秋季节,成片的白桦林用无数根白色的树干、树枝烘托着林冠上跳动的金黄色叶片,共生的柞木树冠用更浓重的颜色显示了它的存在,整个山梁层林尽染,秋意浓浓。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

董凯凯, 王惠, 杨丽原, 杨宝山, 解伏菊. 人工恢复黄河三角洲湿地土壤碳氮含量变化特征. 生态学报, 2011, 31 (16): 4778-4782.

Dong K K, Wang H, Yang L Y, Yang B S, Xie F J. Change characteristics of soil carbon and nitrogen contents in the Yellow River Delta soil after artificial restoration. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31 (16): 4778-4782.

人工恢复黄河三角洲湿地土壤碳氮含量变化特征

董凯凯¹, 王惠^{2,*}, 杨丽原¹, 杨宝山¹, 解伏菊¹

(1. 济南大学资源与环境学院, 山东济南 250022; 2. 山东大学生命科学学院生态学与生物多样性研究所, 山东济南 250100)

摘要:为阐明湿地恢复对土壤碳氮含量的影响,以黄河三角洲芦苇湿地为研究对象,比较了退化区与连续淡水恢复区土壤 pH 值、盐分、有机碳、全氮、氨态氮、硝态氮的含量变化,研究表明,(1)随着恢复年限的增加,各样地各层土壤 pH 值总体上降低,电导率显著降低($P < 0.05$),表明退化湿地的人工恢复可明显降低其盐度;恢复区上层(0—20cm)土壤盐分均低于下层(20—40cm),未恢复区则相反;(2)随着恢复年限的增加,0—20cm 土壤有机碳、全氮含量增加,分别由恢复前的(7.710±0.756) g/kg、(0.66±0.021) g/kg 增加到恢复 7a 后的(16.96±0.213) g/kg、(1.277±0.027) g/kg,恢复区有机碳、全氮含量在空间上的变化表现为上层大于下层;(3)各样地硝态氮含量均低于氨态氮含量,碳氮比值介于 4—8 之间;(4)相关分析表明,湿地恢复后土壤各因子间有显著的相关性,有机碳与全氮两者显著正相关,氨态氮与 pH、盐分、有机碳、全氮均达到极显著正相关关系($P < 0.01$)。该研究结果对于评估湿地恢复效应,指导湿地恢复的实践具有重要作用。

关键词:人工恢复;黄河三角洲湿地;湿地土壤;碳氮

Change characteristics of soil carbon and nitrogen contents in the Yellow River Delta soil after artificial restoration

DONG Kaikai¹, WANG Hui^{2,*}, YANG Liyuan¹, YANG Baoshan¹, XIE Fujun¹

1 School of Resources and Environment, University of Jinan, Jinan 250022, China

2 Institute of Ecology and biodiversity, School of Life Science, Shandong University, Jinan 250100, China

Abstract: The Yellow River Delta wetland is the largest wetland ecosystem in the warm temperate zone of China and it is one of the most active regions of land-ocean interaction among the large river deltas in the world. To restore the degraded wetlands in the Yellow River Delta, freshwater was supplied during the flood season from June to July. In order to explore the effect of wetlands restoration on the soil organic carbon and nitrogen, the changes of pH value, electricity conductivity, soil organic carbon (SOC), total nitrogen (TN), $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$ in the degraded and restored reed wetlands of Yellow River Delta were analysed. The results showed that: (1) pH values generally decreased in the two soil layers and the electrical conductivity significantly declined ($P < 0.05$) with the increasing practice time. It indicated that providing freshwater reduced the salt obviously. Soil electricity conductivity in the lower soil layer (20—40cm) was lower than upper soil layer (0—20cm) in restored area. But it is the opposite trend in degraded sites comparing to the restored sites. (2) The SOC and TN in the 0—20cm soil layer increased with recovery time. The SOC and TN were (7.710±0.756) g/kg, (0.66±0.021) g/kg and (16.96±0.213) g/kg, (1.277±0.027) g/kg before and after seven years artificial restoration, respectively. The upper soil layer (0—20cm) had more SOC and TN than the lower soil layer (20—40cm) in the restored sites. But the concentrations of SOC and TN had no significant change ($P > 0.05$) in the two soil depth in degraded sites. (3) The $\text{NH}_4^+\text{-N}$ was higher than $\text{NO}_3^-\text{-N}$ in all sample sites. The concentrations of $\text{NO}_3^-\text{-N}$ in 3 years restored sites and

基金项目:人事部博士后基金资助项目(200902569; 20070421082);山东省自然科学基金项目(ZR2009DM028);水体污染控制与治理重大专项(2009ZX07212-003);济南市软科学项目(200817057)

收稿日期:2010-09-16; 修订日期:2010-12-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hwang_118@163.com

$\text{NH}_4^+\text{-N}$ in 5 years restored sites was obviously lower than that in the degraded area ($P < 0.01$). The ratios of C/N were between 4 and 8, suggesting that N concentration was not limiting soil decomposition rates. (4) Meanwhile, the correlation analysis showed that there were significant correlations among soil properties. SOC had significantly positive correlation with TN ($r = 0.947$, $P < 0.01$). It suggested that the N was from the soil organic matter (SOM). The soil C:N was significantly correlated with SOM. The significant positive correlations between $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and pH value, electricity conductivity, SOC, TN were also found ($P < 0.01$), while $\text{NO}_3^-\text{-N}$ and TN having negative correlations ($P < 0.05$). The research provide base information for the evaluation of wetlands restoration and the degraded wetlands restoration practice. But further studies are needed to determine long-term changes in soil processes within the wetlands in the Yellow River Delta.

Key Words: artificial recovery; Yellow River Delta; wetland soil; carbon and nitrogen

土壤有机碳和氮素是土壤养分的重要组成部分,也是湿地生态系统的重要生源要素,对提高湿地生态系统的生产力,维持湿地生态系统的功能具有重要作用^[1]。湿地被称为“地球之肾”,在蓄洪防旱、调节气候、控制土壤侵蚀、降解环境污染等方面起着重要作用^[2]。近年来,由于全球环境变化及工农业的迅猛发展,湿地生态功能严重退化^[3],湿地生态系统的恢复与重建已成为各国研究的热点内容,其中回灌淡水是退化湿地人工恢复的主要措施之一。

目前关于退化湿地人工恢复效应的研究,多集中在湿地植物多样性的恢复、土壤养分及土壤微生物多样性变化等方面^[4-6]。对淡水恢复后湿地土壤有机碳与氮含量随恢复时间的变化及其影响因素的研究还鲜见报道。本研究以黄河三角洲芦苇湿地为研究对象,比较了退化区与连续淡水恢复区典型土壤理化性质(酸碱度、电导率等)及有机碳与氮含量的变化特征,探讨了土壤碳氮与典型土壤性质的关系。该研究不仅可为评估淡水恢复对湿地生态系统生源要素的影响提供基础数据,而且对于其他湿地的恢复实践具有指导作用。

1 研究区概况

研究地区位于黄河三角洲国家级自然保护区,是黄河在渤海湾与莱州湾之间汇入渤海形成的我国温带最广阔、最完整和最年轻的原生湿地生态系统($37^\circ 35' - 38^\circ 12' \text{N}$, $118^\circ 33' - 119^\circ 20' \text{E}$),属温带大陆性季风气候,年平均气温为 12.3°C ,平均年降水量为 555.9 mm ,多集中在 7、8 月份^[7-8]。研究区的主要植物物种有芦苇(*Phragmites communis*)、白蜡(*Fraxinus*)、白茅(*Imperata cylindrica*)、怪柳(*Tamarix chinensis*)等。

黄河三角洲湿地恢复工程自 2002 年 7 月起实施,恢复区位于黄河三角洲自然保护区的核心区及实验区,为恢复退化湿地,修筑了 4 个蓄水水库和 1 个引水渠,同时修建了长 9 m,宽 3.4 m,高 1.5 m 的围堤以避免潮水冲刷。水文恢复方案为每年 6 月上旬在黄河丰水期向恢复区引入黄河水,恢复工程设计淡水输入量每年约为 $3 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。该研究选择恢复不同时间后的芦苇湿地为研究区域。

2 分析方法和数据处理

2.1 土壤样品采集

2009 年春季,在黄河三角洲选取 4 类典型样地:未进行人工恢复的退化湿地(I),恢复 3a 湿地(II),恢复 5a 湿地(III),恢复 7a 湿地(IV),每个样地随机确定 9 个样点,每个样点按 0—20 cm、20—40 cm 分层采取土样,3 个样点的同层次土样充分混合为一个样品。将样品带回实验室,拣出根及其他枯落物,将一半新鲜土样于 $0-4^\circ \text{C}$ 保存,用于土壤硝态氮、氨态氮的测定,另一半土样自然风干,用 2、0.25 mm 直径的土壤筛筛取土样,进行土壤有机碳、全氮等的测定。

2.2 土壤样品测定

土壤样品的 pH 值用酸度计(PHS-3D)测定(水土比 2.5:1);电导率(水溶性盐总量 EC)用电导法(DDS-307 电导率仪)测定(水土比 5:1);有机碳(SOC)含量用重铬酸钾容量法-消煮法测定;全氮(TN)测定用重铬

酸钾-硫酸消化法;硝态氮(NO_3^- -N)含量用酚二磺酸比色法测定,氨态氮(NH_4^+ -N)用2mol/LKCl浸提-靛酚蓝比色法测定^[9]。

2.3 数据处理

根据测得的土壤酸碱度、电导率(盐度)、SOC、TN、氨态氮和硝态氮值,对不同恢复年限湿地的典型土壤特征及碳氮关系进行统计分析。运用EXCEL进行统计数据处理,运用SPSS13.0均值比较 T 检验法进行差异性分析。

3 结果与分析

3.1 湿地土壤盐分及pH变化

因黄河三角洲湿地是典型盐碱湿地,本研究选择人工恢复湿地的典型土壤特征盐度和pH进行研究。如表1所示,恢复区湿地各层土壤的含盐量均低于未恢复区,只为未恢复区土壤盐分的4%—24%,且随着恢复年限的增加,各层土壤的电导率值显著降低($P<0.01$),表明人工恢复可明显降低退化湿地的盐度;在未恢复区,上层土壤盐分高于下层,分别为8.975ds/m、4.688 ds/m,恢复区则相反,这是因为通过淡水恢复,水资源得到充分供给,地表覆水减少了因蒸发而带来的表层水分流失、下层盐分向上迁移所导致的地表积盐现象,并且通过地表径流溶盐洗碱使恢复区内土壤盐分逐年下降。恢复区与未恢复区pH值差异不明显,出现波动,总体上呈现出随着恢复年限的增加而降低的趋势。

3.2 湿地土壤碳氮含量变化

土壤全氮与有机碳含量,是土壤肥力高低的重要指标之一,也是评价湿地土壤碳氮源汇功能的重要指示。土壤化学性质的变化会直接或间接影响土壤质量的高低。土壤有机质和氮素含量取决于有机物的输入量与输出量,在无外源人为碳氮输入的环境中,土壤有机质的输入量主要取决于有机残体归还量以及有机残体的腐殖化系数,其输出量主要包括分解、侵蚀损失,受各种生物和非生物条件(土壤含水量、氧化还原电位等)的控制^[10];氮素的输入量主要依赖于植物残体的归还量及生物固氮等^[11]。

从表2可以看出,在恢复区,随着湿地恢复时间的增加,土壤有机碳含量逐渐增加,恢复3a、5a和7a的上层湿地土壤有机碳含量分别为(8.810±0.155)g/kg、(7.997±0.330)g/kg、(16.96±0.213)g/kg,显著高于未恢复区(7.710±0.756)g/kg($P<0.01$)。恢复5a区的下层土壤有机碳含量与未恢复区下层土壤相比,差异显著($P<0.05$)。恢复区内有机碳在空间上的变化表现为上层大于下层,并且在恢复5a与7a后上层、下层的二者含量有显著差异($P<0.05$)。这是由于湿地恢复后,恢复区土壤长期处于渍水状态,通透能力较差,还

表1 黄河三角洲湿地不同恢复年限土壤电导率及pH

Table 1 SOC and pH in the soil of the Yellow River Delta wetlands with different restoration time

	电导率 Conductivity/(ds/m)		pH	
	0—20 cm	20—40 cm	0—20 cm	20—40 cm
I	8.975 **	4.688 **	8.477	8.352
II	0.935 **	1.144 **	8.352	8.303
III	0.696 **	1.027 **	8.367	8.44
IV	0.327 **	0.364 **	8.222	8.308

* * 表示显著性水平 $P<0.01$

表2 黄河三角洲湿地不同恢复年限土壤碳氮含量

Table 2 The content of carbon and nitrogen in the Yellow River Delta wetlands with different restoration time

样地 Sample plot	土壤深度 Soil depth/cm	SOC /(g/kg)	TN /(g/kg)	NH_4^+ -N /(mg/kg)	NO_3^- -N /(mg/kg)
I	0—20	7.710±0.756	0.66±0.021	17.277±0.450	4.912±3.605
	20—40	6.870±0.943	0.679±0.020	9.942±0.677	1.830±1.348
II	0—20	8.810±0.155 **	0.687±0.001 **	9.974±0.536 **	1.368±0.927 *
	20—40	4.716±0.860	0.549±0.069	9.352±0.893	3.264±1.590
III	0—20	7.997±0.330 **	0.921±0.009 **	13.682±2.694	0.382±0.323 **
	20—40	6.176±0.077 *	0.582±0.017 **	13.413±2.700	2.616±1.217
IV	0—20	16.96±0.213 **	1.277±0.027 **	15.893±3.450	2.475±1.858
	20—40	6.996±0.555	0.624±0.016 *	8.858±3.677	3.639±3.075

平均值±标准差; * * 表示显著性水平 $P<0.01$; * 表示显著性水平 $P<0.05$

原性环境下植物残体分解缓慢,有机质大量赋存累积。未恢复区上下层有机碳含量较为接近,无明显差异($P > 0.05$)。

恢复区土壤全氮含量随恢复时间的增加而逐渐增加,各恢复区的全氮含量均显著高于未恢复区($P < 0.01$);未恢复区上层与下层全氮含量较为接近,无明显差异($P > 0.05$);恢复 7a 区的全氮含量与未恢复区相比,差异显著($P < 0.05$)。这主要是由于随着地表生物量和地表凋落物增加,在土壤微生物作用下,土壤中全氮含量增加。土壤中的无机氮主要以 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 存在,可为植物直接利用,是植被生长所必需的养分。硝化作用是指在硝化细菌的作用下,氨态氮被氧化为硝酸盐和亚硝酸盐^[12]。如表 2 所示,在样地各层,硝态氮含量均低于氨态氮含量,恢复 5a 的氨态氮含量明显低于未恢复区($P < 0.01$),恢复 3a 的硝态氮含量也明显低于未恢复区($P < 0.01$)。这可能是由于湿地通过淡水恢复,pH、碳氮比、水分条件均发生变化,这些因素可显著影响硝化作用的进行。

通常认为土壤碳氮比是土壤氮素矿化能力和土壤有机质分解是否受土壤氮限制的重要标志。碳氮比低于 25 说明土壤有机质腐殖化程度高,有助于有机质分解,使土壤中有效氮增加,同时土壤有机质分解不受氮缺乏限制;反之,则微生物分解有机质的功能受土壤氮限制,不利于植物的生长及净初级生产力的增加,土壤有机质分解受氮限制^[13]。如表 3 所示,各样地各层的碳氮比值介于 4—8 之间,远远低于 25,

随着恢复年限的增加,上层土壤碳氮比逐渐降低,说明黄河三角洲湿地土壤随着淡水恢复的实施,虽然土壤有机碳含量增加,但腐殖化程度仍在提高,氮矿化能力增强。恢复 3a 与 5a 的下层土壤 C/N 比低于未恢复区,氮矿化能力增强,恢复 7a 区略有上升。土壤碳氮比在空间上的变化体现为随着深度的增加逐渐下降。

3.3 土壤碳氮间及与典型土壤性质的关系

从表 4 可以看出,土壤各因子间有着明显的相关关系,有机碳与全氮相关关系密切,相关性达到极显著正相关关系($r=0.947$; $P < 0.01$),说明湿地土壤氮素主要以有机氮的形式存在于有机质中。氨态氮与 pH、盐分、有机碳、全氮均达到极显著正相关关系($r=0.287, 0.438, 0.550, 0.522, 0.226$; $P < 0.01$);氨态氮与硝态氮呈极显著负相关关系($r=-0.226$; $P < 0.01$);全氮与硝态氮呈显著负相关关系($r=-0.331$; $P < 0.05$)。

表 3 黄河三角洲湿地不同恢复年限湿地土壤 C/N

Table 3 C/N ratios in the soils of the Yellow River Delta wetlands with different restoration time

土壤深度 Soil depth/cm	C/N			
	I	II	III	IV
0—20	7.704	6.776	6.179	5.037
20—40	6.503	5.869	4.982	6.156

表 4 土壤性质间的相关关系

Table 4 Relationships between carbon and nitrogen and other soil properties

	pH	EC	SOC	TN	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	$\text{NO}_3^-\text{-N}$
pH	1					
EC	0.668 **	1				
SOC	-0.564 **	-0.167	1			
TN	-0.574 **	-0.253	0.947 **	1		
$\text{NH}_4^+\text{-N}$	0.287 **	0.438 **	0.550 **	0.522 **	1	
$\text{NO}_3^-\text{-N}$	0.226 **	0.540	-0.090	-0.331 *	-0.226 **	1

4 结论与讨论

已有研究表明黄河三角洲湿地退化是由淡水输入减少及海水入侵造成的,本研究结果显示通过多年淡水恢复,水资源得到充分供给,从而改变了土壤的化学性质,降低了地表水分蒸发引起的地表积盐,同时通过地表径流溶盐洗碱,使恢复区内土壤盐分逐年下降且低于未恢复区。这表明人工淡水恢复退化湿地对降低盐碱湿地盐度有显著影响。人工淡水恢复区上层土壤盐分均低于下层,未恢复区则相反。

湿地中有机碳含量由许多因素决定,如水文情况,地形,植物群落类型,温度,酸碱度,盐度。白军红等认为恢复 1a 到 5a 的淡水湿地中土壤粘粒含量、植物凋落物、土壤含水量、水位显著影响有机碳和总氮的空间分

布^[14]。但 Cole 等通过对美国宾夕法尼亚州 7 个人工恢复湿地研究发现,有机质与植物生物量、水深并没有显著关系^[15]。在本研究中,淡水恢复可改变土壤碳氮含量状况,即随着恢复年限的增长,恢复区有机碳、全氮含量逐渐上升,明显高于未恢复区,上层含量高于下层。并且土壤各因子间有显著的相关性,有机碳与全氮呈极显著正相关关系,说明湿地恢复后土壤碳氮变化存在关联性,退化湿地人工恢复后土壤化学特征的改变将影响土壤有机碳与氮含量的变化。研究单个土壤物理化学因素的变化及多因素共同变化对碳氮含量的影响,对湿地恢复后土壤碳汇功能及湿地生态系统生产力的评价具有重要意义。

在各试验区土壤碳氮比较远低于 25,表明微生物分解有机质的过程不受氮的限制,利于养分的释放;在恢复区上层碳氮比随恢复年限的增长逐渐下降,表明虽然土壤有机碳含量增加,但腐殖化程度仍在提高,氮矿化能力增强。在所研究的恢复时间内,硝态氮含量显著低于氨态氮,说明淡水恢复过程中有机氮氨化作用高于硝化作用。已有研究表明,适度浸水土壤硝化功能增强^[16],而本研究土壤硝态氮显著低于氨态氮,可能与黄河三角洲湿地特殊的盐碱土壤环境及微生物群落组成有关,恢复湿地土壤氨化和矿化作用能力及其机制的研究。

References:

- [1] Bai J H, Deng W, Zhu Y M, Luan Z Q, Zhang Y X. Spatial distribution characteristics and ecological effects of carbon and nitrogen of soil in Huolin River catchment wetland. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(9): 1494-1498.
- [2] Zhang Y Z. A review of ecological restoration studies on natural wetland. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(2): 309-314.
- [3] Wu H J, Wang X L. Progresses of evaluation of wetlands' ecological restoration effects in China. *Wetland Science*, 2006, 4(4): 304-310.
- [4] Hunter R G, Faulkner S P, Gibson K A. The importance of hydrology in restoration of bottomland hardwood wetland functions. *Wetlands*, 2008, 28(3): 605-615.
- [5] Henry C P, Amoros C, Roset N. Restoration ecology of riverine wetlands: a 5-year post-operation survey on the Rhône River, France. *Ecological Engineering*, 2002, 18(5): 543-554.
- [6] Hernandez M E, Mitsch W J. Denitrification in created riverine wetlands: Influence of hydrology and season. *Ecological Engineering*, 2007, 30(1): 78-88.
- [7] Tang N, Cui B S, Zhao X S. The restoration of reed (*Phragmites australis*) wetland in the Yellow River Delta. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(8): 2616-2624.
- [8] Zhang X L, Li P Y, Liu Y L, Xu Y X, Cao C X, Shan K. Studies on the wetland of the Yellow River Delta: a review. *Marine Sciences*, 2007, 31(7): 381-385.
- [9] Bao S D. *Soil Agriculturalization Analysis*. Beijing: China Agriculture Publishing House, 2000.
- [10] Ding Q W, Bai J H, Gao H F, Xiao R, Cui B S. Soil nutrient contents in Yellow River Delta Wetlands with different plant communities. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(10): 2092-2097.
- [11] Wang L, Ouyang H, Zhou C P, Zhang F, Bai J H, Peng K. Distribution characteristics of soil organic matter and nitrogen on the eastern slope of Mt. Gongga. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 59(6): 1012-1019.
- [12] Sun Z G, Liu J S. Nitrification-denitrification and its affecting factors in wetland soil—a review. *Chinese Journal of Soil Science*, 2008, 39(6): 1462-1467.
- [13] Paul E A, Clark F E. *Soil Microbiology and Biochemistry*. San Diego: Academic Press, 1989.
- [14] Bai J H, Ouyang H, Deng W, Wang Q G, Chen H, Zhou C P. Nitrogen mineralization processes of soils from natural saline-alkalined wetlands, Xianghai National Nature Reserve, China. *Canadian Journal of Soil Science*, 2005, 85(3): 359-367.
- [15] Cole A C, Brooks R P, Wardrop D H. Assessing the relationship between biomass and soil organic matter in created wetlands of central Pennsylvania, USA. *Ecological Engineering*, 2001, 17(4): 423-428.
- [16] Flowers T H, O'Callaghan J R. Nitrification in soils incubated with pig slurry or ammonium sulphate. *Soil Biological Biochemistry*, 1983, 15(3): 337-342.

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] 张永泽. 自然湿地生态恢复研究综述. *生态学报*, 2001, 21(2): 309-314.
- [3] 吴后建, 王学雷. 中国湿地生态恢复效果评价研究进展. *湿地科学*, 2006, 4(4): 304-310.
- [7] 唐娜, 崔保山, 赵欣胜. 黄河三角洲芦苇湿地的恢复. *生态学报*, 2006, 26(8): 2616-2624.
- [8] 张晓龙, 李培英, 刘月良, 徐兴永, 曹成效, 单凯. 黄河三角洲湿地研究进展. *海洋科学*, 2007, 31(7): 381-385.
- [9] 鲍士旦. *土壤农化分析*. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [10] 丁秋伟, 白军红, 高海峰, 肖蓉, 崔保山. 黄河三角洲湿地不同植被群落下土壤养分含量特征. *农业环境科学学报*, 2009, 28(10): 2092-2097.
- [11] 王琳, 欧阳华, 周才平, 张锋, 白军红, 彭奎. 贡嘎山东坡土壤有机质及氮素分布特征. *地理学报*, 2005, 59(6): 1012-1019.
- [12] 孙志高, 刘景双. 湿地土壤的硝化-反硝化作用及影响因素. *土壤通报*, 2008, 39(6): 1462-1467.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.31 ,No. 16 August ,2011 (Semimonthly)

CONTENTS

A comparative study on the diversity of rhizospheric bacteria community structure in constructed wetland and natural wetland with reed domination	WANG Zhongqiong, WANG Weidong, ZHU Guibing, et al (4489)
Light response of photosynthesis and its simulation in leaves of <i>Prunus sibirica</i> L. under different soil water conditions	LANG Ying, ZHANG Guangcan, ZHANG Zhengkun, et al (4499)
Effects of colour shading on the yield and main biochemical components of summer-autumn tea and spring tea in a hilly tea field	QIN Zhimin, FU Xiaoqing, XIAO Runlin, et al (4509)
Effects of cadmium on the contents of phytohormones, photosynthetic performance and fluorescent characteristics in tobacco leaves	WU Kun, WU Zhonghong, TAI Fujun, et al (4517)
Comparative physiological responses of cadmium stress on <i>Enteromorpha clathrata</i> and <i>Enteromorpha linza</i>	JIANG Heping, ZHENG Qingsong, ZHU Ming, et al (4525)
Effects of salt stress on glucosinolate contents in <i>Arabidopsis thaliana</i> and <i>Thellungiella halophila</i> rosette leaves	PANG Qiuying, CHEN Sixue, YU Tao, et al (4534)
Effects of long-term double-rice and green manure rotation on rice yield and soil organic matter in paddy field	GAO Jusheng, CAO Weidong, LI Dongchu, et al (4542)
Nitrogen balance in the farmland system based on water balance in Hetao irrigation district, Inner Mongolia	DU Jun, YANG Peiling, LI Yunkai, et al (4549)
Seed characteristics and seedling growth of <i>Spartina alterniflora</i> on coastal wetland of North Jiangsu	XU Weiwei, WANG Guoxiang, LIU Jin'e, et al (4560)
Assessment of non-point source pollution export from Zigui county in the Three Gorges Reservoir area using the AnnAGNPS model	TIAN Yaowu, HUANG Zhilin, XIAO Wenfa (4568)
Effects of Cadmium pollution on oxidative stress and metallothionein content in <i>Pirata subpiraticus</i> (Araneae: Lycosidae) in different habitats	ZHANG Zhengtian, PANG Zhenling, XIA Min, et al (4579)
The distribution of size-fractionated chlorophyll a in the Indian Ocean South Equatorial Current	ZHOU Yadong, WANG Chunsheng, WANG Xiaogu, et al (4586)
Change of waterbird community structure after the intertidal mudflat reclamation in the Yangtze River Mouth: a case study of NanHui Dongtan area	ZHANG Bin, YUAN Xiao, PEI Enle, et al (4599)
Application of fish assemblage integrity index (FAII) in the environment quality assessment of surf zone of Yangtze River estuary	MAO Chengze, ZHONG Junsheng, JIANG Rijin, et al (4609)
Population age structure of Antarctic krill <i>Euphausia superba</i> off the northern Antarctic Peninsula based on fishery survey	ZHU Guoping, WU Qiang, FENG Chunlei, et al (4620)
Validation and adaptability evaluation of rice growth model ORYZA2000 in double cropping rice area of Hunan Province	MO Zhihong, FENG Liping, ZOU Haiping, et al (4628)
Coupled energy and carbon balance analysis under dryland tillage systems	WANG Xiaobin, WANG Yan, DAI Kuai, et al (4638)
The nitrate-nitrogen leaching amount in paddy winter-spring fallow period	WANG Yongsheng, YANG Shiqi (4653)
The sources of organic carbon and nitrogen in sediment of Taihu Lake	NI Zhaoxui, LI Yuejin, WANG Shengrui, et al (4661)
Effect of partial solar eclipse on airborne culturable bacterial community in Urumqi	MA Jing, SUN Jian, ZHANG Tao, et al (4671)
Comparative study on density related intra- and inter-specific effects in <i>Laodelphax striatellus</i> (Fallen) and <i>Nilaparvata lugens</i> (Stål)	LÜ Jin, CAO Tingting, WANG Liping, et al (4680)
Behavior rhythm and seasonal variation of time budget of sun bear (<i>Helarctos malayanus</i>) in captivity	LAN Cunzi, LIU Zhensheng, WANG Aishan, et al (4689)
Disturbance regimes and gaps characteristics of the desert riparian forest at the middle reaches of Tarim River	HAN Lu, WANG Haizhen, CHEN Jiali, et al (4699)
Death causes and conservation strategies of the annual regenerated seedlings of rare plant, <i>Bretschneidera sinensis</i>	QIAO Qi, QIN Xinsong, XING Fuwu, et al (4709)
Effects of municipal compost extracted complex microbial communities on physio-ecological characteristics of turfgrass under drought stress	DUO Lian, WANG Jingjing, ZHAO Shulan (4717)
Spatiotemporal relationship of leaf area index simulated by CLM3.0-DGVM and climatic factors	SHAO Pu, ZENG Xiaodong (4725)
Analysis of circular economy of Liaoning Province based on eco-efficiency	HAN Ruiling, TONG Lianjun, SONG Yanan (4732)
Review and Monograph	
The fungal to bacterial ratio in soil food webs, and its measurement	CAO Zhiping, LI Depeng, HAN Xuemei (4741)
Indicators for evaluating sustainable communities: a review	ZHOU Chuanbin, DAI Xin, WANG Rusong, et al (4749)
Discussion	
Differential expression of <i>PAL</i> multigene family in allelopathic rice and its counterpart exposed to stressful conditions	FANG Changxun, WANG Qingshui, YU Yan, et al (4760)
Scientific Note	
Ecology study on the benthic animals of QinZhou Bay	WANG Di, CHEN Pimao, MA Yuan (4768)
Change characteristics of soil carbon and nitrogen contents in the Yellow River Delta soil after artificial restoration	DONG Kaikai, WANG Hui, YANG Liyuan, et al (4778)
Estimation and spatial pattern analysis of forest biomass in Fenglin Nature Reserve based on Geostatistics	LIU Xiaomei, BU Rencang, DENG Huawei, et al (4783)
Study on sap flow in forest of <i>Quercus liaotungensis</i> and <i>Populus davidiana</i> by using the TDP method	SUI Xuhong, ZHANG Jianjun, WEN Wanrong (4791)
N ₂ O Emission and its driving factors from typical marsh and shrub swamp in Xiaoxing'an Mountains, Northeast China	SHI Lanying, MU Changcheng, TIAN Xinmin, et al (4799)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 16 期 (2011 年 8 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 16 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
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	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
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
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元