

# 湿地植物对土壤生态系统中氮含量变化的响应

王庆改<sup>1</sup>, 白军红<sup>2</sup>, 张 勇<sup>3</sup>, 秋祎<sup>2</sup>, 高海峰<sup>2</sup>

(1. 国家环境保护总局环境工程评估中心, 北京 100012;

2. 北京师范大学环境学院 水环境模拟国家重点实验室, 北京 100875;

3. 河北省邯郸市第三中学, 河北 邯郸 056001)

**摘 要:** 氮是植物生长必需的生源要素之一, 湿地生态系统中土壤氮转化过程直接影响着湿地植物可吸收利用的有效氮含量的多寡, 对植物的生长、演替和初级生产力具有明显的制约作用; 湿地植物在富氮土壤中生长能够获得较高的生产力; 灰色关联分析表明湿地植物氮含量主要受土壤中铵态氮和硝态氮含量变化的制约; 建坝、农耕、放牧、排水等人类干扰活动也可通过改变湿地土壤氮含量而对湿地植物的生长产生影响。

**关键词:** 湿地植物; 土壤生态系统; 氮含量; 灰色关联

中图分类号: S153. 61

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)04-0164-04

## Effects of Changes in Nitrogen Contents of Soil Ecosystem on Wetland Plants

WANG Qing-gai<sup>1</sup>, BAI Jun-hong<sup>2</sup>, ZHANG Yong<sup>3</sup>, DING Qi-yi<sup>2</sup>, GAO Hai-feng<sup>2</sup>

(1. Appraisal Center of Environment and Engineering, State Environment Protection Administration of China, Beijing 100012, China; 2. State Key Laboratory of Water Environment Simulation, School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. The Third High School in Handan city of Hebei Province, Handan, Hebei 056001, China)

**Abstract:** Nitrogen is one of life elements for plant growth. Nitrogen processes of soils from wetland ecosystem directly affect available nitrogen contents which impacts plant growth, evolution, and primary production. There is higher primary production for wetland plants in marsh soils with rich nitrogen. Gray correlation analysis shows that nitrogen contents in wetland plants are mainly controlled by ammonia nitrogen and nitrate nitrogen of marsh soils. Human activities such as dam construction, fertilization, drainage also affect wetland plant growth by altering nitrogen processes of soil ecosystem.

**Key words:** wetland plant; soil ecosystem; nitrogen contents; gray relation

氮是植物生长必需的生源要素之一, 在整个生长季节内, 植物吸收的土壤氮素主要来源于土壤中原有的无机氮以及可矿化有机氮在生长季节内矿化释放的氮。土壤无机氮库的变化与植被类型和植被的生长特征有着直接关系, 它们可通过影响湿地土壤温度、湿度等环境条件和氮的转化过程来影响土壤氮素含量的变化<sup>[1]</sup>。土壤氮素的转化过程直接影响着湿地植物可吸收利用的有效氮含量的多寡, 湿地土壤氮素的可利用性与植物生产力和物种构成密

切相关<sup>[2]</sup>。已有研究表明氮损失可能也是一些湿地初级生产力的限制因子<sup>[3]</sup>。本文从氮沉降、氮含量、氮过程等方面概述了湿地植物对土壤生态系统氮含量变化的响应。

### 1 氮沉降对植物生长的影响

干、湿沉降是土壤氮素增加的源泉, 可以改善土壤的营养状况, 成为湿地土壤一个重要的氮源。尽管少量氮沉降一般被认为对植物有利, 但当大气氮

\* 收稿日期: 2007-03-02

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2006CB403301)

作者简介: 王庆改(1975-), 高级工程师, 主要从事环境模拟及数据库建设等方面的研究。

通讯作者: 白军红(1976-), 男, 汉族, 副教授, 主要研究方向为湿地生态过程及景观格局变化。

沉降超过了系统的需求量, 植物对过剩的氮进行大量吸收, 造成了植物体内其它的养分出现“稀释效应”, 引起植物的营养失调。已有研究表明硝酸沉降中大量的  $\text{NH}_4^+$  可导致植物营养不平衡, 即使土壤溶液中  $\text{Ca/Mg}$  或  $\text{Mg/Al}$  较高时, 也会造成  $\text{Mg}$  的缺乏, 导致植物死亡<sup>[4]</sup>。其原因在于当生态系统中  $\text{NH}_4^+$  大量输入时, 植物体内增加的  $\text{NH}_4^+$  与其它阳离子养分进行交换, 使阳离子养分从叶片中淋洗出来, 从而造成营养失衡<sup>[5]</sup>。沉降到自然群落中的氮显著影响着群落的组成和生态系统过程<sup>[6]</sup>。

2 湿地土壤氮含量对植物生长的影响

土壤-植物之间的相互关系取决于选择吸收法则和质量作用定律。矿化与固化过程的平衡决定着养分对高等植物的供应量。土壤有效态氮是植物可直接吸收利用的氮, 是植物生长发育的限制性养分。有效态氮主要包括硝态氮和铵态氮。硝态氮可为植物直接吸收利用, 而铵态氮主要以固定态氮和代换态氮两种形式存在。固定态氮尤其是土壤中原有的固定态铵被黏土矿物所吸持不易被代换剂所置换, 所以有效性极低, 不能为植物直接利用<sup>[7]</sup>。而代换性态氮则对植物是有效的, 同时也是土壤保存氮素养分的一个重要机制<sup>[8]</sup>。尽管植物能够利用铵态氮或硝态氮, 但是硝态氮比铵态氮更有利于植物生长<sup>[9]</sup>, 所以湿地土壤中的硝化作用在很大程度上制约着植物的生长。与硝态氮相比, 湿地中许多大型水生植物虽然对铵态氮更有所偏爱<sup>[10]</sup>, 但不同浓度

的铵态氮水平对芦苇和香蒲等湿地植物的生物量没有太大的影响<sup>[11]</sup>。此外在饱和条件下, 湿地植物吸收硝态氮还会促进硝化作用<sup>[12]</sup>。

土壤氮素也常常是植物生产力年际波动的主要限制因子之一。作为营养元素, 氮素供应量的高低可以通过影响碳的合成及其在根、冠间的分配, 影响根系的生长。植物在富氮的土壤中成长, 不仅能获得较高的产量, 而且常常富含蛋白质。向海沼泽湿地芦苇生物量与土壤氮素含量的对应关系也证实了该结论。由表 1 可知, 二百方子湿地芦苇各构件生物量和全碳含量均高于付老文泡湿地, 这与二百方子湿地 0~40 cm 土层土壤各形态氮素及全氮平均含量均高于付老文泡湿地相一致。但 Gunnarsson<sup>[13]</sup>等在研究氮肥与湿地植被的关系时发现氮肥也可能会减少维管束植物的生产量。一般植物都能吸收  $\text{NH}_4^+$  和  $\text{NO}_3^-$ , 但  $\text{NH}_4^+$  过量时可使根系急剧酸化, 抑制植物对其它阳离子的吸收。土壤硝态氮含量过高会促进硝态氮向叶片中转移, 使植物对硝态氮的吸收增加<sup>[9]</sup>。湿地土壤氮素含量还会通过影响土壤微生物而影响植物的生长。在介质中氮供应较低条件下, 局部供应高浓度的硝酸盐可以显著刺激该部位植物侧根的生长; 当土壤中供氮水平较高、植物体内的氮素积累到一定程度时, 植物根系生长受到抑制, 被称为“系统抑制”(systemic inhibition), 到目前为止, 这种系统抑制的生理控制过程尚不得而知<sup>[19]</sup>。

表 1 向海两典型湿地土层(0~40 cm) 氮素含量及其生物量对比

研究区	铵态氮/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	硝态氮/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	碱解氮/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	有机氮/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	全氮/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	生物量/ ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ )
付老文泡	17.06	2.68	40.57	253.38	313.69	6032
二百方子	21.84	6.63	132.98	1437.98	1599.42	6409

注: 采样时间是 2001 年 5 月 15 日

3 湿地 N 丰度对植物群落演替影响

营养元素的可利用性与植物生产力和物种构成密切相关, 其中氮素的可利用性是影响净初级生产力和群落物种组成的重要环境因子之一。二百方子湿地土壤氮素供给能力较付老文泡湿地强<sup>[14]</sup>, 其伴生种类也较多, 主要有香蒲、酸模、灯心草、花蔺、水葱、苔草、黑三棱、沼柳、沼地蓼、碱茅等, 而付老文泡湿地的伴生种则相对较少, 主要有香蒲、黑三棱、羊草、针茅、碱茅、碱蓬、碱蒿等。土壤氮素含量的变

化可导致植物的适生土壤环境的变化, 因此植物群落的组成、生物数量、结构也会发生不同程度的变异, 严重的会造成生物数量的减少或灭绝, 生物群落的简化和重组优势种群的变化及逆向演替, 其最终结果是导致生物多样性的减少或丧失。氮负荷过高会促进少数耐高氮量级的植物种类生长繁茂, 而以牺牲别的植物种类为代价。向海湿地属于内陆盐碱湿地, 盐分含量较高, 在高盐分的影响下, 土壤养分的有效性经常被看作决定植被生物量和生产力的主要因子<sup>[15]</sup>。

## 4 湿地植物氮与土壤氮含量的灰色关联分析

蒸腾是植物生长活力的一个标志,也是根系吸水最主要的动力,而植物吸收水分与吸收营养元素之间是相互促进的。蒸腾强的植物,吸收营养元素往往也较强。研究表明<sup>[19]</sup> 芦苇不同构件对土壤氮素的吸收富集能力时空差异显著,其中地下部分的吸收富集能力高于地上部分,生长季高于成熟期。植物的吸收与土壤中氮素的存在形态也密切相关。运用灰色关联分析<sup>[16]</sup> 对付老文泡湿地芦苇不同构件中氮素含量与 0~ 40 cm 土层土壤不同形态氮素含量之间的内在关系进行了灰色关联分析,在分析过程中,先确定芦苇不同构件中的氮元素为母序列,而 0~ 40 cm 土壤中的各形态氮素和全氮含量作为子序列;再对各组数据进行均值化处理,并取分辨系数为  $\xi=0.5$ ,运用 Excel2000 软件和 MATLAB 5.0 软件进行编程和调试运算,得出不同构件对应土壤不同形态氮素和全氮在不同时刻的系列关联系数,再对各组关联系数进行平均求出关联度,最后将不同构件对应各形态氮素的关联度构成关联矩阵。

表 2 对付老文泡湿地芦苇不同构件氮含量与土壤中氮素含量的灰色关联矩阵

	铵态氮 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$	硝态氮 $\text{NO}_3^- - \text{N}$	碱解氮 $\text{K} - \text{N}$	有机氮 $\text{OR} - \text{N}$	全氮 $\text{TN}$
叶	0.6593	0.6581	0.5585	0.647	0.6405
叶鞘	0.6409	0.6473	0.5647	0.6501	0.6436
茎	0.6011	0.5863	0.5047	0.6152	0.6069
花序葶	0.7510	0.6232	0.5386	0.6958	0.6833
穗	0.7898	0.5833	0.5817	0.5764	0.5683
根	0.6300	0.8274	0.5756	0.6552	0.6336
根状茎	0.6771	0.8500	0.6140	0.6851	0.6722

## 5 人类活动对湿地植物生长的影响

随着人类对资源环境开发力度的加强,人类活动已经成为影响湿地中元素迁移、转化和循环的强大营力。许多湿地中的地球化学循环因人类修渠建坝、排污、毁林、收获等活动已发生显著的变化。在河流上修渠建坝可导致许多湿地的淹水频率发生变化从而改变其养分的运移量。施肥、灌溉等活动虽增加了对湿地系统中营养物质的输入,同时诸多有毒物质、痕量有机物和金属等污染物质也随工业废水和城乡生活污水输送到湿地中并对其养分循环产生了局域性的影响<sup>[17]</sup>。放牧活动和湿地排水等活动减少有机物质的输入量,加速了土壤有机氮的矿化分解速度,改变了土壤氮素原有的生物地球化学

表 2 表明付老文泡湿地芦苇叶片中氮含量与土壤中铵态氮关联最紧密,硝态氮次之,其关联序为  $\text{NH}_4^+ - \text{N} > \text{NO}_3^- - \text{N} > \text{OR} - \text{N} > \text{TN} > \text{K} - \text{N}$ 。芦苇叶鞘中氮含量与土壤中有机氮含量关联最紧密,硝态氮次之,其关联序为  $\text{OR} - \text{N} > \text{NO}_3^- - \text{N} > \text{TN} > \text{NH}_4^+ - \text{N} > \text{K} - \text{N}$ 。芦苇茎中氮含量与土壤中有机氮含量关联最紧密,全氮次之,其关联序为  $\text{OR} - \text{N} > \text{TN} > \text{NH}_4^+ - \text{N} > \text{NO}_3^- - \text{N} > \text{K} - \text{N}$ 。芦苇花序葶中氮含量与土壤中铵态氮含量关联最紧密,有机氮次之,其关联序为  $\text{NH}_4^+ - \text{N} > \text{OR} - \text{N} > \text{TN} > \text{NO}_3^- - \text{N} > \text{K} - \text{N}$ 。芦苇穗中氮含量与土壤中铵态氮含量关联最紧密,硝态氮次之,其关联序为  $\text{NH}_4^+ - \text{N} > \text{NO}_3^- - \text{N} > \text{K} - \text{N} > \text{TN} > \text{OR} - \text{N}$ 。芦苇根中氮含量与土壤中硝态氮含量关联最紧密,有机氮次之,其关联序为  $\text{NO}_3^- - \text{N} > \text{OR} - \text{N} > \text{TN} > \text{NH}_4^+ - \text{N} > \text{K} - \text{N}$ 。芦苇根状茎中氮含量与土壤中硝态氮含量关联最紧密,有机氮次之,其关联序为  $\text{NO}_3^- - \text{N} > \text{OR} - \text{N} > \text{NH}_4^+ - \text{N} > \text{TN} > \text{K} - \text{N}$ 。以上分析表明付老文泡湿地芦苇中氮含量与土壤中铵态氮和硝态氮含量的关联性最强,受二者的影响最大。

条件,导致土壤理化性质的改变<sup>[18]</sup>,从而影响湿地植物的生长特征、群落演替和生物量的变化。

## 6 小 结

湿地氮沉降、氮素含量及其丰度显著影响着湿地植物的生长和群落的演替过程,湿地植物在富氮的土壤中生长能够获得较高的生产力。湿地植物氮含量变化主要受土壤中铵态氮和硝态氮的制约。建坝、农耕、放牧、排水等人类活动可通过改变湿地土壤生态系统的氮过程来影响湿地植物的生长。从微观层面上来研究湿地土壤生态系统中的氮含量变化与湿地植物氮含量之间的关系及其影响机制将成为今后该研究领域的一个重要方向。

参考文献:

[ 1 ] Strader B J. Nitrogen mineralization in high elevation forests of the *Appalachians*. I. Regional patterns in southern spruce fir forests[ J ]. *Biogeochemistry*, 1989, 7: 131– 145.

[ 2 ] 李贵才, 韩兴国, 黄建辉等. 森林生态系统土壤氮矿化影响因素研究进展[ J ]. *生态学报*, 2001, 21( 7 ): 1187 – 1195.

[ 3 ] Heikkinen K. Transport of organic and inorganic matter in river, brook and peat mining water in drainage basin of the River Küminkijoki[ J ]. *Aqua. Terrica.*, 1990, 20: 143– 155.

[ 4 ] 仇荣亮, 于锡军. 陆地生态系统酸沉降缓冲机制与缓冲能力[ J ]. *中山大学学报( 自然科学版)*, 1998, 37( 增刊 ): 157– 161.

[ 5 ] 肖辉林, 卓慕宁, 万洪富. 大气 N 沉降的不断增加对森林生态系统的影响[ J ]. *应用生态学报*, 1996, 7( 增刊 ): 110– 116.

[ 6 ] Vitousek P M, Aber J D, Howarth R W, et al. Human alteration of the global nitrogen cycle: Sources and consequences[ J ]. *Ecological Applications*, 1997, 7: 737 – 750.

[ 7 ] 朱兆良, 文孝启. 中国土壤氮素[ M ]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1992.

[ 8 ] 袁可能. 植物营养元素的土壤化学[ M ]. 北京: 科学出版社, 1983.

[ 9 ] Hewitt E J, Cutting C V. Nitrogen assimilation of plants[ M ]. London: Academic Press, 1979.

[ 10 ] Martin J F, Reddy K R. Interaction and spatial distribution of wetland nitrogen processes[ J ]. *Ecological Modelling*, 1997, 105: 1– 21.

[ 11 ] Hill D T, Payne V W E, Rogers J W. Ammonia effects on the biomass production of five constructed wetland plant species[ J ]. *Bioresource Technology*, 1997, 62( 3 ): 109– 113.

[ 12 ] Reddy K R, Patrick W H Jr, Lindau C W. Nitrification–denitrification at the plant root–sediment interface in wetlands[ J ]. *Limnol. Oceanogr.*, 1989, 34: 1004 – 1013.

[ 13 ] Gunnarsson U, Rydin H. Nitrogen fertilizer reduces *Sphagnum* production in bog communities[ J ]. *New phytologist*, 2000, 147: 527– 537.

[ 14 ] 白军红, 崔保山, 杨志峰, 等. 向海沼泽湿地土壤碱解氮含量的季节动态[ J ]. *中国生态农业学报*, 2006, 14( 2 ): 115– 117.

[ 15 ] Chen R H, Twilley R R. Patterns of mangrove forest structure and soil nutrient dynamics along the Shark river estuary[ J ]. *Florida. Estuaries*, 1999, 22 ( 4 ): 955 – 970.

[ 16 ] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[ M ]. 武汉: 华中理工大学出版社. 1988.

[ 17 ] 白军红, 邓伟, 朱颜明. 湿地土壤生物地球化学过程研究进展[ J ]. *生态学杂志*, 2002, 21( 1 ): 53– 57.

[ 18 ] Hoewyk D V, Groffman P M, Erik K, et al. Soil nitrogen dynamics in organic and mineral soil calcareous wetlands in eastern New York[ J ]. *Soil Science Society of America Journal*, 2000, 64: 2168– 2173.

[ 19 ] 米国华. 硝酸盐调控植物根系生长的生理及分子机制[ EB/OL ]. <http://www.com.edu.cn/pn/migh.html>, 2002.

( 上接第 159 页 )

[ 9 ] Beven K, Kirkby M J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology[ J ]. *Hydro. Sci. Bull.*, 1979, 24: 43– 69.

[ 10 ] 邓慧平, 李秀彬. 地形指数的物理意义分析[ J ]. *地理科学进展*, 2002, 21( 2 ): 104– 110.

[ 11 ] Williams J R, Renard K G, Dyke P T. EPIC: a new method for assessing erosion's effect on soil productivity[ J ]. *Journal of Soil Water Conservation*, 1983, 38: 381– 384.

[ 12 ] Siepel A C, Steenbuis T S, Rose C W, et al. A simplified hillslope erosion model with vegetation elements for practical applications[ J ]. *Journal of Hydrology*, 2002, 258: 111– 121.

[ 13 ] 江忠善, 李秀英. 黄土高原土壤流失预报方程中降雨侵蚀力和地形因子的研究[ J ]. *中国科学院西北水土保持研究所集刊*, 1988, ( 7 ): 40– 45.

[ 14 ] 金争平, 史培军, 候福昌, 等. 黄河皇甫川流域土壤侵蚀系统模型和治理模式[ M ]. 北京: 海洋出版社, 1992.

[ 15 ] 孙红雨, 王长耀, 牛铮, 等. 中国地表植被覆盖变化及其与气候因子关系– 基于 NOAA 时间序列数据分析[ J ]. *遥感学报*, 1998, 2( 3 ): 204– 210.

[ 16 ] Wu S, Li J, Huang G. An evaluation of grid size uncertainty in empirical soil loss modeling with digital elevation models[ J ]. *Environmental Modeling and Assessment*, 2005, 10: 33– 42.

[ 17 ] 张登荣, 赵元洪, 徐鹏炜. 水土流失遥感方法与土地资源评价[ M ]. 北京: 原子能出版社, 1996.