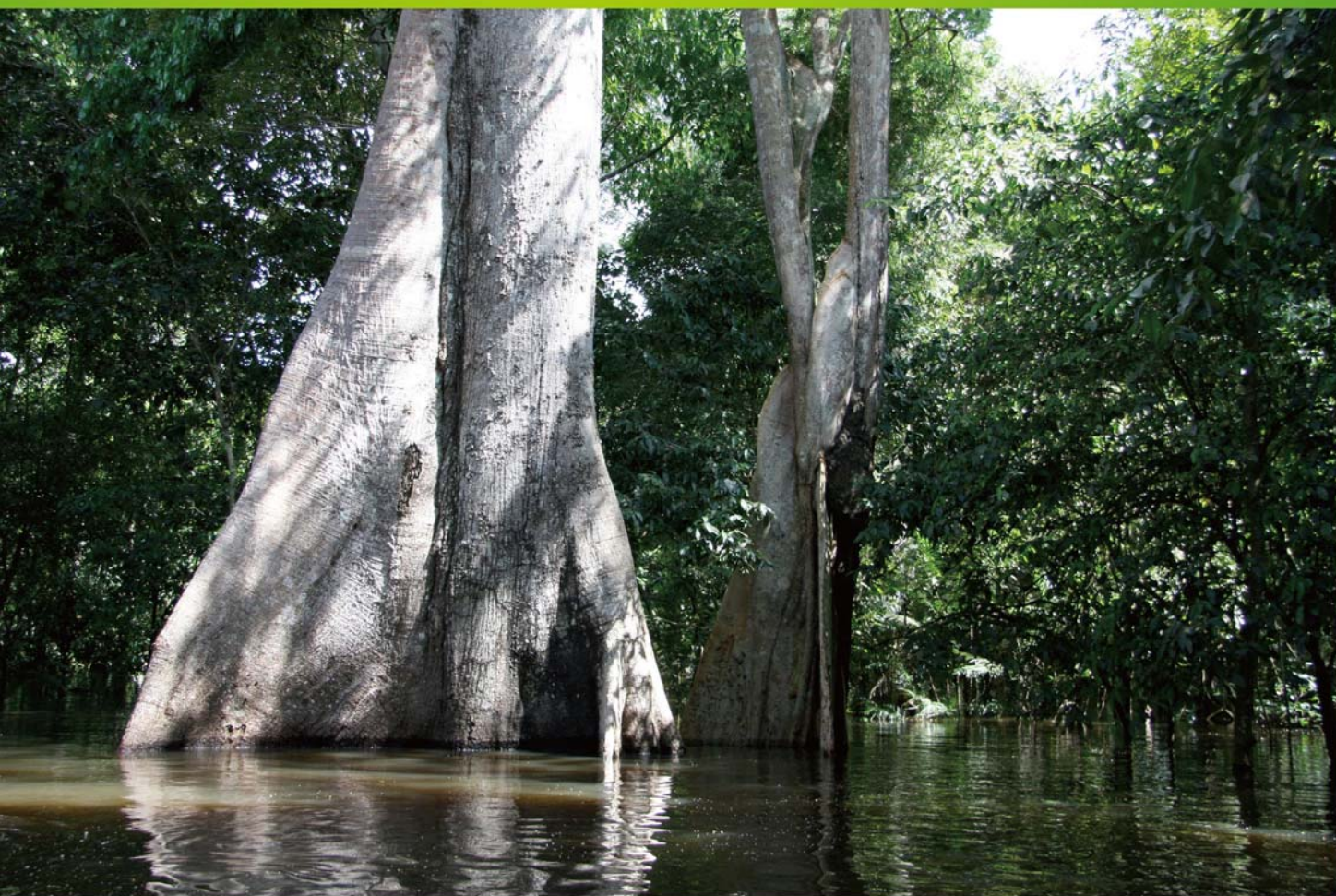


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第8期 Vol.31 No.8 **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 8 期

2011 年 4 月 (半月刊)

目 次

塔里木河下游胡杨径向生长与地下水的关系·····	安红燕,徐海量,叶 茂,等 (2053)
冲积平原区高程因子对土壤剖面质地构型的影响——以封丘县为例·····	檀满枝,密术晓,李开丽,等 (2060)
臭氧胁迫对大豆叶片抗坏血酸-谷胱甘肽循环的影响·····	王俊力,王 岩,赵天宏,等 (2068)
重要理化因子对小球藻生长和油脂产量的影响·····	张桂艳,温小斌,梁 芳,等 (2076)
北亚热带马尾松净生产力对气候变化的响应·····	程瑞梅,封晓辉,肖文发,等 (2086)
亚热带沟叶结缕草草坪土壤呼吸·····	李熙波,杨玉盛,曾宏达,等 (2096)
UV-B 辐射对马尾松凋落叶分解和养分释放的影响·····	宋新章,张慧玲,江 洪,等 (2106)
干旱胁迫下内生真菌感染对羽茅的生理生态影响·····	韩 荣,李 夏,任安芝,等 (2115)
蜜环菌对锌的耐性和富集特性·····	朱 林,程显好,李维焕,等 (2124)
干旱荒漠区狭叶锦鸡儿灌丛扩展对策·····	张建华,马成仓,刘志宏,等 (2132)
黄土高原区不同植物凋落物搭配对土壤微生物量碳、氮的影响·····	王春阳,周建斌,夏志敏,等 (2139)
内蒙古典型草原克氏针茅与冰草的生存策略·····	孙 建,刘 苗,李胜功,等 (2148)
荒漠沙柳根围 AM 真菌的空间分布·····	贺学礼,杨 静,赵丽莉 (2159)
开放式昼夜不同增温对单季稻影响的试验研究·····	董文军,邓艾兴,张 彬,等 (2169)
醉马草免培养内生细菌的多样性·····	张雪兵,史应武,曾 军,等 (2178)
河南生态足迹驱动因素的 Hi_PLS 分析及其发展对策·····	贾俊松 (2188)
禹城市耕地土壤盐分与有机质的指示克里格分析·····	杨奇勇,杨劲松,余世鹏 (2196)
旋覆花提取物对朱砂叶螨的生物活性及酶活性的影响·····	段丹丹,王有年,成 军,等 (2203)
白洋淀湖滨湿地岸边带氨氧化古菌与氨氧化细菌的分布特性·····	叶 磊,祝贵兵,王 雨,等 (2209)
干旱胁迫条件下 6 种喀斯特主要造林树种苗木叶片水势及吸水潜能变化·····	王 丁,姚 健,杨 雪,等 (2216)
桉树人工林物种多样性变化特征·····	刘 平,秦 晶,刘建昌,等 (2227)
海河流域湿地生态系统服务功能价值评价·····	江 波,欧阳志云,苗 鸿,等 (2236)
芦苇在微咸水河口湿地甲烷排放中的作用·····	马安娜,陆健健 (2245)
云南不同土壤铅背景值下大叶茶种群对铅的吸收积累特征及其遗传分化·····	刘声传,段昌群,李振华,等 (2253)
长江口和杭州湾凤鲚胃含物与海洋浮游动物的种类组成比较·····	刘守海,徐兆礼 (2263)
江西大岗山地区 7—9 月降水量的重建与分析·····	乔 磊,王 兵,郭 浩,等 (2272)
山核桃免耕经营的经济效益和生态效益·····	王正加,黄兴召,唐小华,等 (2281)
基于 GIS 的广州市中心城区城市森林可达性分析·····	朱耀军,王 成,贾宝全,等 (2290)
专论与综述	
土壤呼吸温度敏感性的影响因素和不确定性·····	杨庆朋,徐 明,刘洪升,等 (2301)
植物代谢速率与个体生物量关系研究进展·····	程栋梁,钟全林,林茂兹,等 (2312)
耕地生态补偿实践与研究进展·····	马爱慧,蔡银莺,张安录 (2321)
问题讨论	
元谋干热河谷三种植被恢复模式土壤贮水及入渗特性·····	刘 洁,李贤伟,纪中华,等 (2331)
研究简报	
中微量元素和有益元素对水稻生长和吸收镉的影响·····	胡 坤,喻 华,冯文强,等 (2341)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 296 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-04



封面图说:巴西热带雨林——美丽的巴西北部玛瑙斯热带雨林景观。位于南美洲的亚马逊河是世界上流域最广、流量最大的河流,孕育了世界面积最大的热带雨林,雨林中蕴藏着极丰富的生物资源。

彩图提供:中国科学院生态环境研究中心徐卫华博士 E-mail:xuweihua@rcees.ac.cn

白洋淀湖滨湿地岸边带氨氧化古菌与 氨氧化细菌的分布特性

叶磊^{1,2}, 祝贵兵^{1,*}, 王雨^{1,2}, 冯晓娟¹, 王为东¹, 王衫允¹, 尹澄清¹

(1. 中国科学院生态环境研究中心 环境水质学国家重点实验室, 北京 100085; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:通过分子生物学分析方法,以 *amoA* 基因为标记,考察了氨氧化古菌(Ammonia-Oxidizing Archaea, AOA)和氨氧化细菌(Ammonia-Oxidizing Bacteria, AOB)在华北平原的白洋淀这一典型湖泊的湖滨湿地岸边带系统中的生物多样性和丰度分布。在前人的研究中,氨氧化古菌在海洋、原生态土壤和人为干扰土壤等环境中主导氨氧化过程的完成。但本研究发现,在湿地岸边带系统中氨氧化过程并不是完全由氨氧化古菌主导完成,即氨氧化古菌和氨氧化细菌在不同区域分别占据主导地位。根据主导微生物的不同,可以将湿地岸边带区域划分为陆相区、中间区和湖相区。在湿地岸边带陆相区,氨氧化古菌主导氨氧化过程,氨氧化古菌的 *amoA* 基因丰度是氨氧化细菌的 526 倍(AOA: 1.23×10^8 个/g 干土; AOB: 2.34×10^5 个/g 干土);在岸边带湖相区,氨氧化细菌主导氨氧化过程,氨氧化古菌的 *amoA* 基因丰度只有氨氧化细菌的 1/50 倍(AOA: 3.17×10^6 个/g 干土; AOB: 1.39×10^8 个/g 干土);在岸边带中间区,两种微生物对氨氧化过程的贡献相当,二者的 *amoA* 基因丰度也相当(AOA: 9.83×10^6 , AOB: 4.08×10^6)。研究还发现,湿地中间区的微生物生物多样性高于陆相区和湖相区。在湿地中间区,氨氧化古菌和氨氧化细菌的生物多样性都最高,分别有 5 和 7 个操作分类单元(OTUs);相比之下,岸边带陆相区和湖相区的多样性依次降低,陆相区的氨氧化古菌和氨氧化细菌分别有 3 和 6 个操作分类单元,湖相区的氨氧化古菌和氨氧化细菌分别有 2 和 6 个分类单元。所得结论反映了湿地岸边带极强的空间异质性。

关键词:丰度;多样性;氨氧化微生物;岸边湿地

Abundance and biodiversity of ammonia-oxidizing archaea and bacteria in littoral wetland of Baiyangdian Lake, North China

YE Lei^{1,2}, ZHU Guibing^{1,*}, WANG Yu^{1,2}, FENG Xiaojuan¹, WANG Weidong¹, WANG Shanyun¹, YIN Chengqing¹

1 State Key Laboratory of Environmental Aquatic Quality, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: The existence and function of ammonia-oxidizing archaea (AOA) in the environment has drawn great interests in recent nitrogen cycle researches. Many previous researches found that AOA dominated ammonia oxidation process in many environments such as ocean, pristine soil and cultivated soils. Wetland system is an important interfacial zone between aquatic and terrestrial ecosystems. Characterized by high biodiversity, strong boundary effects, and combined physicochemical features of the neighbor ecosystems, wetland system plays important roles in material and energy fluxes between these systems. However, very few researches on AOA in wetland systems have been reported. To determine the abundance and distribution of AOA and AOB (short for Ammonia-Oxidizing Bacteria) in lake littoral zones, cultivation-independent methods, such as qPCR, clone and sequencing, were used. Soil samples from different littoral wetland zones of Baiyangdian Lake (site 1 representing for landward zone: four meters from water-soil edge on land; site 2 for middle

基金项目:国家自然科学基金项目(20877086); 国家 973 项目(2009CB421103); 国家水专项(2008ZX07209-006); 天津市重大项目(06FZZDSH00900)

收稿日期:2010-04-17; 修订日期:2010-09-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gbzhu@rcees.ac.cn

zone; about 0.5 meter from water-soil edge on land; site 3 for lakeward zone; 1 meter from water-soil edge in sediment of the lake) were sampled and the bacterial and archaeal *amoA* genes were analyzed. Results show that AOA and AOB dominate the ammonia oxidation in different zones of the littoral wetland in Baiyangdian Lake wetlands. This indicates that the dominate ammonia-oxidizing microorganism changes gradually from AOA to AOB in the wetland ceotone changes from land to water. AOA dominates ammonia oxidation in the landward zone of the wetland, where *amoA* gene copy numbers of AOA (1.23×10^8 per gram of dry soil) is 526 times more than that of AOB (2.34×10^5 per gram of dry soil). AOB dominates ammonia oxidation in the lakeward zone, where *amoA* gene copy numbers of AOA (3.17×10^6 per gram of dry soil) is only 1/50 times of that of AOB (1.39×10^8 per gram of dry soil). In the middle zone, AOA and AOB contribute nearly the same for ammonia oxidation, where *amoA* gene copy numbers of AOA and AOB are in same too (9.83×10^6 for AOA, 4.08×10^6 for AOB). It was found that biodiversity of both AOA and AOB *amoA* gene in the middle zone is high zone with 5 and 7 OTUs (short for Operational Taxonomic Units) separately. In comparison, that in the landward zone only has 3 OTUs for AOA, 6 OTUs for AOB, and that in lakeward sediment only has 2 OTUs for AOA, 6 OTUs for AOB. High biodiversity of microcosm in wetland shows a similar trend as the high biodiversity of plants, insects and animals reported by other researches. The high biodiversity in wetland boundary zone is probably due to the high energy exchanges, seasonal changed water levers and complicated chemical conditions in this area.

Key Words: abundance; biodiversity; ammonia-oxidation microorganism; littoral wetlands

氮在地球表层的循环转化是地球最基本和重要的物质循环之一,其中氨的氧化过程是整个氮循环过程的限速步骤。以往认为,氨的氧化反应主要由氨氧化细菌(Ammonia-Oxidizing Bacteria, AOB)完成。随着海洋和土壤生态系统中常温古菌的发现及分子生物学技术的发展,以氨氧化关键功能基因——氨单加氧酶功能基因(ammonia monooxygenase subunit A, *amoA*) 在泉古菌(Crenarchaeota) 中的发现为起始,不同研究者发现在海洋、原生态土壤、农业区土壤等环境中的氨氧化过程主要是由氨氧化古菌(Ammonia-Oxidizing Archaea, AOA)完成。与氨氧化细菌不同的是,氨氧化古菌隶属于生物三域系统中的古菌域,大部分均属于泉古菌类(Crenarchaeota)。氨氧化古菌的广泛发现及其生态功能定位是近十年来环境微生物研究领域的重大突破,使人们改变了对氮循环的认识,其在不同生态系统中的分布和作用是目前氮循环领域的研究热点^[1]。

湿地系统作为陆地生态系统和水生生态系统之间的重要过渡区,具有保持物种多样性、控制物质能量交换、净化水质等多重生态服务功能^[2]。前期研究发现,湿地系统对氨态氮有显著的截留和净化功能^[3],特别是湿地的岸边带,兼具土壤和水体的物理化学特性,具有很强的边缘效应特征^[4-5]。目前世界上关于 AOA 和 AOB 的分布情况报道主要见于海洋和土壤生态系统^[1, 6],国内外文献中有关湖滨湿地岸边带 AOA 和 AOB 的空间分布研究尚未见报道。本文以白洋淀湖滨湿地岸边带系统沉积物和土壤样本为供试材料,以功能基因 *amoA* ($\text{NH}_4^+ \xrightarrow[\text{AOA, AOB}]{\text{amoA}} \text{NH}_2\text{OH} \rightarrow \text{NO}_2^-$) 为分子标记,对 AOA 和 AOB 进行定性和定量分析,通过研究 AOA 和 AOB 的生物多样性和丰度分布,探讨其中的氨氧化过程机制,为氮循环研究提供理论和数据基础。

1 材料与方法

1.1 采样地点及过程介绍

以白洋淀湖滨湿地作为本研究的采样地点。白洋淀地处于华北平原中部,地理位置为东经 $115^\circ 38' - 116^\circ 07'$, 北纬 $38^\circ 43' - 39^\circ 02'$, 总面积 366 km^2 。在整个湖区范围内,以芦苇植被为景观特征的湿地系统约占 36%, 广泛分布在围堤内湖边的洼地上和大小淀泊之间。沿湖滨湿地截面由陆相芦苇床至水相沟渠布设 3 个采样点,分别采集陆相芦苇床内部表层土壤(距水陆交界面 4m), 湿地边界区表层土壤(距水陆交界面 0.5m) 和水相沟渠沉积物(距水陆交界面 1m), 简称和代号分别设定为陆相芦苇床(L)、湿地边界区(B) 和水相沉积物(S), 用于代表湿地岸边带系统的陆相、交界面和水相。土壤和沉积物样品采集后置于无菌塑封袋中, 4°C

保存至实验室,储存在 -80°C 的超低温冰箱中直至 DNA 提取。

1.2 样品理化指标分析

所有样品检测均采用国际通用方法进行。pH 采用超纯水浸提, Mettler Toledo Delta 320 pH 计测定; $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 采用 2 mol/L 氯化钾溶液浸提, SKALAR SAN++ 连续流动分析仪测定; TOC 采用 Tekmar-Dohrmann Phoenix, 8000 UV-persulfate TOC Analyzer 测定; Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 采用硫酸铝溶液浸提, 邻菲罗啉分光光度法测定。

1.3 DNA 的提取和普通 PCR 扩增

称取约 0.25 g 的真空干燥土壤样品, 利用 Fast Soil DNA 提取试剂盒提取 (Qbiogene, Carlsbad, CA) 样品中的总 DNA。AOA 和 AOB 的扩增均采用 *amoA* 功能基因的特异引物, 分别为 *archaea-amoA*/ *archaea-amoA*^[6] 和 *amoA-1F*/ *amoA-2R*^[7]。PCR 扩增的 50 μL 体系配置如下: 10 $\times$ buffer 5 μL , dNTP (2.5 mmol/L) 4 μL , 正反向引物 (浓度为 10 mmol/L) 各 1 μL , BSA 0.5 μL , Taq 酶 (2.5 U) 0.25 μL , 稀释 DNA 模板 2 μL , ddH₂O 补足至 50 μL 。PCR 反应扩增程序见文献^[6]。

1.4 PCR 产物的克隆、酶切、测序及系统发育分析

使用 Promega Agarose Gel DNA (Promega, Madison, WI) 纯化试剂盒对 PCR 扩增产物进行切胶纯化, 将 PCR 回收产物与 pGEM-Teasy 载体 (Promega, Madison, WI) 进行连接后, 转入 JM109 感受态细胞, 最后进行蓝白斑筛选。选取 72 个白色克隆, 采用 PCR 扩增的方法鉴定阳性克隆, 所用引物为载体通用引物 T7、SP6。用限制性内切酶 *Hha* I 对阳性克隆 PCR 扩增产物进行分型, 每个酶切类型挑取 1—4 个代表菌株进行测序 (Biomed 生物科技有限公司, 北京), 每个样品点共计选择 15 个菌液样品。应用 DNASTAR 软件对测序结果进行编辑, 去除载体序列后用 BLAST 在 GenBank 数据库中搜索相似序列, 并与已发表的相关细菌和古菌的 *amoA* 功能基因序列进行多重序列比对, 使用 MEGA4.1 软件以邻接法 (Neighbor-Joining) 构建系统发育树。独立操作单元 (OTU) 利用 DOTUR 软件按 97% 的相似度进行划分。

1.5 DNA 的定量 PCR

定量 PCR 采用 SYBY Green 法, 选用引物参见普通 PCR 扩增。扩增体系为 20 μL , 配置如下: SYBY Green exTaq 酶 (2 $\times$) 10 μL , ROX50 0.4 μL , 正反向引物 (浓度为 20 mmol/L) 各 0.09 μL , 稀释 10 倍的 DNA 模板 2 μL , ddH₂O 补足至 20 μL 。采用 ABI 7300 Real-Time PCR System 扩增仪, 扩增程序为: 95 $^{\circ}\text{C}$ 30s; (95 $^{\circ}\text{C}$ 10s, 55 $^{\circ}\text{C}$ 20s, 68 $^{\circ}\text{C}$ 45s) 40 Cycle; 72 $^{\circ}\text{C}$ 1min, 为确保实验数据的有效性, 实验要求设阴性对照和 6 个标准品, 每个样品平行两次, 以基线 (背景) 荧光信号的标准偏差的 10 倍作为阈值, 扩增斜率为 -3.5—4.2 之间, 扩增效率 > 80%, 溶解曲线为单一峰。

2 结果

2.1 湖滨湿地系统各采样点的理化性质

湖滨湿地岸边带系统各点的理化性质如表 1 所示。从陆地上两点 (芦苇床, 边界区) 的比较来看, 芦苇床内部和边界区土壤的理化性质相似, 均为偏碱性土, 氨氮含量低于硝氮, 总有机碳含量均很高, 铁元素中三价铁占绝大多数, 除总有机碳和硝态氮外, 其他指标均表现为边界区略高。水体沉积物的氨氮明显高于陆地样品, 硝氮含量低于陆地, 铁元素的形态分布也与陆地相似, 但含量略高于芦苇床。综合来看, 三点的理化性质

表 1 湖滨湿地系统各点的物理化学指标

Table 1 Physico-chemical features of sampling sites

采样点 Sampling sites	pH	$\text{NH}_4^+\text{-N}$ /(mg/kg)	($\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$)-N /(mg/kg)	TOC /(mg/kg)	Fe^{2+} /(mg/kg)	Fe^{3+} /(mg/kg)	$\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$
芦苇床	8.18	5.31	12.22	22771.23	283.53	5778.69	0.05
边界区	8.24	6.49	11.77	12152.39	353.75	7359.64	0.05
沉积物	8.20	208.66	5.94	—	659.05	8577.13	0.08

沉积物样品的 TOC 指标缺失

差别不大,但沉积物的氨浓度过高。

2.2 湖滨湿地岸边带系统中氨氧化古菌和细菌的丰度分布

通过定量 PCR 分析,芦苇床、边界区和沉积物三点样品中每克干土氨氧化古菌的 *amoA* 功能基因拷贝数分别为 1.23×10^8 、 9.83×10^6 、 3.17×10^6 个,每克干土氨氧化细菌的 *amoA* 功能基因拷贝数为 2.34×10^5 、 4.08×10^6 、 1.39×10^8 个(图 1)。

从该图中可以看出氨氧化古菌丰度分布趋势是:陆相芦苇床最高,湿地边界区其次,水相沉积物最低,芦苇床丰度约为沉积物样品的 40 倍;氨氧化细菌的丰度分布趋势完全相反,水相沉积物最高,湿地边界区次之,陆相芦苇床最低,沉积物丰度为芦苇床的近 600 倍。比较两种菌在各点的相对丰度:芦苇床和边界区的氨氧化古菌丰度均高于细菌,分别为氨氧化细菌的 526 倍和 2.4 倍;沉积物的氨氧化古菌丰度低于细菌,约为氨氧化细菌的 1/50 倍。

2.3 湖滨湿地岸边带系统中氨氧化古菌和细菌的生物多样性分布

芦苇床内部、边界区和水体沉积物 3 处样品,通过 DNA 提取、定性 PCR 扩增、克隆、酶切和测序等过程,依次获得了 13、11、15 个氨氧化古菌的 *amoA* 功能基因序列和 13、14、15 个氨氧化细菌的 *amoA* 功能基因序列。通过 OTU 计算分别整理出 3、5、2 个氨氧化古菌的操作分类单元(operational taxonomic unit, OTU)和 5、7、6 个氨氧化细菌的操作分类单元。

氨氧化古菌和氨氧化细菌在芦苇床内部、边界区和沉积物 3 处的 OTU 数(来自于 72 个克隆子)(图 2)。由该图可见,相比于陆相芦苇床内部和水相沉积物,湿地边界区的两种氨氧化微生物均含有更高的 OTU 数,体现了生物多样性更高的特性。

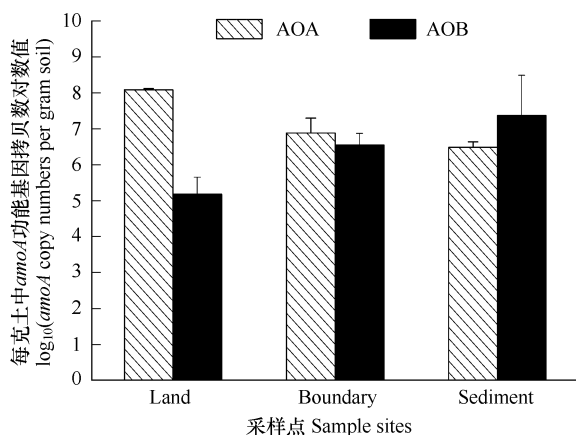


图 1 各采样点氨氧化古菌和细菌 *amoA* 功能基因拷贝数分布

Fig. 1 *amoA* gene copy numbers per gram soil of ammonia-oxidizing archaea (AOA) and bacteria (AOB) in sampling sites

图中的所有浓度值均取了以 10 为底的对数(平均值 $\pm$ 标准差); AOA 为氨氧化古菌(Ammonia-Oxidizing Archaea)的英文简称, AOB (Ammonia-Oxidizing Bacteria)为氨氧化细菌的英文简称

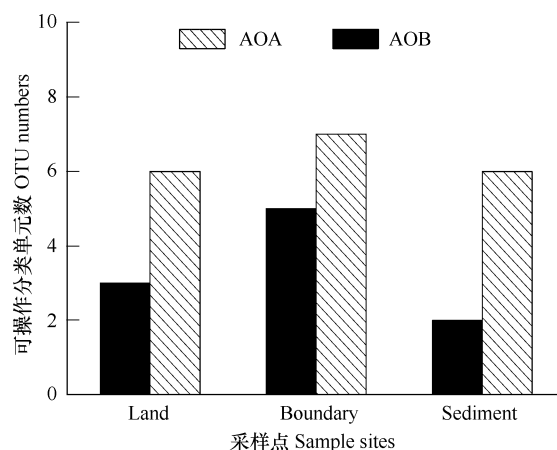


图 2 各采样点氨氧化古菌和细菌的操作分类单元数分布

Fig. 2 OTU numbers of ammonia-oxidizing archaea and bacteria in sampling sites

运用 Blast 程序在 GenBank 数据库中进行相似性比对,建立两种氨氧化微生物的系统发育树如图 3A, B 所示。基于 *amoA* 功能基因的氨氧化古菌系统发育树分为两个分支,分别为沉积物/土壤分支和水体/沉积物。从系统发育树可以看出,本研究所获得的古菌 *amoA* 功能基因均隶属于沉积物/土壤分支,为进一步的结果分析需要,将该分支细化为 5 个簇。氨氧化细菌的 *amoA* 功能基因系统发育树可以划分为 6 个分支,均属于 β -Proteobacteria。其中,3 个分支包含已知菌种的 *amoA* 功能基因序列,分别定义为 *Nitrosomonas* 分支、*Nitrospira* 分支和 *Nitrosovibrio* 分支,3 个分支未找到相似的已知菌种 *amoA* 功能基因序列,均定义为未知 *Nitrosomonadaceae* 分支。

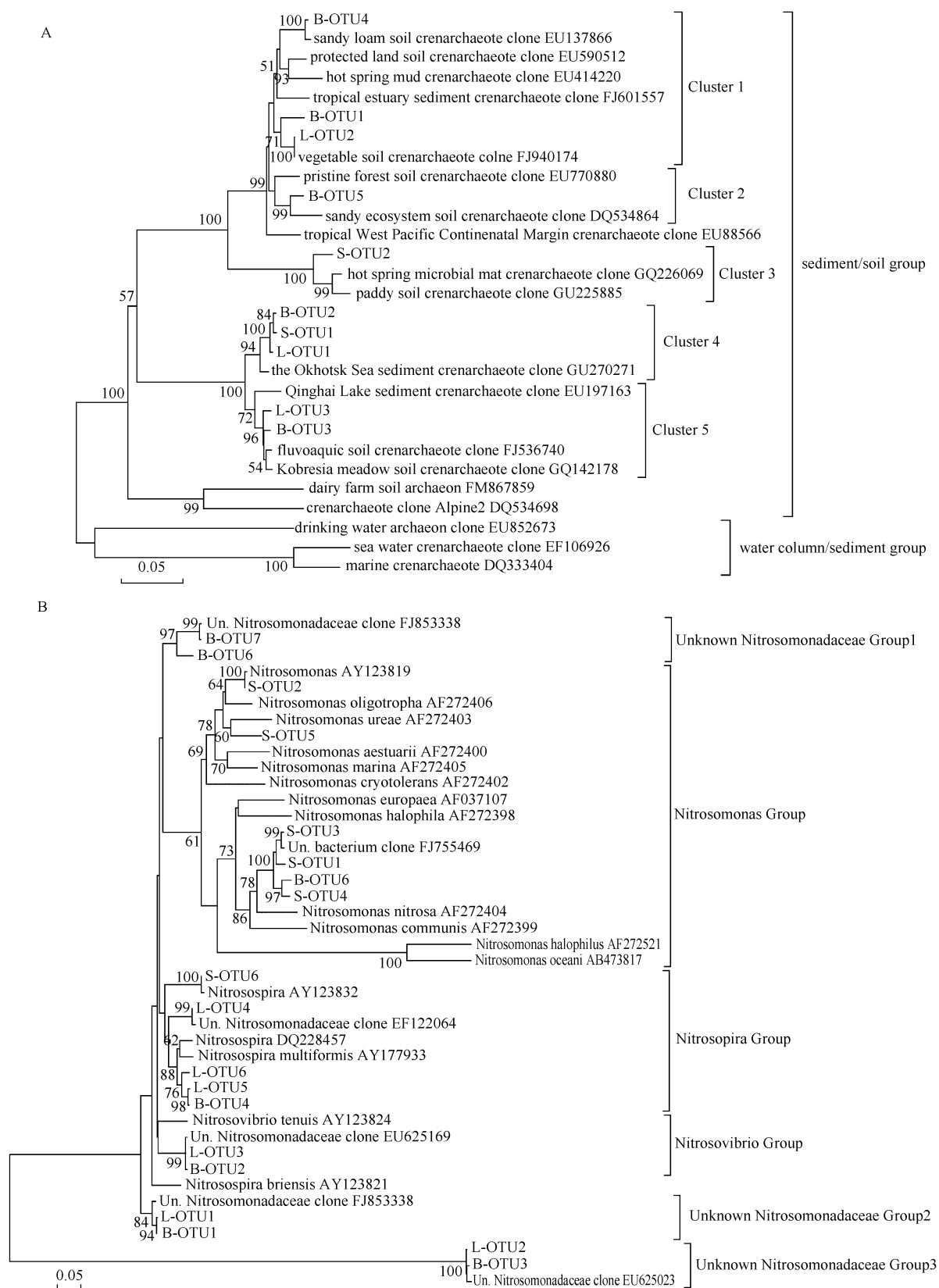


图3 依据 *amoA* 功能基因序列构建的氨氧化古菌(A)和氨氧化细菌(B)的系统发育树

Fig. 3 Phylogenetic trees of ammonia-oxidizing archaea (A) and bacteria (B) targeted on *amoA* gene

本文中的参照序列引自 GenBank 数据库,序列名称后的字母加数字代表提交序号,分支节点上的数字表示每 1000 次 bootstrap 分析所支持的次数,小于 50 的未显示;线段表示 5% 序列差异的分支长度

对 3 个采样点的两种氨氧化微生物的独立操作单元 (OTU) 序列在各自系统发育树中的位置进行了分布统计,见表 2。氨氧化古菌的分布状态为:岸边带 5 个 OTU 分布于 4 个簇中,芦苇地 3 个 OTU 分布于 3 个簇中,沉积物 2 个 OTU 分布于 2 个簇中;氨氧化细菌的分布状态为:岸边带 7 个 OTU 分布于 6 个分支中,芦苇地 6 个 OTU 分布于 4 个分支中,沉积物 6 个 OTU 分布于 2 个分支中。岸边带的两种氨氧化微生物在系统发育树中的分布也最为广泛。

表 2 各采样点氨氧化古菌和氨氧化细菌的 *amoA* 功能基因分布
Table 2 The distribution of archaeal and bacterial *amoA* gene in sample sites

采样点 Sample sites	古菌 OTU 数 OTU Num. of AOA	分布(簇) Distribution (Cluster)	细菌 OTU 数 OTU Num. of AOB	分布(分支) Distribution (Group)
芦苇床	3	Cluster1, Cluster 4 和 Cluster 5	6	<i>Nitrosospira</i> , <i>Nitrosovibrio</i> , <i>Unknown Nitrosomonadaceae</i> 2 和 3
边界区	5	Cluster 1, Cluster 2, Cluster 4 和 Cluster 5	7	<i>Nitrosomonas</i> , <i>Nitrosospira</i> , <i>Nitrosovibrio</i> , <i>Unknown Nitrosomonadaceae</i> 1, 2 和 3
沉积物	2	Cluster 3 和 4	6	<i>Nitrosomonas</i> 和 <i>Nitrosospira</i>

3 讨论

氨单加氧酶功能基因 *amoA* 在泉古菌中的发现,使研究者开始关注古菌在各种生态系统氨氧化过程中所起的作用。现已探明氨氧化古菌广泛地分布于海洋水相和陆地土壤等环境中。本研究也发现氨氧化古菌还存在于淡水湖泊的湖滨湿地系统中,具有广阔的生态域。氨氧化细菌是化能自养微生物,氨氮是其唯一的能量来源。氨氧化古菌最初也被认为是化能自养微生物。后来的研究发现,化能自养型氨氧化古菌仅限于海洋中的泉古菌,海洋中下层的氨氧化古菌被论证为存在异养和兼养等类型^[8],土壤中的氨氧化古菌也可能存在异养和兼养等类型^[9]。氨氧化古菌的多种营养类型可能是导致其在自然界中广泛存在的原因。

以往研究发现,氨氧化古菌的 *amoA* 功能基因丰度在海洋环境、原生态土壤、农业区土壤等环境中高于氨氧化细菌,引发了氨氧化古菌在氨氧化过程中占据主导地位的猜测^[10-13]。而本研究得出的结果表明,自然环境中氨氧化过程不完全是由古菌占主导地位。在氨氮浓度较低 (5.31 mg/kg) 的芦苇床样品中,确是由氨氧化古菌为主导,其 *amoA* 功能基因拷贝数量大约是细菌的 526 倍 (分别为 1.23×10^8 、 2.34×10^5 个/g 干土),但是对比在氨氮水平较高的地区,氨氧化古菌并非占据主导作用。沉积物中氨氮浓度达到 208.66 mg/kg,其中的氨氧化古菌 *amoA* 功能基因拷贝数量为 3.17×10^6 个/g 干土,仅是氨氧化细菌 *amoA* 功能基因拷贝数 1.39×10^8 个/g 干土的 1/50 倍。其他学者的研究也支持了本结果^[14]。

氨氧化古菌和氨氧化细菌在白洋淀湖滨湿地岸边带系统中的丰度和多样性分布具有明显的空间分异规律。对湖滨湿地系统中两种氨氧化微生物的生物多样性考察发现,由于在湖滨湿地岸边带中发生着复杂的氮的转化过程,氨和硝酸盐共存,体现了复杂的分布特性和很强的边缘效应^[4-5,15]。相比于陆相的芦苇床内部和水相的沉积物,白洋淀湖滨湿地的边界区无论是氨氧化古菌还是氨氧化细菌均拥有更高的生物多样性,通过 72 个克隆子酶切测序得到的 OTU 数目高于沉积物和芦苇床样品,其中氨氧化古菌含有 5 个 OTU,氨氧化细菌含有 7 个 OTU。而且在系统发育树中的分布最为广泛。氨氧化古菌的 5 个 OTU 分布于 4 个簇中,氨氧化细菌的 7 个 OTU,分别属于 *Nitrosomonas*, *Nitrosospira*, *Nitrosovibrio* 以及未知的 *Nitrosomonadaceae* 等菌属,分布于 6 个分支中。在微观尺度从功能基因的水平上也证明了湿地边界区生物多样性高的特征。

致谢:本研究得到中国科学院生态环境研究中心刘俊新研究员、贺纪正研究员、龙锡恩、高敏和李栋博士的帮助,特此致谢。

References:

[1] He J Z, Zhang L M. Advances in ammonia-oxidizing microorganisms and global nitrogen cycle. *Acta Aecologica Sinica*, 2009, 29(1): 406-415.
[2] Yin C Q. The ecological function protection and utilization of land/ inland water ecotones. *Acta Aecologica Sinica*, 1995, 15(3): 331-335.

- [3] Yin C Q, Shao X, Wang X. Retention capacity of phosphorus and nitrogen by land/water ecotone soil in Lake Baiyangdian. *Chinese Journal of Ecology*, 1999, 18(5): 7-11.
- [4] Wang W D, Wang D L, Yin C Q, Chen H Y, Jiang J, Zheng J. A study on the groundwater quality of the Baiyangdian wetland ecosystem. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(6): 919-925.
- [5] Wang W D, Wang D L, Yin C Q. A field study on the hydrochemistry of land/ inland water ecotones with reed domination. *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica*, 2002, 30(2/3): 117-127.
- [6] Francis C A, Roberts K J, Beman J M, Santoro A E, Oakley B B. Ubiquity and diversity of ammonia-oxidizing archaea in water columns and sediments of the ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2005, 102(41): 14683-14688.
- [7] Nicolaisen M H, Ramsing N B. Denaturing gradient gel electrophoresis(DGGE) approaches to study the diversity of ammonia-oxidizing bacteria. *Journal of Microbiological Methods*, 2002, 50(2): 189-203.
- [8] Agogué H, Brink M, Dinasquet J, Herndl G J. Major gradients in putatively nitrifying and non-nitrifying Archaea in the deep North Atlantic. *Nature*, 2008, 456(7223): 788-791.
- [9] Jia Z J, Conrad R. *Bacteria* rather than *Archaea* dominate microbial ammonia oxidation in an agricultural soil. *Environmental Microbiology*, 2009, 11(7): 1658-1671.
- [10] Church M J, Wai B, Karl D M, DeLong E F. Abundances of crenarchaeal *amoA* genes and transcripts in the Pacific Ocean. *Environmental Microbiology*, 2010, 12(3): 679-688.
- [11] Zhang L M, Wang M, Prosser J I, Zheng Y M, He J Z. Altitude ammonia-oxidizing bacteria and archaea in soils of Mount Everest. *FEMS Microbiology Ecology*, 2009, 70(2): 208-217.
- [12] Herrmann M, Saunders A M, Schramm A. Archaea dominate the ammonia-oxidizing community in the rhizosphere of the freshwater macrophyte *Littorella uniflora*. *Applied and Environmental Microbiology*, 2008, 74(10): 3279-3283.
- [13] Leininger S, Urlich T, Schlöter M, Schwark L, Qi J, Nicol G W, Prosser J I, Schuster S C, Schleper C. Archaea predominate among ammonia-oxidizing prokaryotes in soils. *Nature*, 2006, 442(7104): 806-809.
- [14] Di H J, Cameron K C, Shen J P, Winefield C S, O'Callaghan M, Bowatte S, He J Z. Nitrification driven by bacteria and not archaea in nitrogen-rich grassland soils. *Nature Geoscience*, 2009, 2(9): 621-624.
- [15] Zhu G B, Jetten M S M, Kusch P, Ettwig K F, Yin C Q. Potential roles of anaerobic ammonium and methane oxidation in the nitrogen cycle of wetland ecosystems. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2010, 86(4): 1043-1055.

参考文献:

- [1] 贺纪正, 张丽梅. 氨氧化微生物生态学与氮循环研究进展. *生态学报*, 2009, 29(1): 406-415.
- [2] 尹澄清. 内陆水-陆地交错带的生态功能及其保护与开发前景. *生态学报*, 1995, 15(3): 331-335.
- [3] 尹澄清, 邵霞, 王星. 白洋淀水陆交错带土壤对磷氮截留容量的初步研究. *生态学杂志*, 1999, 18(5): 7-11.
- [4] 王为东, 王大力, 尹澄清, 陈海婴, 姜婧, 郑军. 芦苇型湿地生态系统的潜水质状态研究. *生态学报*, 2001, 21(6): 919-925.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 8 April, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

The relationship between <i>Populus euphratica</i> 's radial increment and groundwater level at the lower reach of Tarim River	AN Hongyan, XU Hailiang, YE Mao, et al (2053)
Influence of elevation factor on soil profile texture configuration: a case study of the alluvial plain of Fengqiu County	TAN Manzhi, MI Shuxiao, LI Kaili, et al (2060)
Effects of ozone on AsA-GSH cycle in soybean leaves	WANG Junli, WANG Yan, ZHAO Tianhong, et al (2068)
The effects of physical and chemical factors on the growth and lipid production of <i>Chlorella</i>	ZHANG Guiyan, WEN Xiaobin, LIANG Fang, et al (2076)
Response of net productivity of masson pine plantation to climate change in North Subtropical Region	CHENG Ruimei, FENG Xiaohui, XIAO Wenfa, et al (2086)
Soil respiration of <i>Zoysia matrella</i> turfgrass in subtropics	LI Xibo, YANG Yusheng, ZENG Hongda, et al (2096)
Effect of UV-B radiation on the leaf litter decomposition and nutrient release of <i>Pinus massoniana</i>	SONG Xinzhang, ZHANG Huiling, JIANG Hong, et al (2106)
Physiological ecological effect of endophyte infection on <i>Achnatherum sibiricum</i> under drought stress	HAN Rong, LI Xia, REN Anzhi, et al (2115)
Zinc Tolerance and Accumulation Characteristics of <i>Armillaria mellea</i>	ZHU Lin, CHENG Xianhao, LI Weihuan, et al (2124)
Expansion strategies of <i>Caragana stenophylla</i> in the arid desert region	ZHANG Jianhua, MA Chengchang, LIU Zhihong, et al (2132)
Effects of mixed plant residues from the Loess Plateau on microbial biomass carbon and nitrogen in soil	WANG Chunyang, ZHOU Jianbin, XIA Zhimin, et al (2139)
Survival strategy of <i>Stipa krylovii</i> and <i>Agropyron cristatum</i> in typical steppe of Inner Mongolia	SUN Jian, LIU Miao, LI Shenggong, et al (2148)
Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in <i>Salix psammophila</i> root-zone soil in Inner Mongolia desert	HE Xueli, YANG Jing, ZHAO Lili (2159)
An experimental study on the the effects of different diurnal warming regimes on single cropping rice with Free Air Temperature Increased (FATI) facility	DONG Wenjun, DENG Aixin, ZHANG Bin, et al (2169)
Endophytic bacterial diversity in <i>Achnatherum inebrians</i> by culture-independent approach	ZHANG Xuebing, SHI Yingwu, ZENG Jun, et al (2178)
Hierarchical Partial Least Squares (Hi_PLS) model analysis of the driving factors of Henan's Ecological Footprint (EF) and its development strategy	JIA Junsong (2188)
Evaluation on spatial distribution of soil salinity and soil organic matter by indicator Kriging in Yucheng City	YANG Qiyong, YANG Jinsong, YU Shipeng (2196)
The toxicity of lupeol of <i>Inula britannica</i> on <i>Tetranychus cinnabarinus</i> and its effects on mite enzyme activity	DUAN Dandan, WANG Younian, CHENG Jun, et al (2203)
Abundance and biodiversity of ammonia-oxidizing archaea and bacteria in littoral wetland of Baiyangdian Lake, North China	YE Lei, ZHU Guibing, WANG Yu, et al (2209)
Changes of leaf water potential and water absorption potential capacities of six kinds of seedlings in Karst mount area under different drought stress intensities: Taking six forestation seedlings in karst Mountainous region for example	WANG Ding, YAO Jian, YANG Xue, et al (2216)
Comparison of structure and species diversity of <i>Eucalyptus</i> community	LIU Ping, QIN Jing, LIU Jianchang, et al (2227)
Ecosystem services valuation of the Haihe River basin wetlands	JIANG Bo, OUYANG Zhiyun, MIAO Hong, et al (2236)
Effects of <i>Phragmites australis</i> on methane emission from a brackish estuarine wetland	MA Anna, LU Jianjian (2245)
Genetic differentiation and the characteristics of uptake and accumulation of lead among <i>Camellia sinensis</i> populations under different background lead concentrations of soils in Yunnan, China	LIU Shengchuan, DUAN Changqun, LI Zhenhua, et al (2253)
Comparison of zooplankton lists between <i>Coilia mystus</i> food contents and collections from the Yangtze River Estuary & Hangzhou Bay	LIU Shouhai, XU Zhaoli (2263)
Reconstruction and analysis of July-September precipitation in Mt. Dagangshan, China	QIAO Lei, WANG Bing, GUO Hao, et al (2272)
Analysis on economic and ecological benefits of no-tillage management of <i>Carya cathayensis</i>	WANG Zhengjia, HUANG Xingzhao, TANG Xiaohua, et al (2281)
GIS-based analysis of the accessibility of urban forests in the central city of Guangzhou, China	ZHU Yaojun, WANG Cheng, JIA Baoquan, et al (2290)
Review and Monograph	
Impact factors and uncertainties of the temperature sensitivity of soil respiration	YANG Qingpeng, XU Ming, LIU Hongsheng, et al (2301)
The advance of allometric studies on plant metabolic rates and biomass	CHENG Dongliang, ZHONG Quanlin, LIN Maozi, et al (2312)
Practice and the research progress on eco-compensation for cultivated land	MA Aihui, CAI Yinying, ZHANG Anlu (2321)
Discussion	
Soil water holding capacities and infiltration characteristics of three vegetation restoration models in dry-hot valley of Yuanmou	LIU Jie, LI Xianwei, JI Zhonghua, et al (2331)
Scientific Note	
Effects of secondary, micro- and beneficial elements on rice growth and cadmium uptake	HU Kun, YU Hua, FENG Wenqiang, et al (2341)

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 8 期 (2011 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 8 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