

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

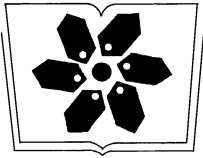
Acta Ecologica Sinica



第31卷 第21期 Vol.31 No.21 **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



生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

中国科学院科学出版基金资助出版

第 31 卷 第 21 期 2011 年 11 月 (半月刊)

目 次

基于景观格局理论和理想风水模式的藏族乡土聚落景观空间解析——以甘肃省迭部县扎尕那村落为例……	史利莎, 严力蛟, 黄璐, 等 (6305)
武夷山风景名胜区景观生态安全度时空分异规律……	游巍斌, 何东进, 巫丽芸, 等 (6317)
旅游地道路生态持续性评价——以云南省玉龙县为例……	蒋依依 (6328)
城市空间形态紧凑度模型构建方法研究……	赵景柱, 宋瑜, 石龙宇, 等 (6338)
丹顶鹤多尺度生境选择机制——以黄河三角洲自然保护区为例……	曹铭昌, 刘高焕, 徐海根 (6344)
西南喀斯特区域水土流失敏感性评价及其空间分异特征……	凡非得, 王克林, 熊鹰, 等 (6353)
流域尺度海量生态环境数据建库关键技术——以塔里木河流域为例……	高凡, 闫正龙, 黄强 (6363)
雌雄异株植物鼠李的生殖分配……	王娟, 张春雨, 赵秀海, 等 (6371)
长白山北坡不同年龄红松年表及其对气候的响应……	王晓明, 赵秀海, 高露双, 等 (6378)
不同高寒退化草地阿尔泰针茅种群的小尺度点格局……	赵成章, 任珩, 盛亚萍, 等 (6388)
残存银杏群落的结构及种群更新特征……	杨永川, 穆建平, TANG Cindy Q, 等 (6396)
濒危植物安徽羽叶报春两种花型的繁育特性及其适应进化……	邵剑文, 张文娟, 张小平 (6410)
神农架海拔梯度上 4 种典型森林的乔木叶片功能性状特征……	罗璐, 申国珍, 谢宗强, 等 (6420)
不同植被恢复模式下煤矸石山复垦土壤性质及煤矸石风化物的变化特征……	王丽艳, 韩有志, 张成梁, 等 (6429)
火烧对黔中喀斯特山地马尾松林分的影响……	张喜, 崔迎春, 朱军, 等 (6442)
内蒙古高原锦鸡儿属植物的形态和生理生态适应性……	马成仓, 高玉葆, 李清芳, 等 (6451)
古尔班通古特沙漠西部梭梭种群退化原因的对比分析……	司朗明, 刘彤, 刘斌, 等 (6460)
白石砬子国家级自然保护区天然林的自然稀疏……	周永斌, 殷有, 殷鸣放, 等 (6469)
黑龙江省东完达山地区东北虎猎物种群现状及动态趋势……	张常智, 张明海 (6481)
基于 GIS 的马铃薯甲虫扩散与河流关系研究——以新疆沙湾县为例……	李超, 张智, 郭文超, 等 (6488)
2010 年广西兴安地区稻纵卷叶螟发生动态及迁飞轨迹分析……	蒋春先, 齐会会, 孙明阳, 等 (6495)
B 型烟粉虱对寄主转换的适应性……	周福才, 李传明, 顾爱祥, 等 (6505)
利用 PCR-DGGE 方法分析不同鸡群的盲肠微生物菌群结构变化……	李永洙, Yongquan Cui (6513)
鸡粪改良铜尾矿对 3 种豆科植物生长及基质微生物量和酶活性的影响……	张宏, 沈章军, 阳贵德, 等 (6522)
铜绿微囊藻对紫外辐射的生理代谢响应……	汪燕, 李珊珊, 李建宏, 等 (6532)
10 种常见甲藻细胞体积与细胞碳、氮含量的关系……	王燕, 李瑞香, 董双林, 等 (6540)
冬季太湖表层底产毒蓝藻群落结构和种群丰度……	李大命, 孔繁翔, 于洋, 等 (6551)
城市机动车道颗粒物扩散对绿化隔离带空间结构的响应……	蔺银鼎, 武小刚, 郝兴宇, 等 (6561)
新疆城镇化与土地资源产出效益的空间分异及其协调性……	杨宇, 刘毅, 董雯, 等 (6568)
山东潍坊地下水硝酸盐污染现状及 $\delta^{15}\text{N}$ 溯源……	徐春英, 李玉中, 李巧珍, 等 (6579)
增温对宁夏引黄灌区春小麦生产的影响……	肖国举, 张强, 张峰举, 等 (6588)
一种估测小麦冠层氮含量的新高光谱指数……	梁亮, 杨敏华, 邓凯东, 等 (6594)
黄河上游灌区稻田 N_2O 排放特征……	张惠, 杨正礼, 罗良国, 等 (6606)
专论与综述	
植物源挥发性有机物对氮沉降响应研究展望……	黄娟, 莫江明, 孔国辉, 等 (6616)
植物种群更新限制——从种子生产到幼树建成……	李宁, 白冰, 鲁长虎 (6624)
研究简报	
遮荫对两个基因型玉米叶片解剖结构及光合特性的影响……	杜成凤, 李潮海, 刘天学, 等 (6633)
学术信息与动态	
科学、系统与可持续性——第六届工业生态学国际大会述评……	石海佳, 梁赛, 王震, 等 (6641)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 340 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 37 * 2011-11	



封面图说: 鹤立——丹顶鹤是世界 15 种鹤数量极小的一种, 主要栖息在沼泽、浅滩、芦苇塘等湿地, 以捕食小鱼虾、昆虫、蛙蚺、软体动物为主, 也吃植物的根茎、种子、嫩芽。善于奔驰飞翔, 喜欢结群生活。丹顶鹤属迁徙鸟类, 主要在我国的黑龙江、吉林、俄罗斯西伯利亚东部、朝鲜北部以及日本等地繁殖。在长江下游一带越冬。在中国文化中有“仙鹤”之说。被列为中国国家一级重点保护野生动物名录, 濒危野生动植物种国际贸易公约绝对保护的 CITES 附录一物种名录。

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

黄娟,莫江明,孔国辉,鲁显楷,张炜. 植物源挥发性有机物对氮沉降响应研究展望. 生态学报,2011,31(21):6616-6623.

Huang J, Mo J M, Kong G H, Lu X K, Zhang W. Research perspective for the effects of nitrogen deposition on biogenic volatile organic compounds. Acta Ecologica Sinica,2011,31(21):6616-6623.

植物源挥发性有机物对氮沉降响应研究展望

黄娟*,莫江明,孔国辉,鲁显楷,张炜

(中国科学院华南植物园,中国科学院退化生态系统植被恢复与管理重点实验室,广州 510650)

摘要:植物排放的挥发性有机物(Biogenic volatile organic compounds, BVOCs),属于植物次生代谢物质,是植物重要的防御物质,亦是全球碳(C)素循环的一个重要组成部分。它们具有很高的化学活性,参与对流层大气化学过程,并对全球变化和碳氮(N)循环等具有潜在的影响。尽管N沉降全球化已严重干扰了生态系统的碳氮循环,并且已威胁到生态系统的健康和安。然而N沉降对BVOCs影响的研究报道十分缺乏。综述了BVOCs影响因素的基础上,重点论述了N素对BVOCs的影响,提出了N沉降对植物BVOCs影响的趋势模型:在N素不足的系统, N沉降的增加补充了系统所需的N素,有利于植物的生长,大量BVOCs的排放会受到抑制;在N素丰富或过量的系统中, N沉降导致系统N素过饱和或富营养化,不利于植物的生长,刺激BVOCs的排放增加。此外,还探讨了研究N沉降对BVOCs影响的可行性方法,强调开展我国N沉降对BVOCs的影响研究的重要性和紧迫性。为我国开展N沉降对BVOCs的影响研究以及加深了解生态系统CN循环及其耦合提供参考。

关键词:BVOCs;N沉降;CN循环;全球变化

Research perspective for the effects of nitrogen deposition on biogenic volatile organic compounds

HUANG Juan*, MO Jiangming, KONG Guohui, LU Xiankai, ZHANG Wei

Key Laboratory of Vegetation Restoration and Management of Degraded Ecosystems, South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, 510650, China

Abstract: Biogenic volatile organic compounds (BVOCs) are volatile hydrocarbons emitted by plants with boiling point in the range of 50—260°C and saturated vapor pressure at room temperature beyond 133.322 Pa. Because these compounds have high reactive activities and participate in atmospheric chemistry process of troposphere, they potentially affect atmospheric environmental quality, global change and the cycling of carbon(C) and nitrogen (N). BVOCs belong to plant secondary metabolites and are considered to be plant defensive matters. Some species among BVOCs even take important ecological roles, such as resisting environmental changes, stresses and mechanical injuries, being transferred as signals among plants or between plants and insects. As a result, the functions of BVOCs and the relationship between BVOCs and global change are increasingly concerned. Nowadays, N deposition is globalizing and has become one of the new global change phenomena, and is projected to increase rapidly with development of industry, agriculture and urbanization. Elevated N deposition has been known to seriously disturb the pattern of ecosystem C and N cycles, threat the ecosystem health and services, such as inducing forest soil acidification, reducing forest plant biodiversity, ecosystem N saturation, and so on. Increasing N deposition, as a new environmental factor, is stealthily and rapidly affecting BVOCs emission rates and species, and their functions in ecosystems. However, there have been so far few reports related to the effects of N deposition on BVOCs. In this paper, based on the available information from the literature, we firstly reviewed the affecting

基金项目:中国科学院华南植物园博士启动基金(200931);广东省环境污染控制与修复技术重点实验室开放研究基金资助项目(2011K0014);973项目(2010CB833502);国家自然科学基金项目(30970521;40730102)

收稿日期:2010-08-23; 修订日期:2011-06-13

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lotus-hj@scbg.ac.cn

factors of BVOCs, secondly discussed the effects of N availability on BVOCs, and then proposed a model of possible impacts of N deposition on BVOCs. The proposed model showed that, in an N-deficient ecosystem, if N deposition offsetted N deficiency and favored plant growth, huge BVOCs release would be happened; while in an N-enriched ecosystem, if N deposition accelerated N saturation or N eutrophication of the system and threatened plant growth, BVOCs emission would be stimulated. In addition, we also proposed feasible methods for studying the effects on BVOCs from N deposition (e. g. potted experiment, simulated N deposition sites and different atmospheric N deposition gradient), and emphasized the significance and urgency to conduct such researches in China with high N deposition rate and sources. Because the total N deposition in some cities (e. g. Guangzhou and Guiyang) is estimated to be higher than $30 \text{ Tg N hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$, and China has been considered to be one of third nitrogen deposition regions in the world. The aim of the paper is to provide research progress and perspective at home and abroad for studying the responses of BVOCs to N deposition, and to simultaneously increase our understanding on forest C sequestration, C and N cycles and their coupling into ecosystems. More importantly, the research on BVOCs affected by N deposition can lay a strong basis to further explore the roles played by BVOCs during the process of the reduction of forest biodiversity and to correctly evaluate C loss as BVOCs in ecosystems under the condition of increasing N deposition in the future.

Key Words: BVOCs; N deposition; carbon and nitrogen cycles; global change

BVOCs 是指植物直接排放的沸点范围在 $50\text{--}260\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间, 室温下饱和蒸汽压超过 133.322 Pa 的易挥发性碳氢化合物。主要包括非甲烷烃类(烷烃、烯烃、芳香烃)和含氧原子的醛、酮、酚、醇、醚、酯等挥发性有机物。BVOCs 的排放量占全球非甲烷烃类的 90% 以上, 约为 1150 Tg C/a , 其中, 异戊二烯(C_5H_8 , 2-甲基-1,3-丁二烯)是非甲烷烃类中含量最高的单体烃, 其年排放量约占植物排放总量的一半^[1]。BVOCs 属于次生代谢物质, 是碳(C)素循环的一个重要组成部分, 而且还是植物生长过程中产生的重要防御性物质。BVOCs 的排放与环境因子息息相关, 环境改变, 尤其是不利环境, 更会诱导其排放变化。因此, BVOCs 的排放常常与胁迫环境有着密切联系^[2-3]。

氮(N)素是植物生长和发育所需的大量营养元素之一。N 素格外引人关注的另一原因是人类正面临一个新的严峻的环境问题——N 沉降日益增加^[4]。当前, N 沉降的平均速率超过 $10 \text{ kg N hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$, 到 2050 年, N 沉降的速率将会翻两倍, 有些地区的沉降速率会达到 $50 \text{ kg N hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ^[5]。全球来说, N 沉降增加是未来的总趋势, 但热带增加的速率较温带地区要高^[5]。近年来, 亚洲的经济发展迅速, 由工农业活动过程而产生的 N 沉降也迅速增加。到 2050 年, 亚洲地区的 N 沉降将大大超过世界其它地区, 尤其是中国——世界上仅次于欧洲和美国的第三大 N 沉降区^[6]。N 沉降增加使得过多的 N 素进入大气、土壤、水体, 给环境、气候、陆地和水域生态系统的结构和功能等均带来了严重影响^[7-9]。N 沉降对生态系统产生的一系列深远影响, 已经引起了科学家和公众的广泛关注^[4, 10]。N 沉降还通过影响植物的生长发育完成自身循环过程, 同时也参与并影响植物对 C 素的固定, 即对大气 CO_2 的捕获能力, 进而影响到 C 素循环。研究表明, N 沉降能使温带地区树木地上部分的 C 库增加 0.31 Pg C/a , 促进了温带地区森林的 C 吸存能力^[11]。

N 沉降除了影响植物对 C 的固定外, 是否也会对植物排放含碳 BVOCs (植物来源的挥发性有机物, Biogenic volatile organic compounds) 这一过程产生重要的影响? N 沉降增加了植物 N 素的来源, 有利于植物的生长发育, 但如果 N 素过量, 即超过了植物对 N 素的最高需求, N 沉降就成了限制植物生长的不利因子。当 N 沉降成了不利植物生长的因子时, BVOCs 理应也会对之做出相应的响应。在 N 沉降全球化的背景下, BVOCs 究竟如何应对 N 沉降加剧, 是否还会影响到植物对环境的适应能力和生态系统的功能? 如 N 沉降确实会影响 BVOCs 的排放, 其影响趋势是促进、抑制或影响甚微? 其影响机制是什么? 与其沉降量的关系如何? 在 N 沉降日益严重的今天, 这是亟需回答的问题。

本文概述了 BVOCs 的重要作用及影响排放的主要因子, N 素对 BVOCs 的影响, 并着重探讨 N 沉降对

BVOCs 的可能影响趋势及机理。希望本文能引起更多科技工作者对 BVOCs 与 N 沉降及全球环境变化之间相互关系的关注和兴趣,并积极开展相关的研究工作。

1 植物源挥发性有机物(BVOCs)

1.1 BVOCs 的重要作用

BVOCs 近 20 a 来受到密切关注(表 1),除了其在全球具有巨大的排放量外,还因为:

1)具有高的反应活性,能迅速参与大气化学过程,影响大气环境质量、气候变化等。较之人为来源的 VOCs(Volatile organic compounds, VOCs),BVOCs 具有更高的反应活性,它们在大气中的存活时间均较短(表 1),很容易被光解形成自由基,或发生化学反应转变成其他化合物。因此,它们在对流层大气化学过程中扮演着极为重要的角色,对一些区域或全球性气候和环境问题,如温室气体(O_3)、光化学烟雾、二次有机气溶胶、二次有机污染物(过氧化物、过氧酰基硝酸酯)等都有极为重要的影响^[13-15]。

2)具有重要的生态功能。如作为防卫物质^[16-17],有助于植物抵御胁迫环境,并保护植物免受伤害。它们可作为生物信号物质^[18-19],向植物体的其它组织和器官及邻近植物传递信号或示警。一些 BVOCs 还具有化感作用,能抑制其他植物种子的萌发、幼苗生长等^[20]。

3)参与陆地生态系统 C 素循环。BVOCs 中的 C 素源于光合作用,它们绝大多数最终都会转化为 CO_2 ,进入陆地生态系统,是陆地生态系统 C 素循环的组成要素之一^[21]。因此 BVOCs 对 C 循环(C 平衡)过程具有潜在的重要性^[14, 22-23]。各种干扰、胁迫或伤害,也会显著提高 BVOC 的释放,从而增加 BVOCs 在 C 循环中的贡献率。如水分胁迫可使葛(*Pueraria lobata*)释放的 VOCs 占其光合作用同化 C 素的 20%^[24],*Cistus albidus* 达到 10%^[25]。

表 1 不同 VOCs 种类的寿命^[2]

Table 1 Lifetime of different VOCs species

种类 Species	寿命 Lifetime		举例 Examples
	白天 Daytime	晚上 Nighttime	
异戊二烯 Isoprene	3 h	1.5 h	Isoprene
单萜 Monoterpene	2—3 h	5—30 min	α -pinene, β -pinene, sabinene
	40—80 min	5—20 min	Limonene, β -ocimene, myrcene
	15—20 min	<1 min	Terpinolene, α -phellandrene
	<5 min	<2 min	α -terpinene
倍半萜 Sesquiterpene	<4 min	<2 min	β -caryophyllene
ORVOCs (Other reactive VOCs)	<1 d		2-methyl-3-buten-2-ol
OVOCS (Other VOCs)	>1 d		Methanol, acetone

1.2 影响 BVOCs 排放的主要因素

植物排放 BVOCs 出现巨大差异是植物体与周围环境相互作用的结果。因此,植物体自身的因素是最主要的,植物种类的不同,其排放的 BVOCs 种类可能会有较大变化,有些是异戊二烯的强排放种类,有些则是单萜烯的强排放种类^[12]。叶片的位置(如向阳叶片与背阴叶片)^[26-27]、发育阶段^[28]等也都会对 BVOCs 排放造成影响。但是,环境因子的影响更不容忽视。Kesselmeier and Staudt^[12]认为,在植物生活的小生境中,任何环境因子都可影响 BVOCs 的排放发生变化。BVOCs 的排放对环境变化非常敏感,尤其是不利环境,主要表现在 BVOCs 排放的种类及排放量的改变。影响 BVOCs 排放的环境因子又分为生物因子和非生物因子^[3, 29]两大类。生物因子,如动物啃食、病原微生物的攻击、植物间的相互作用等。非生物因子包括光照、温度、水分、 CO_2 浓度等。

最先受到关注的环境因子是光强和温度。早在 1966 年,就有研究发现,异戊二烯的排放与光合作用都随着光强的增加而增长^[30-31],并且有温度依赖性^[32-33],但到一定的高温时,其排放会迅速下降,最高抑制温度与植物的种类有关^[30, 33]。而后,各种胁迫因子对 BVOCs 的影响也被研究。如高温会增加异戊二烯^[34]、单萜^[35]

和倍半萜烯的释放^[36]。热胁迫会促使云杉(*Picea abies* L.)释放的 VOCs 种类由倍半萜烯(C15)为主变为以单萜烯(C10)为主^[37]。草食动物的啃食和病原体攻击,也会诱导 BVOCs 的大量排放^[38]。故,BVOCs 常被视为植物的防御物质。BVOCs 的释放还被认为是植物适应全球变化的一种策略^[39-40]。如 CO₂和 O₃浓度增加也会影响 BVOCs 的排放^[41-42]。

2 BVOCs 与 N 沉降

2.1 N 素对 BVOCs 的影响

到目前为止,国际上还没有针对 N 沉降如何影响 BVOCs 的专门研究报道。由于 N 素长期以来是植物生长和发育所需的大量营养元素之一,因此 N 素作为养分角度(如 N 素可利用性)对 BVOCs 的影响研究开展较早,20 世纪八九十年代做了较多的工作,并涉及到 N 素影响 BVOCs 合成的机理。研究表明,N 素可利用性降低会增加萜烯类化合物的释放,如促进 *Heterotheca subaxillaris* 叶片倍半萜烯的合成和积累,增加茴香(*Anethum graveolens*)对单萜的分配,增加银胶菊(*Parthenium argentatum*)的异戊二烯浓度^[43-45]。后来的研究进一步证明,N 素可利用性改变还会影响植物释放的乙烯和茉莉酸浓度,从而影响植物应对昆虫攻击的反应能力^[46]。在机械损伤或 volicitin (N-(17-hydroxylinolenoyl)-L-Gln,一种 VOCs 释放的诱导物)处理后,N 素可利用性降低会促进玉米对倍半萜烯的释放,在最低 N 水平时,其倍半萜烯的释放量达到 6.5 μg/h^[47]。虽然 N 素对 BVOCs 的排放影响较大^[48];但其影响程度与植物叶片 N 素水平有密切关系。当植物叶片 N 素水平较低时(如<0.01%和0.04%),单萜烯的排放与 N 素无关^[49];当植物叶片 N 水平很高,单萜烯排放量亦很高,如 *Pseudotsuga menziesii*^[50-51]。黑云杉(*Picea mariana*)排放的单萜烯还与样地的 N 浓度相关^[52]。

N 素不足会影响遭受动物啃食的植物 VOCs 的释放^[46, 53]。N 素可利用性的变动还会诱导叶片凋落物排放的 VOC 发生显著变化^[54]。而叶片凋落物的降解产物是大气中大量高活性含 C 化合物的一个巨大来源。Brown 等^[54]认为,N 沉降对抑制叶片凋落物中活性化合物的排放有重要作用。这亦暗示,N 沉降对凋落物中 C 的释放有抑制作用,可影响生态系统的 C 循环。

N 素不足为何会诱导植物排放更多的防御物质? Gershenzon^[55]解释,N 素不足降低植物体内含 N 化合物的浓度,导致植物体内碳水化合物累积,从而促进萜类化合物的合成。研究表明,N 素不足通常会增加叶片蔗糖、葡萄糖、果糖和淀粉的含量^[56-57],这些非结构碳水化合物是合成 VOC 的前体物。如可溶性糖水平的提高能增强茉莉酮酸酯和伤害诱导的编码蛋白酶抑制剂的基因表达和与植物生长有关的贮存蛋白质的含量^[58-59]。因此,N 素不足可能会通过影响 BVOCs 合成的前体物或诱导物来间接影响其合成和排放。但其作用机理还需要进一步的探索。

低 N 或 N 素不足导致植物排放大量的 VOCs,使自身的 C 同化产物大量流失,植物的生长物质外流对其生长极为不利;而且也同时降低了植物对大气 CO₂的固定,使植物固定的 C 以另外一种方式——VOCs 释放到大气中,影响大气环境质量及其化学反应过程。亦有研究表明,BVOCs 排放与 N 肥呈正相关^[60],即 N 素可利用性增加会促进 BVOCs 的排放。因此,可推测,由 N 沉降而导致的 N 输入的增加也会促进 BVOCs 的合成和排放,但需相关研究来确证。

2.2 N 沉降对 BVOCs 的可能影响及其机理

在 N 素不足的系统,植物亦会分配更多的碳水化合物作为抵御胁迫物质,即以消耗更多的植物生长物质为代价,来产生更多的 BVOCs。N 沉降保证了 N 素的供应,有利于缺 N 植物的正常生长,减少体内化合物的积累,亦减少了植物对这些防御物质的分配,即 BVOCs 的合成相对减少。然而,在 N 素充足的系统,N 沉降使系统达到 N 饱和,并更大程度地促进植物地上部分的生长,根冠比减少。地上部分的光合产物分配过多,过多的碳水化合物形成并累积在地上部分,促进了 BVOCs 的合成和排放,这部分 BVOCs 消耗了植物体内过多营养物质,以防止营养过剩,有利于植物的正常生长发育。然而这些 BVOCs 是否也能更好的帮助植物抵御危害? 答案还不肯定,因为在 N 饱和的系统,植物反而更容易受到病虫害。因此,这些 BVOCs 承担的功能也需要正确评价,不但包括其对植物的防御作用,也包括其在大气化学中扮演的角色。

鉴于以上论述,提出 N 沉降对 BVOCs 的影响趋势的模型为:在 N 素不足的环境,N 沉降减少 BVOCs 排放;当 N 沉降水平持续增加,使得系统的 N 素水平处于适合植物生长的范围时,N 沉降对 BVOCs 的排放影响不显著;在 N 素过量的环境,N 沉降亦促进 BVOCs 排放(图 1)。

3 研究问题与展望

3.1 确证 N 沉降是否影响 BVOCs 的合成和排放

前面已推论了 N 沉降对 BVOCs 存在的可能影响及机理。N 沉降对植物的生长有 2 方面功能:1) 养分作用。因 N 沉降的施肥功效,有利于植物的生长,增加对大气 CO₂ 的固定,从而增强植物作为大气 CO₂ 的汇的功能。2) 富营养化,即 N 沉降导致生态系统的 N 素过量。因 N 沉降形成系统的 N 过量或 N 饱和,导致系统的富营养化,同时 N 沉降还可能严重影响大气环境质量,如酸化等,抑制植物生长,会降低植物作为大气 CO₂ 的汇的功能。

接下来,需要进行研究去验证前面的推论。N 沉降对植物的影响因所处生境不同而有较大差异,因此,在研究 N 沉降对 BVOCs 排放的影响时,要充分考虑 N 沉降的有利方面和不利方面。为了保证研究的准确性,除了区分植物所处的 N 素营养状态,即 N 是作为所需养分因子还是胁迫因子(养分过量),还应考虑研究地区的地带性差异,如热带地区的植物与温带地区的植物对相同 N 沉降水平响应的差异。为了更好的开展 N 沉降对 BVOCs 的影响研究,寻找最佳的研究方法尤显重要。

3.2 研究方法

1) 盆栽或苗圃试验

因为 BVOCs 排放除受环境因子影响外,还与植物叶龄、发育阶段及叶片位置等多种因素相关。盆栽或苗圃试验可以控制土壤、温度、光照等条件,保持试验苗木的均质性较高,可以单独研究 N 沉降对同一植物种类在相同的环境条件对 BVOCs 排放的影响。盆栽试验是采用模拟 N 沉降,故其实验数据真实度较自然条件的实验差,但可比性较高。

2) 野外样地模拟 N 沉降试验

野外样地模拟 N 沉降试验是将控制条件与自然条件结合的一种半自然条件试验。如我们在鼎湖山国家级自然保护区开展了外加 N 模拟 N 沉降实现对生态系统 N 的控制。在有 400 多年历史的季风常绿阔叶林样地进行外加 N 处理试验。实验分为 4 个处理(每个处理 3 个重复),分别为对照(Control;0 kg N hm⁻² a⁻¹)、低 N(Low-N;50 kg N hm⁻² a⁻¹)、中 N(Medium-N;100 kg N hm⁻² a⁻¹)和高 N(High-N;150 kg N hm⁻² a⁻¹)(不包括大气沉降的 N 量)^[61]。

野外样地模拟 N 沉降试验研究,可以保证试验植物种类相同,气候因子一致,但小环境(如植物受到的光照)有较大差异。其实验结果可比性虽较盆栽试验差,但其真实度较高。

3) 大气不同 N 沉降水平对 BVOCs 的影响试验

选择处于不同 N 沉降水平的植物为研究对象,测定在自然 N 沉降不同梯度环境下,植物排放 BVOCs 的差异。因为不同 N 沉降地区的气候、土壤等因素差异较大,植物种类也不能保证完全一致,但其实验结果的真实度高。

最佳研究方法是将盆栽试验、野外模拟 N 沉降结合,最后将其研究结果与自然 N 沉降梯度试验进行比较和验证。

3.3 研究我国 N 沉降对 BVOCs 影响的重要性

当今,我国已成为世界第三大 N 沉降集中区。城市化进程的加快,农业活动过量的使用化肥等因素使得

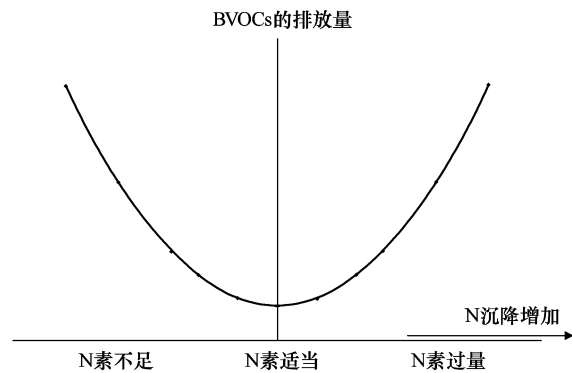


图 1 N 沉降对 BVOCs 影响的趋势模型
Fig. 1 The proposed model of possible effects of N deposition on BVOCs

我国将来很长一段时间内的 N 沉降都将维持不断增加的趋势。机动车尾气中的氮氧化物也是 N 沉降一个十分重要的来源,而且,它们还是大气中酸雨的罪魁祸首之一。随着机动车数量的增多,其尾气中的氮氧化物对酸雨的贡献正迅速扩大。广东省气象部门在 2010 年 1 月份发布的酸雨监测结果显示,2009 年广州出现酸雨的次数在上升,全年降水 96% 呈酸性,77% 呈强酸性,酸雨中硝酸的比例在逐步增大,机动车尾气中的氮氧化物可能是最大元凶。目前,广州深圳佛山江门等 9 市均属珠三角的酸雨重灾区($\text{pH}<4.5$; $4.5\leq\text{pH}<5.0$ 且酸雨频率 $>50\%$)。N 沉降极大的改变了大气环境。

BVOCs 是植物的防御物质,其一定会根据植物生长的环境变化做出相应的反应。我国植被 VOC 的年总排放量约为 17.1 Tg C ($1 \text{ Tg C} = 10^{12} \text{ g C}$)^[62],而我国珠江三角洲地区(植被面积 $4.7\times 10^4 \text{ km}^2$)。2006 年天然源 VOCs 排放总量高达 $2.4\times 10^{11} \text{ g C}$,其中异戊二烯占 24.7%,单萜占 34.4%。异戊二烯的高排放量主要分布在林区密集的地方,如博罗、从化、惠东的北部、肇庆地区、新会与台山的交界处,其最高排放量超过 $5.0\times 10^3 \text{ kg km}^{-2} \text{ a}^{-1}$ 。肇庆周边是针叶林密接的地区,其单萜年度排放量亦较大^[63]。鼎湖山的常绿阔叶林现已达到 N 饱和^[9]。

N 沉降改变了植物的生长环境,满足了植物对 N 素的需求,有利于植物的生长,植物会减少分配同化产物去形成 BVOCs,降低 BVOCs 的排放。在富 N 或 N 饱和系统中,N 沉降成了植物生长不利的因素,植物为了抵抗 N 沉降增加的不利环境,会分配更多的同化产物来形成防御物质,即植物增加对 BVOCs 物质的分配和合成,提高 BVOCs 的排放量,导致生产力降低。

因此,在 N 沉降全球化的趋势下,将 N 沉降视为环境因子,研究 BVOCs 的排放如何应对大气 N 沉降加剧的趋势将具有更重要的现实意义和价值。我国特别是南方地区开展 N 沉降对 BVOCs 的影响研究尤为必要,可以为当地环境质量状况提供可靠的数据,正确评价 BVOCs 对大气化学的潜在贡献,并为研究植物适应 N 沉降等全球环境变化的机制提供理论基础。

References:

- [1] Guenther A, Hewitt C N, Erickson D, Fall R, Geron C, Graedel T, Harley P, Klinger L, Lerdau M, McKay W A, Pierce T, Scholes B, Steinbrecher R, Tallamraju R, Taylor J, Zimmerman P. A Global model of natural volatile organic compound emissions. *Journal of Geophysical Research*, 1995, 100(D5): 8873-8892.
- [2] Holopainen J K, Gershenson J. Multiple stress factors and the emission of plant VOCs. *Trends in Plant Science*, 2010, 15(3): 176-184.
- [3] Loreto F, Schnitzler J P. Abiotic stresses and induced BVOCs. *Trends in Plant Science*, 2010, 15(3): 154-166.
- [4] Galloway J N, Townsend A R, Erismann J W, Bekunda M, Cai Z C, Freney J R, Martinelli L A, Seitzinger S P, Sutton M A. Transformation of the nitrogen cycle: recent trends, questions, and potential solutions. *Science*, 2008, 320(5878): 889-892.
- [5] Galloway J N, Dentener F J, Capone D G, Boyer E W, Howarth R W, Seitzinger S P, Asner G P, Cleveland C C, Green P A, Holland E A, Karl D M, Michaels A F, Porter J H, Townsend A R, Vorosmarty C J. Nitrogen cycles: past, present, and future. *Biogeochemistry*, 2004, 70(2): 153-226.
- [6] Galloway J N, Aber J D, Erismann J W, Seitzinger S P, Howarth R W, Cowling E B, Cosby B J. The nitrogen cascade. *BioScience*, 2003, 53(4): 341-356.
- [7] Vitousek P M, Aber J D, Howarth R W, Likens G E, Matson P A, Schindler D W, Schlesinger W H, Tilman D G. Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences. *Ecological Applications*, 1997, 7(3): 737-750.
- [8] Mo J M, Zhang W, Zhu W X, Gundersen P, Fang Y T, Li D J, Wang H. Nitrogen addition reduces soil respiration in a mature tropical forest in southern China. *Global Change Biology*, 2008, 14: 403-412.
- [9] Lu X K, Mo J M, Gilliam F S, Zhou G Y, Fang Y T. Effects of experimental nitrogen additions on plant diversity in an old-growth tropical forest. *Global Change Biology*, 2010, 16(10): 2688-2700.
- [10] Bobbink R, Hicks K, Galloway J, Spranger T, Alkemade R, Ashmore M, Bustamante M, Cinderby S, Davidson E, Dentener F, Emmett B, Erismann J W, Fenn M, Gilliam F, Nordin A, Pardo L, De Vries W. Global assessment of nitrogen deposition effects on terrestrial plant diversity: a synthesis. *Ecological Applications*, 2010, 20(1): 30-59.
- [11] Thomas R Q, Canham C D, Weathers K C, Goodale C L. Increased tree carbon storage in response to nitrogen deposition in the US. *Nature Geoscience*, 2010, 3(1): 13-17.
- [12] Kesselmeier J, Staudt M. Biogenic volatile organic compounds (VOC): an overview on emission, physiology and ecology. *Journal of Atmospheric*

- Chemistry, 1999, 33(1): 23-88.
- [13] Yao L, Ge M F, Qiao Z M, Sun Z, Wang D X. Progresses of tropospheric chemistry of volatile organic compounds. Chemistry, 2006, 69(5): w049-w049.
- [14] Fesenfeld F, Calvert J, Fall R, Goldan P, Guenther A B, Hewitt C N, Lamb B, Liu S, Trainer M, Westberg H, Zimmerman P. Emissions of volatile organic compounds from vegetation and the implications for atmospheric chemistry. Global Biogeochemical Cycles, 1992, 6(4): 389-430.
- [15] Jenkin M E, Clemitshaw K C. Ozone and other secondary photochemical pollutants: chemical processes governing their formation in the planetary boundary layer. Atmospheric Environment, 2000, 34(16): 2499-2527.
- [16] Loreto F, Förster A, Dürr M, Csiky O, Seufert G. On the monoterpene emission under heat stresses and on the increased thermotolerance of leaves of *Quercus ilex* L. fumigated with selected monoterpenes. Plant, Cell and Environment, 1998, 21(1): 101-107.
- [17] Gray D W, Lerdaun M T, Goldstein A H. Influences of temperature history, water stress, and needle age on methylbutenol emissions. Ecology, 2003, 84(3): 765-776.
- [18] Wu C. Plant signal stress with a toluene burst. Science News, 1999, 155(18): 279-279.
- [19] Gershenzon J. Plant volatiles carry both public and private messages. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2007, 104(13): 5257-5258.
- [20] Yan X F. Ecology of plant secondary metabolism. Acta Phytocologica Sinica, 2001, 25(5): 639-640.
- [21] Guenther A. The contribution of reactive carbon emissions from vegetation to the carbon balance of terrestrial ecosystems. Chemosphere, 2002, 49(8): 837-844.
- [22] Tian H Q, Melillo J M, Kicklighter D W, McGuire A D, Helfrich J V K, Moore B, Vörösmarty C J. Effect of interannual climate variability on carbon storage in Amazonian ecosystems. Nature, 1998, 396(6712): 664-667.
- [23] Kesselmeier J, Ciccioli P, Kuhn U, Stefani P, Biesenthal T, Rottenberger S, Wolf A, Vitullo M, Valentini R, Nobre A, Kabat P, Andreae M O. Volatile organic compound emissions in relation to plant carbon fixation and the terrestrial carbon budget. Global Biogeochemical Cycles, 2002, 16(4): 1-9.
- [24] Sharkey T D, Loreto F. Water stress, temperature, and light effects on the capacity for isoprene emission and photosynthesis of Kudzu leaves. Oecologia, 1993, 95(3): 328-333.
- [25] Llusà J, Peñuelas J. Changes in terpene content and emission in potted Mediterranean woody plants under severe drought. Canadian Journal of Botany, 1998, 76: 1366-1373.
- [26] Bertin N, Staudt M, Hansen U, Seufert G, Ciccioli P, Foster P, Fugit J L, Torres L. Diurnal and seasonal course of monoterpene emissions from *Quercus ilex* (L.) under natural conditions-application of light and temperature algorithms. Atmospheric Environment, 1997, 31(S1): 135-144.
- [27] Rivoal A, Fernandez C, Lavoie A V, Olivier R, Lecareux C, Greff S, Roche P, Vila B. Environmental control of terpene emissions from *Cistus monspeliensis* L. in natural Mediterranean shrublands. Chemosphere, 2010, 78(8): 942-949.
- [28] Street R A, Owen S, Duckham S C, Boissard C, Hewitt C N. Effect of habitat and age on variations in volatile organic compound (VOC) emissions from *Quercus ilex* and *Pinus pinea*. Atmospheric Environment, 1997, 31(S1): 89-100.
- [29] Keggio W, Pierik R. Biogenic volatile organic compounds and plant competition. Trends in Plant Science, 2010, 15(3): 126-132.
- [30] Sanadze G A, Kalandadze A N. Light and temperature curves of the evolution of CsHs. Soviet Plant Physiology, 1966, 13: 411-413.
- [31] Sanadze G A, Kursanov A L. On certain conditions of the evolution of the diene C₅H₈ from poplar leaves. Soviet Plant Physiology, 1966, 13: 184-189.
- [32] Tingey D T, Manning M, Grothaus L C, Burns W F. The influence of light and temperature on isoprene emission rates from live oak. Physiologia Plantarum, 1979, 47(2): 112-118.
- [33] Rasmussen R A, Jones C A. Emission isoprene from leaf discs of *Hamamelis*. Phytochemistry, 1973, 12(1): 15-19.
- [34] Sharkey T D, Yeh S S. Isoprene emission from plants. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 2001, 52: 407-436.
- [35] Peñuelas J, Llusà J. Linking photorespiration, monoterpenes and thermotolerance in *Quercus*. New Phytologist, 2002, 155(2): 227-237.
- [36] Duhl T R, Helmig D, Guenther A. Sesquiterpene emissions from vegetation: a review. Biogeosciences, 2008, 5: 761-777.
- [37] Kleist E, dal Maso M, Kiendler-Scharr A, Hoffmann T, Hohaus T, Llusà J, Mentel T, Penuelas J, Reinnig C, Seco R, Tillmann R, Uerlings R, Wamke J, Wildt J. SOA formation from stress induced biogenic VOC emissions. Karlsruhe: European Aerosol Conference, 2009. [2010-06-13]. http://www.atm.helsinki.fi/uploads/ileapsjoomla/dmdocuments/EinhardKleist_iLEAPS08.pdf.
- [38] Yi H S, Heil M, Adame-Álvarez R M, Ballhorn D J, Ryu C M. Airborne induction and priming of plant defenses against a bacterial pathogen. Plant Physiology, 2009, 151(4): 2152-2161.
- [39] Rennenberg H, Schnitzler J P. VOCs-helping trees withstand global change?. New phytologist, 2002, 155(2): 197-199.
- [40] Peñuelas J, Llusà J. BVOCs: plant defense against climate warming?. Trends in Plant Science, 2003, 8(3): 105-109.
- [41] Vurorinen T, Nerg A M, Vapaavuori E, Hollopainen J K. Emission of volatile organic compounds from two silver birch (*Betula pendula* Roth) clones grown under ambient and elevated CO₂ and different O₃ concentrations. Atmospheric Environment, 2005, 39(7): 1185-1197.
- [42] Calfapietra C, Mugnozza G S, Kamosky D F, Loreto F, Sharkey T D. Isoprene emission rates under elevated CO₂ and O₃ in two field-grown aspen

- clones differing in their sensitivity to O₃. *New Phytologist*, 2008, 179(1): 55-61.
- [43] Mihaliak C A, Lincoln D E. Changes in leaf mono- and sesquiterpene metabolism with nitrate availability and leaf age in *Heterotheca subaxillaris*. *Journal of Chemical Ecology*, 1989, 15(5): 1579-1588.
- [44] Wander J G N, Bouwmeester H J. Effects of nitrogen fertilization on dill (*Anethum graveolens* L.) seed and carvone production. *Industrial Crops and Products*, 1998, 7(2/3): 211-216.
- [45] Bonner J, Galston A W. The physiology and biochemistry of rubber formation in plants. *The Botanical Review*, 1947, 13(10): 543-596.
- [46] Schmelz E A, Alborn H T, Engelberth J, Tumlinson J H. Nitrogen deficiency increases volicitin-induced volatile emissions, jasmonic acid accumulation, and ethylene sensitivity in maize. *Plant Physiology*, 2003, 133(1): 295-306.
- [47] Gouinguéné S, Degen T, Turlings T C J. Variability in herbivore-induced odour emissions among maize cultivars and their wild ancestors (teosinte). *Chemoecology*, 2001, 11(1): 9-16.
- [48] Ormeño E, Olivier R, Mévy J P, Baldy V, Fernandez C. Compost may affect volatile and semi-volatile plant emissions through nitrogen supply and chlorophyll fluorescence. *Chemosphere*, 2009, 77(1): 94-104.
- [49] Blanch J S, Peñuelas J, Llusà J. Sensitivity of terpene emissions to drought and fertilization in terpene-storing *Pinus halepensis* and non-storing *Quercus ilex*. *Physiologia Plantarum*, 2007, 131(2): 211-225.
- [50] Lerdau M, Matson P, Fall R, Monson R. Ecological controls over monoterpene emissions from douglas-fir (*Pseudotsuga-Menziesii*). *Ecology*, 1995, 76(8): 2640-2647.
- [51] Litvak M E, Constable J V H, Monson R K. Supply and demand processes as controls over needle monoterpene synthesis and concentration in Douglas fir [*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco]. *Oecologia*, 2002, 132(3): 382-391.
- [52] Lerdau M, Litvak M, Palmer P, Monson R. Controls over monoterpene emissions from boreal forest conifers. *Tree Physiology*, 1997, 17(8/9): 563-569.
- [53] Gouinguéné S P, Turlings T C J. The effects of abiotic factors on induced volatile emissions in corn plants. *Plant Physiology*, 2002, 129: 1296-1307.
- [54] Brown E M, Wilkinson M J, Fierer N, Monson R K. VOC emissions from decomposing leaf litter. American Geophysical Union, Abstract No A43A-0880, Fall Meeting, 2007.
- [55] Gershenzon J. Metabolic costs of terpenoid accumulation in higher plants. *Journal of Chemical Ecology*, 1994, 20(6): 1281-1328.
- [56] Rufty T W, Huber S C, Volk R J. Alterations in leaf carbohydrate metabolism in response to nitrogen stress. *Plant Physiology*, 1988, 88(3): 725-730.
- [57] Paul M J, Driscoll S P. Sugar repression of photosynthesis: the role of carbohydrates in signalling nitrogen deficiency through source:sink imbalance. *Plant, Cell & Environment*, 1997, 20(1): 110-116.
- [58] Johnson R, Ryan C A. Wound-inducible potato inhibitor II genes: enhancement of expression by sucrose. *Plant Molecular Biology*, 1990, 14(4): 527-536.
- [59] Mason H S, DeWald D B, Creelman R A, Mullet J E. Coregulation of soybean vegetative storage protein gene expression by methyl jasmonate and soluble sugars. *Plant Physiology*, 1992, 98(3): 859-867.
- [60] Filella I, Peñuelas J, Llusà J, Blanch S, Seco R, Asensio L, Estiarte M, Ogaya R, Owen S. The effects of global change on BVOCs emission. Not only warming//Biogenic Volatile Organic Compounds Sources and Fates in a Changing World. Montpellier, 2007. [2010-06-13]. http://bvoc.cefe.cnrs.fr/abstract_speaker/iolanda_filella_speaker_s3.pdf.
- [61] Mo J M, Brown S, Xue J H, Fang Y T, Li Z. Response of litter decomposition to simulated N deposition in disturbed, rehabilitated and mature forests of subtropical China. *Plant and Soil*, 2006, 282(1/2): 135-151.
- [62] Yan Y, Wang Z H, Bai Y H, Xie S D, Shao M. Establishment of vegetation VOC emission inventory in China. *China Environmental Science*, 2005, 25(1): 110-114.
- [63] Zhen J Y, Zheng Z Y, Wang Z L, Zhong L J, Wu R. Biogenic VOCs emission inventory and its temporal and spatial characteristics in the Pearl River Delta area. *China Environmental Science*, 2009, 29(4): 345-350.

参考文献:

- [13] 姚立, 葛茂发, 乔志敏, 孙政, 王殿勋. 挥发性有机物对流层大气化学过程研究进展. *化学通报*, 2006, 69(5): w049-w049.
- [62] 闫雁, 王志辉, 白郁华, 谢绍东, 邵敏. 中国植被 VOC 排放清单的建立. *中国环境科学*, 2005, 25(1): 110-114.
- [63] 郑君瑜, 郑卓云, 王兆礼, 钟流举, 吴兑. 珠江三角洲天然源 VOCs 排放量估算及时空分布特征. *中国环境科学*, 2009, 29(4): 345-350.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 21 November, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Landscape spatial analysis of a traditional tibetan settlement based on landscape pattern theory and feng-shui theory: the case of Zhagana, Diebu, Gansu Province	SHI Lisha, YAN Lijiao, HUANG Lu, et al (6305)
Temporal-spatial differentiation and its change in the landscape ecological security of Wuyishan Scenery District	YOU Weibin, HE Dongjin, WU Liyun, et al (6317)
Evaluation of eco-sustainability of roads in a tourism area; a case study within Yulong County	JIANG Yiyi (6328)
Study on the compactness assessment model of urban spatial form	ZHAO Jingzhu, SONG Yu, SHI Longyu, et al (6338)
A multi-scale analysis of red-crowned crane's habitat selection at the Yellow River Delta Nature Reserve, Shandong, China	CAO Mingchang, LIU Gaohuan, XU Haigen (6344)
Assessment and spatial distribution of water and soil loss in karst regions, southwest China	FAN Feide, WANG Kelin, XIONG Ying, et al (6353)
Construction of an eco-environmental database for watershed-scale data: an example from the Tarim River Basin	GAO Fan, YAN Zhenglong, HUANG Qiang (6363)
Reproductive allocation in dioecious shrub, <i>Rhamnus davurica</i>	WANG Juan, ZHANG Chunyu, ZHAO Xiuhai, et al (6371)
Age-dependent growth responses of <i>Pinus koraiensis</i> to climate in the north slope of Changbai Mountain, North-Eastern China	WANG Xiaoming, ZHAO Xiuhai, GAO Lushuang, et al (6378)
Fine-scale spatial point patterns of <i>Stipa krylovii</i> population in different alpine degraded grasslands	ZHAO Chengzhang, REN Heng, SHENG Yaping, et al (6388)
Community structure and population regeneration in remnant <i>Ginkgo biloba</i> stands	YANG Yongchuan, MU Jianping, TANG Cindy Q., et al (6396)
Reproductive characteristics and adaptive evolution of pin and thrum flowers in endangered species, <i>Primula merrilliana</i>	SHAO Jianwen, ZHANG Wenjuan, ZHANG Xiaoping (6410)
Leaf functional traits of four typical forests along the altitudinal gradients in Mt. Shennongjia	LUO Lu, SHEN Guozhen, XIE Zongqiang, et al (6420)
Reclaimed soil properties and weathered gangue change characteristics under various vegetation types on gangue pile	WANG Liyan, HAN Youzhi, ZHANG Chengliang, et al (6429)
Influence of fire on stands of <i>Pinus massoniana</i> in a karst mountain area of central Guizhou province	ZHANG Xi, CHUI Yingchun, ZHU Jun, et al (6442)
Morphological and physiological adaptation of <i>Caragana</i> species in the Inner Mongolia Plateau	MA Chengchang, GAO Yubao, LI Qingfang, et al (6451)
A comparative study on reasons of degenerated of <i>Haloxylon ammodendron</i> population in the western part of Gurbantunggut desert	SI Langming, LIU Tong, LIU Bin, et al (6460)
Self-thinning of natural broadleaved forests in Baishilazi Nature Reserve	ZHOU Yongbin, YIN You, YIN Mingfang, et al (6469)
Population status and dynamic trends of Amur tiger's prey in Eastern Wandashan Mountain, Heilongjiang Province	ZHANG Changzhi, ZHANG Minghai (6481)
The relationship between the occurrence of Colorado Potato Beetle, <i>Leptinotarsa decemlineata</i> , and rivers based on GIS: a case study of Shawan Country	LI Chao, ZHANG Zhi, GUO Wenchao, et al (6488)
Occurrence dynamics and trajectory analysis of <i>Cnaphalocrocis medinalis</i> Guenée in Xing'an Guangxi Municipality in 2010	JIANG Chunxian, QI Huihui, SUN Mingyang, et al (6495)
Adaptability of B-biotype <i>Bemisia tabaci</i> (Gennadius) to Host Shift	ZHOU Fucui, LI Chuanming, GU Aixiang, et al (6505)
Structural change analysis of cecal bacterial flora in different poultry breeds using PCR-DGGE	LI Yongzhu, Yongquan Cui (6513)
Effect of chicken manure-amended copper mine tailings on growth of three leguminous species, soil microbial biomass and enzyme activities	ZHANG Hong, SHEN Zhangjun, YANG Guide, et al (6522)
Physiological response of <i>Microcystis</i> to solar UV radiation	WANG Yan, LI Shanshan, LI Jianhong, et al (6532)
Relationship between cell volume and cell carbon and cell nitrogen for ten common dinoflagellates	WANG Yan, LI Ruixiang, DONG Shuanglin, et al (6540)
The community structure and abundance of microcystin-producing cyanobacteria in surface sediment of Lake Taihu in winter	LI Daming, KONG Fanxiang, YU Yang, et al (6551)
Influence of green belt structure on the dispersion of particle pollutants in street canyons	LIN Yinding, WU Xiaogang, HAO Xingyu, et al (6561)
Spatio-temporal variation analysis of urbanization and land use benefit of oasis urban areas in Xinjiang	YANG Yu, LIU Yi, DONG Wen, et al (6568)
Nitrate contamination and source tracing from NO_3^- - $\delta^{15}\text{N}$ in groundwater in Weifang, Shandong Province	XU Chunying, LI Yuzhong, LI Qiaozhen, et al (6579)
The impact of rising temperature on spring wheat production in the Yellow River irrigation region of Ningxia	XIAO Guoju, ZHANG Qiang, ZHANG Fengju, et al (6588)
A new hyperspectral index for the estimation of nitrogen contents of wheat canopy	LIANG Liang, YANG Minhua, DENG Kaidong, et al (6594)
The feature of N_2O emission from a paddy field in irrigation area of the Yellow River	ZHANG Hui, YANG Zhengli, LUO Liangguo, et al (6606)
Review and Monograph	
Research perspective for the effects of nitrogen deposition on biogenic volatile organic compounds	HUANG Juan, MO Jiangming, KONG Guohui, et al (6616)
Recruitment limitation of plant population: from seed production to sapling establishment	LI Ning, BAI Bing, LU Changhu (6624)
Scientific Note	
Response of anatomical structure and photosynthetic characteristics to low light stress in leaves of different maize genotypes	DU Chengfeng, LI Chaohai, LIU Tianxue, et al (6633)

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 21 期 (2011 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 21 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@espg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@espg.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