ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

第 31 卷 第 14 期 Vol.31 No.14 2011

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 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 14 期　　2011 年 7 月　（半月刊）

目　　次

厦门市三个产业土地利用变化的敏感性…… 黄　静，崔胜辉，李方一，等（3863）
黄河源区沙漠化及其景观格局的变化…… 胡光印，董治宝，逯军峰，等（3872）
岩溶山区景观多样性变化的生态学意义对比——以贵州四个典型地区为例…… 罗光杰，李阳兵，王世杰，等（3882）
基于城市地表参数变化的城市热岛效应分析 …… 徐涵秋（3890）
北京市土地利用生态分类方法…… 唐秀美，陈百明，路庆斌，等（3902）
长白山红松臭冷杉光谱反射随海拔的变化…… 范秀华，刘伟国，卢文敏，等（3910）
臭冷杉生物量分配格局及异速生长模型…… 汪金松，张春雨，范秀华，等（3918）
渔山岛岩礁基质潮间带大型底栖动物优势种生态位…… 焦海峰，施慧雄，尤仲杰，等（3928）
食物质量差异对树麻雀能量预算和消化道形态特征的影响…… 杨志宏，邵淑丽（3937）
桂西北典型喀斯特区生态服务价值的环境响应及其空间尺度特征…… 张明阳，王克林，刘会玉，等（3947）
隔沟交替灌溉条件下玉米根系形态性状及结构分布…… 李彩霞，孙景生，周新国，等（3956）
不同抗病性茄子根系分泌物对黄萎菌的化感作用…… 周宝利，陈志霞，杜　亮，等（3964）
镧在草-菇-土系统中的循环与生物富集效应 …… 翁伯琦，姜照伟，王义祥，等（3973）
鄱阳湖流域泥沙流失及吸附态氮磷输出负荷评估 …… 余进祥，郑博福，刘娅菲，等（3980）
柠条细根的分布和动态及其与土壤资源有效性的关系…… 史建伟，王孟本，陈建文，等（3990）
土壤盐渍化对尿素与磷酸脲氨挥发的影响…… 梁　飞，田长彦（3999）
象山港海域细菌的分布特征及其环境影响因素…… 杨季芳，王海丽，陈福生，等（4007）
近地层臭氧对小麦抗氧化酶活性变化动态的影响…… 吴芳芳，郑有飞，吴荣军，等（4019）
抑制剂和安全剂对高羊茅根中酶活性和菲代谢的影响…… 龚帅帅，韩　进，高彦征，等（4027）
南苜蓿高效共生根瘤菌土壤的筛选…… 刘晓云，郭振国，李乔仙，等（4034）
汉江上游金水河流域土壤常量元素迁移模式…… 何文鸣，周　杰，张昌盛，等（4042）
基于地理和气象要素的春玉米生育期栅格化方法 …… 刘　勤，严昌荣，梅旭荣，等（4056）
日光温室切花郁金香花期与外观品质预测模型…… 李　刚，陈亚茹，戴剑锋，等（4062）
冀西北坝上半干旱区南瓜油葵间作的水分效应…… 黄　伟，张俊花，李文红，等（4072）

专论与综述

鸟类分子系统地理学研究进展 …… 董　路，张雁云（4082）
自然保护区空间特征和地块最优化选择方法 …… 王宜成（4094）
人类活动是导致生物均质化的主要因素…… 陈国奇，强　胜（4107）
冬虫夏草发生的影响因子…… 张古忍，余俊锋，吴光国，等（4117）
自然湿地土壤产甲烷菌和甲烷氧化菌多样性的分子检测…… 佘晨兴，仝　川（4126）

研究简报

塔里木河上游典型绿洲不同连作年限棉田土壤质量评价 …… 贡　璐，张海峰，吕光辉，等（4136）
高山森林凋落物分解过程中的微生物生物量动态…… 周晓庆，吴福忠，杨万勤，等（4144）
生物结皮粗糙特征——以古尔班通古特沙漠为例…… 王雪芹，张元明，张伟民，等（4153）
不同海拔茶园害虫、天敌种群及其群落结构差异 …… 柯胜兵，党凤花，毕守东，等（4161）

期刊基本参数：CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 306 * zh * P * ￥70.00 * 1510 * 33 * 2011-07

封面图说：内地多呈灌木状的沙棘，在青藏高原就表现为高大的乔木，在拉萨河以及雅鲁藏布江沿岸常常可以看到高大的沙棘林和沼泽塔头湿地相映成趣的美丽景观。

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

梁飞, 田长彦. 土壤盐渍化对尿素与磷酸脲氨挥发的影响. 生态学报, 2011, 31(14): 3999-4006.
Liang F, Tian C Y. Effects of soil salinization on ammonia volatilization characteristics of urea and urea phosphate. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(14): 3999-4006.

土壤盐渍化对尿素与磷酸脲氨挥发的影响

梁 飞[1,2], 田长彦[1,*]
(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 中国科学院绿洲生态与荒漠重点实验室, 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 氨挥发是肥料氮素损失的重要途径之一, 肥料类型、土壤类型、肥料用量以及土壤全盐量均影响氨挥发损失率及挥发特征。采用通气法测定了磷酸脲和尿素两种肥料 6 个施肥量处理分别施入 6 个不同盐渍化程度(1.7、9.9、16.4、23.2、29.1、37.9 g/kg)的土壤后氨挥发累积状况和动力学特性, 以及土壤氨挥发累积量与土壤电导值之间的相关性。结果表明: (1)在土壤总盐介于 1.66—37.9 g/kg 的范围内, 随着土壤含盐量增加, 各尿素与磷酸脲处理的氨挥发累积量显著增加; 土壤含盐量对氨挥发速率有显著的促进作用。(2)处理二次线性函数拟合的二项式系数 a 均为负值, 表明: 在不同盐渍化条件下肥料的挥发速率是随着时间增长而降低的; 一次线性函数和 Elovich 方程的斜率 a 随土壤含盐量增加而增大, 表明: 土壤盐渍化将加剧土壤的氨挥发速率。(3)土壤氨挥发累积量与电导值拟合结果符合 logistic 方程($|R|$ 分别为 0.9732, 0.9815, 0.965, 0.9182, 0.9817, 0.9971 $|R| > r_{0.01} = 0.9172$, $n=6$), 氨挥发累积量随土壤电导值呈"S"型增长。

关键词: 氨挥发; 盐渍化; 通气法; 磷酸脲; 尿素

Effects of soil salinization on ammonia volatilization characteristics of urea and urea phosphate

LIANG Fei[1,2], TIAN Changyan[1,*]
1 *Key Laboratory of Oasis and desert envrionment, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi* 830011, *China*
2 *Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100039, *China*

Abstract: Soil ammonia volatilization (AV) is an important pathway for nitrogen (N) loss from fertilizer. AV is greatly affected by meteorological variable, soil property, N fertilizer, amount of N, and soil water condition. However little information is available on AV with different total contents of soil soluble salts in western China. Saline soil is an important soil resource in arid and semi arid areas. Saline-alkali soil in China covers an area of 3.69 million hectares, and potential salt affected soil occupies an area of 1.7 million hectares. The accumulative amounts and dynamical characteristics of AV from Urea (0.8 and 2.0 g/pot) (UR) and Urea phosphate (1.0, 2.0 and 4.0 g/pot) (UP) in the soils under six different salinity levels (1.7, 9.9, 16.4, 23.2, 29.1, 37.9 g/kg) were investigated using a method of phosphoric acid and glycerol-sponge venting chamber. The main results are as follows: (1) The amount of AV of UR and UP increased with the increase of total salt content in soil within a limited range (1.7 — 37.9 g/kg). When the fertilizer treatments were same, the amount of AV in Non-saline soil was significantly smaller than in heavy salinity soil. When the salinity concentrations was 37.9 g/kg, the accumulative amounts of AV from UR2 was 37.6 mg N/kg, while it was 3.3 mg N/kg in soil at salinity level of 1.7 g/kg. The former was 11.4 times higher than the latter. (2) The coefficient a of binomial formula was negative, which suggested the rates of AV from UR and UP decreased with time in different salty soils. The slope of linear function and Elovich Equation increased as the salinity concentrations increased, suggesting that the rates of

基金项目: 国家科技支撑计划项目课题(2009BAC54B02); 中国科学院知识创新工程重大项目课题(KSCX1-YW-09-10)
收稿日期: 2010-05-25; **修订日期**: 2010-10-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: tianchy@ms.xjb.ac.cn

AV from UR and UP increased with soil salinization. (3) The correlation between the amounts of AV and the soil salinity fitted well the logistic equation($P<0.01$). The resulting curve was described as an S curve. These results indicated that AV rates from soil were greatly affected by soil total soluble salt content. Under the same amount of nitrogen application and total content of soil soluble salts, AV losses from Urea phosphate were much lower than that of Urea.

Key Words: ammonia volatilization; salinization; venting method; urea phosphate; urea

氨挥发是氮肥损失的重要途径之一[1],研究表明氮肥氨挥发损失占氮肥施用量的0.1%—47.0%[1-5]。土壤理化性质[6-7]、风速[8]、温度[9]、氮素形态[3]等因素均易于氨挥发的土壤上其损失量占到总施氮量的40%—50%[10]。目前,国内外对于土壤氨挥发的报道多集中在非盐渍土上[11-15],而对于盐渍土上氨挥发的报道较少,且多是针对某特定盐土或者碱土的单一报道[14-15];一定范围内土壤盐渍化加剧氨挥发已得以证实[16-17],但高盐度也可能抑制微生物生长,从而降低尿素水解,降低土壤氨挥发[18]。盐渍土是干旱半干旱地区的重要土壤资源[19],我国盐渍土面积为3690万hm^2,占国土面积的3.5%,1700万hm^2土壤存在潜在盐渍化[20];而且盐渍土尤其是次生盐渍土的趋势和强度仍在加强[20],但对于土壤盐渍化程度对于土壤氨挥发影响的报道较少[18]。因此,本实验选择现在农业生产中应用较广泛的尿素及其具有低氨挥发速率的衍生物——磷酸脲[22-23]作为供试肥料,通过室内模拟试验,探讨了两种氮肥在不同程度盐渍化土壤上的氨挥发特征,旨在了解盐渍土的氨挥发规律,为提高盐渍土及盐渍化土壤氮肥利用率提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

磷酸脲($CO(NH_2)_2\cdot H_3PO_4$)(四川什邡市跃成磷化工有限公司生产)为无色透明晶体,该晶体呈平行层状结构;易溶于水,熔点为115—117℃,含N为17.7%,含(P_2O_5)44.9%,1%的水溶液pH为1.89。尿素($CO(NH_2)_2$)(天津市化学试剂三厂,分析纯)含氮量46.0%。

供试土壤为典型盐土(硫酸盐土)和灌耕灰漠土,两种土壤均采集于中国科学院新疆生态与地理研究所阜康荒漠生态试验站,其中盐土采集于盐生植物园,灌耕灰漠土采集于当地棉田,供试土壤基本性状见表1。

表1 试验用荒漠盐土和灌耕灰漠土的主要性质

Table 1 Some properties of experimental soils

土壤类型 Soil type	pH	Ec (H_2O 1:5) /(ms/cm)	总盐 Total salt /(g/kg)	有机碳 Organic C /(g/kg)	全氮 Total N /(g/kg)	全磷 Total P /(g/kg)	全钾 Total K /(g/kg)	速效氮 Available N /(mg/kg)	速效钾 Available K /(mg/kg)
灌耕灰漠土 Cultivated gray desert soil	8.06	0.48	1.66	5.57	0.534	1.01	9.97	42.7	264.7
盐土 Solonchak	7.97	8.36	37.9	7.42	0.647	1.25	9.40	177.0	511.8

1.2 试验方法

1.2.1 试验装置

氨吸收装置为磷酸甘油——海绵通气法[24-25]。氨挥发室为PVC管制成,直径为15 cm,高30 cm;底部用PVC板封死,将供试土壤填入管内后,距管口10 cm加一层铁丝网,将一块直径16 cm均匀浸以20 mL磷酸甘油(50 mL磷酸—40 mL丙三醇,定容至1000 mL)的海绵置于铁丝网上,用来吸收土壤挥发的氨;管口上方置一直径20 cm,均匀浸以40 ml磷酸甘油的海绵,以阻止空气中氨被下层海绵吸收。

1.2.2 试验设计与操作方法

试验采用6×6拉丁方双因素随机区组设计。盐度设6个梯度,灌耕灰漠土与盐土按照5:0、4:1、3:2、2:3、1:4、0:5进行混合均匀,分别记为盐度Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ(盐渍度分别为:0.17%、0.99%、1.64%、2.32%、

2.91%、3.79%);6 个肥料处理,分别为不施肥 CK,磷酸脲低、中、高量(磷酸脲中量是指:按每公顷耕地 20cm 表土重 3×10^6kg、施氮量 300kg/hm^2、磷酸脲含氮量 17% 计算,本实验每盆 3.5kg 土施氮量为 2g;低量、高量分别为中量的 1/2 和 2 倍)记为 UP1、UP2、UP3,尿素低高量(低量尿素与 UP2 等氮量,约为 0.8 g 尿素、高量尿素与 UP2 等重量)记为 UR1、UR2。

试验土壤风干过 3 mm 筛,去除石块与植物凋落物。将 3.5 kg 土样与肥料按照区组设计混合均匀,装入试验装置内,加 350 mL 去离子水,安上铁丝网,分别将下层与上层海绵放入装置。为保持上层海绵湿润,每天向上层海绵均匀加 20 mL 磷酸甘油。每三天更换下层海绵,并用 0.01 mol/L $CaCl_2$ 溶液浸提所更换的海绵,试验室温度控制在(21±2) ℃,试验共持续 30d。

1.3　样品分析与结果计算

利用 AA3 型连续流动分析仪测定待测液中的铵态氮,土壤全氮-半微量凯氏法,土壤速效氮-碱扩散法,电导值-电导仪(水土比 5:1)。

按照公式:$\omega(\mathrm{N})=\rho\times V\times ts\div m$ 来计算氨挥发量。式中,$\omega(N)$ 为土壤损失的铵态氮的量,单位为 mg/kg;ρ 为流动分析仪测得的铵态氮浓度,单位为 mg/L;V 浸提液体积,单位为 L;ts 为稀释倍数;m 为土样质量,单位 kg。各时期测定量累加即为累积挥发量。

$$表观氨挥发损失率(\%)=\frac{(氨挥发累积量-相同含盐量下\ CK\ 的氨挥发累积量)}{施氮量}\times100$$

数据均采用 SPSS17.0 与 Excel 2003 进行分析及图表的绘制,用 LSD 进行多重比较确定差异的显著性。

2　结果与分析

2.1　两种氮肥在不同盐渍程度土壤上的氨挥发累积量

土壤盐渍化程度对于两种氮肥的 6 个处理的氨挥发累积量的影响趋势一致,随着土壤盐渍化程度增加土壤氨挥发累积量增大(图 1)。通过 LSD 检验发现,盐渍化程度对氨挥发累积量的影响存在显著差异,含盐量小于 1% 的梯度组(Ⅰ、Ⅱ)与盐分含量大于 2% 的 3 个梯度组(Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ)均存在显著差异;含盐量大于 3% 的梯度Ⅵ与盐分含量小于 2% 的 3 个梯度组(Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ)均存在显著差异。说明在相同的施肥条件下,土壤盐渍化能够增加土壤的氨挥发累积量。

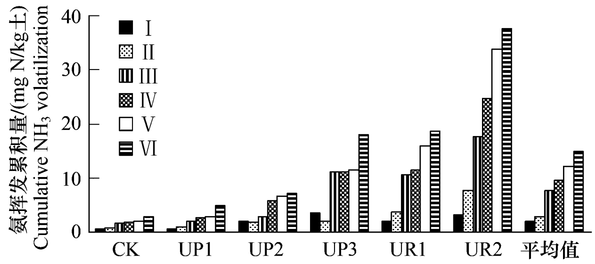

图 1　氨挥发累积量

Fig.1　The accumulative amounts of volatilized ammonia

2.2　两种氮肥在不同盐渍化程度土壤上氨挥发的累积动态

从图 2 可以看出,不同肥料处理的氨挥发累积量均随时间的延长而增大。在 6 个盐度梯度下,氨挥发量的大小基本均符合以下顺序:UR2 > UR1 ≈ UP3 > UP2 > UP1 > CK。对于同一种肥料处理,在 1 个月内铵态氮挥发的损失累积量均呈现随着土壤盐分含量增加而增大的趋势。UR2 在盐梯度Ⅵ下的 1 月氨挥发累积量(37.6 mgN/kg 土)比盐梯度Ⅰ下的量(3.3 mgN/kg 土)高了 10 倍多,较盐梯度Ⅱ(7.7 mgN/kg 土)高了约 5 倍,较盐梯度Ⅲ(17.7 mgN/kg 土)高了 2 倍;半月累积量(21.1 mgN/kg 土)较盐梯度Ⅰ(1.9 mgN/kg 土)、Ⅱ(4.1 mgN/kg 土)、Ⅲ(8.2 mgN/kg 土)分别高了 10、5、2.5 倍。盐梯度Ⅵ下 UR1 与 UP2 的一月氨挥发累积量分别为盐梯度Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ的 9、6、2、3、3、2 倍;半月挥发积累量分别为 9、4、2、5、5、3 倍。说明:不同肥料类型、不同施肥量条件下,土壤氨挥发均随着土壤盐渍化加剧而呈现增加的趋势;但相同的土壤含盐量条件下,施肥量与肥料类型共同影响土壤的氨挥发累积量和氨挥发速率。

2.3　两种氮肥在不同盐渍化土壤上氨挥发累积排放量的动力学特性

对 6 个肥料处理不同盐梯度随时间变化的累积量分别用一次线性方程($y=at+b$)、二次线性方程($y=at^2+bt+c$)、Elovich 方程($y=a\ln(t)+b$)进行的拟合,拟合结果(表 2)均获得了较好的拟合度。通过对 3 个方程的

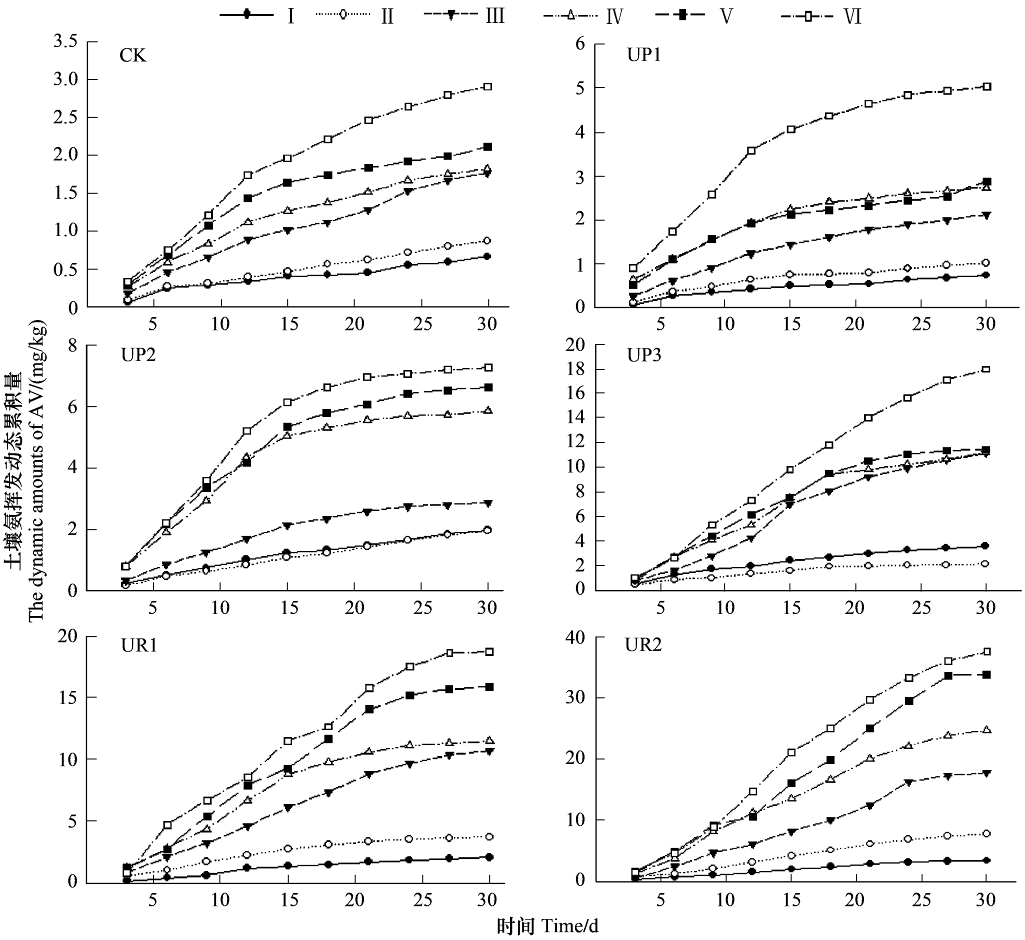

图 2 氨挥发累积动态

Fig. 2 The dynamic accumulative amounts of volatilized ammonia

系数比较发现,二次线性方程的拟合效果最好(R^2均大于 0.95),一次方程与 Elovich 方程的拟合效果因肥料与盐渍化程度不同而存在差异,但$|R|$均大于$r_{0.01}$;二次方程的二项式系数 a 均为负值,说明在不同盐渍化条件下各肥料的挥发速率是随着时间增长而降低的。通过对一次方程和 Elovich 方程的系数 a 分析发现,六个肥料处理的系数 a 基本满足于盐渍化加剧系数 a 增大的趋势,在一次线性方程与 Elovich 方程中系数 a 为斜率可以表征不同条件下氨释放速率,再次说明土壤盐渍化将加剧土壤的氨挥发。

表 2 不同盐渍化下各处理氨挥发累积动力学参数

Table 2 Kinetic parameters of ammonia volatilization under different soil salinity

肥料 Fertilizer	土壤 Soil	$y=at+b$			$y=at^2+bt+c$				$y=a\ln(t)+b$		
		a	b	R^2	a	b	c	R^2	a	b	R^2
CK	Ⅰ	0.0192	0.084	0.949	-0.0002	0.0269	0.0381	0.957	0.2374	-0.219	0.949
	Ⅱ	0.0273	0.057	0.990	-0.00009	0.0304	0.0382	0.991	0.3271	-0.3463	0.926
	Ⅲ	0.0574	0.1088	0.988	-0.0005	0.0751	0.002	0.993	0.6947	-0.7575	0.944
	Ⅳ	0.0557	0.3013	0.952	-0.0016	0.1078	-0.0112	0.996	0.7022	-0.6119	0.986
	Ⅴ	0.0625	0.4395	0.889	-0.0027	0.1531	-0.1037	0.988	0.817	-0.6601	0.988
	Ⅵ	0.0948	0.3341	0.950	-0.0028	0.1864	-0.2153	0.997	1.1928	-1.2135	0.979
UP1	Ⅰ	0.0214	0.1238	0.931	-0.0005	0.0386	0.0208	0.963	0.2719	-0.2326	0.979
	Ⅱ	0.0298	0.1889	0.927	-0.0009	0.0604	0.0056	0.978	0.3817	-0.3149	0.989
	Ⅲ	0.0666	0.2903	0.956	-0.0019	0.1281	-0.0785	0.999	0.8376	-0.7953	0.983

续表

肥料 Fertilizer	土壤 Soil	$y=at+b$			$y=at^2+bt+c$				$y=a\ln(t)+b$		
		a	b	R^2	a	b	c	R^2	a	b	R^2
	Ⅳ	0.0747	0.8004	0.887	−0.0034	0.1885	0.1176	0.996	0.9763	−0.5142	0.987
	Ⅴ	0.0752	0.7227	0.900	−0.0027	0.1656	0.1803	0.969	0.976	−0.5834	0.988
	Ⅵ	0.1503	1.1871	0.882	−0.0071	0.384	−0.2155	0.995	1.9635	−1.4563	0.981
UP2	Ⅰ	0.0628	0.1733	0.983	−0.0009	0.0928	−0.0063	0.995	0.7684	−0.7951	0.959
	Ⅱ	0.0651	0.0514	0.996	−0.0004	0.0772	−0.0213	0.998	0.78	−0.9088	0.930
	Ⅲ	0.0947	0.4073	0.925	−0.0035	0.2105	−0.2873	0.998	1.2077	−1.181	0.980
	Ⅳ	0.1827	1.3056	0.835	−0.0103	0.524	−0.7429	0.989	2.4336	−2.0298	0.965
	Ⅴ	0.2108	1.2595	0.888	−0.097	0.5325	−0.6703	0.997	2.7521	−2.442	0.985
	Ⅵ	0.235	1.4355	0.844	−0.013	0.6646	−1.1416	0.994	31.206	−2.8282	0.969
UP3	Ⅰ	0.1086	0.5671	0.960	−0.027	0.1986	0.0275	0.994	1.3627	−1.1958	0.983
	Ⅱ	0.063	0.4717	0.912	−0.0024	0.143	−0.0082	0.990	0.8059	−0.5909	0.971
	Ⅲ	0.4194	−0.4025	0.964	−0.0073	0.6609	−1.8519	0.981	5.0713	−6.714	0.918
	Ⅳ	0.3953	0.6345	0.938	−0.012	0.7916	−1.7432	0.988	4.9479	−5.9072	0.957
	Ⅴ	0.4106	0.7692	0.939	−0.0131	0.8442	−1.8323	0.994	5.1557	−5.9072	0.964
	Ⅵ	0.6623	−0.6691	0.989	−0.0076	0.9142	−2.1804	0.997	7.9653	−10.523	0.932
UR1	Ⅰ	0.0728	0.0642	0.953	−0.0018	0.1336	−0.3002	0.988	0.9051	−1.0953	0.958
	Ⅱ	0.1207	0.5653	0.930	−0.0043	0.2613	−0.2781	0.997	1.529	−1.4327	0.972
	Ⅲ	0.3899	−0.0569	0.983	−0.0055	0.573	−1.1554	0.994	4.7113	−5.916	0.935
	Ⅳ	0.4016	1.1848	0.911	−0.0157	0.9186	−1.9171	0.991	5.1101	−5.5214	0.961
	Ⅴ	0.5922	0.142	0.964	−0.0129	1.0168	−2.4058	0.990	7.2592	−9.0269	0.943
	Ⅵ	0.6787	0.3547	0.972	−0.0127	1.0984	−2.1639	0.992	8.339	−10.204	0.956
UR2	Ⅰ	0.1228	−0.0353	0.977	−0.002	0.1872	−0.4219	0.991	1.4879	−1.8914	0.935
	Ⅱ	0.283	−0.2592	0.989	−0.0023	0.3594	−0.718	0.993	3.3663	−4.3731	0.912
	Ⅲ	0.6859	−1.776	0.987	−0.0003	0.6961	−1.8371	0.987	8.0615	−11.492	0.888
	Ⅳ	0.9141	−0.5755	0.983	−0.014	1.3748	−3.3399	0.996	11.099	−14.451	0.943
	Ⅴ	1.2954	−2.9501	0.988	−0.0002	1.3031	−2.9961	0.988	15.184	−21.193	0.884
	Ⅵ	1.4491	−2.6745	0.983	0.0188	2.068	−6.3877	0.992	17.413	−24.195	0.924

$n=10$, $r_{0.05}=0.681$, $r_{0.01}=0.704$

2.4 土壤电导值与氨挥发累积量相关分析

通过对 6 个氮肥处理的氨挥发量与土壤电导值的 logistic 方程($y=K/(1+e^{(a-n)})$)拟合,结果显示:当 $n=6$ 时,电导值与 6 个肥料处理的相关性分别表现为 $|R|=0.9732, 0.9815, 0.965, 0.9182, 0.9817, 0.9971$, $|R|>r_{0.01}=0.9172$,在显著水平 $\alpha=0.01$ 下,logistic 方程具有 99% 的置信度。说明土壤氨挥发累积量增长与电导值增加趋势存在很高的相关性。氨挥发累积量(尤其是常规肥料——尿素)与土壤电导值呈“S”型增长模式(图 3)。

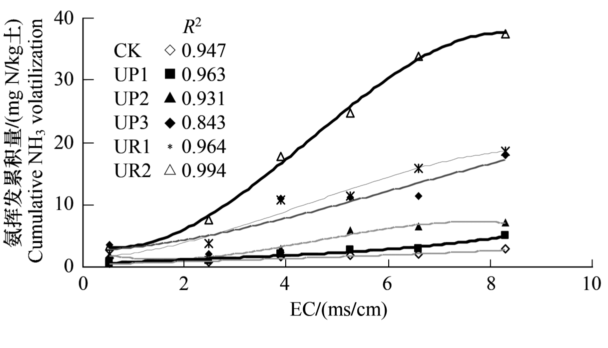

图 3　氨挥发累积量与土壤 Ec 的相关

Fig 3　The correlativity between the accumulative amounts of volatilized ammonia and the EC

3　讨论与结论

3.1　氨挥发是化学氮肥施用中造成氮素损失的条件重要途径[10],本研究中,两种氮肥于不同盐渍化条件土壤上的氨挥发损失率存在较大差异,占到施肥量的 0.15%—15.81%(表 3),与其他报道相一致[3,20,26-28];磷酸脲与尿素相比氨挥发损失率较低,这与 Ali 和 Stroehlein 的报道相似[21],可能原因是:磷酸脲降低了土壤的 pH 值,增加土壤中 H^+ 的浓度[29-30],阻止了 $NH_4^+ \rightarrow NH_3 + H^+$ 反应的进行,从而降低了磷酸脲的氨挥发。各肥料处理的表观氨挥发损失率均随土壤盐渍化加剧而呈增加趋势,常规肥料——尿素尤为显著,其原因可能

是高浓度的盐降低了土壤中铵态氮的固定与硝化,从而增加铵态氮的损失[18,31]。

3.2 两种氮肥 6 个不同处理氨挥发累积曲线的拟合度均较高,二次线性方程的二项式系数 a 均为负值,表明氨挥发速率随着时间增长而递减趋势与土壤盐渍化程度无关;一次线性方程与 Elovich 方程的斜率 a 基本符合随土壤含盐量增加而增大的趋势,表明盐渍化加剧了土壤氨挥发趋势。

表 3 土壤氨挥发损失率

Table 3 The rate of N loss by ammonia volatilization

肥料处理 Fertilizer treatments	表观氨挥发损失率 The rate of N loss by ammonia volatilization/%					
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ
UP1	0. 15	0.31	0.71	1.83	1.53	4.25
UP2	1.32	1.09	1.11	4.05	4.52	4.38
UP3	1.44	0.62	4.67	4.68	4.65	7.54
UR1	1.39	2.85	8.93	9.66	13.80	15.81
UR2	1.06	2.74	6.39	9.16	12.67	13.86

3.3 本研究通过拟合发现:土壤氨挥发累积量与电导值符合 logistic 方程($|R|>r_{0.01}=0.9172$),氨挥发累积量随土壤电导值呈“S”型增长模式。根据生态学中的种群逻辑斯蒂增长理论[32],可将该增长曲线可以划分为 5 个时期(潜伏期、加速期、转折期、减速期、平稳期)或者 3 个时期(潜伏期、加速挥发期、挥发平稳期)。潜伏期适当的盐分有促进土壤铵态氮的硝化,加快了土壤氮素的硝化速率[33],降低了土壤中的铵态氮含量,从而降低了土壤的氨挥发累积量。加速挥发期,随着土壤盐分增加,盐度对微生物的抑制作用加强[34-35],土壤中的硝化细菌逐渐受到抑制,土壤铵态氮累积量增加,加剧了土壤的氨挥发累积量。平稳期,随着土壤盐分含量增加,高盐度抑制硝化细菌的微生物的活性[18],硝化速率急剧下降[35];当土壤电导值增加到一定值后,硝化反应变得极其微弱,土壤中的铵态氮含量保持相对稳定,氨挥发累积量亦保持平稳。

本研究表明:在土壤全盐量介于 1.7—37.9g/kg 的范围内,土壤氨挥发随着土壤的盐含量增加而加剧;但土壤盐含量对氨挥发累积量的影响符合“S”型增长模式,即随着盐含量的增加到某一范围以后,氨挥发速率开始增长缓慢甚至保持不变。在相同施氮量与相同肥料用量条件下,酸性磷酸脲的氨挥发量和氨挥发表观损失率均低于尿素,表明:磷酸脲较尿素更有利于控制土壤铵态氮的气态损失,提高氮肥利用率,这在农业生产中具有重要的指导意义。有关其他盐渍土类型(硫酸盐土以外)及氮肥种类与组合条件下,土壤盐分对于氨挥发的影响有待进一步研究。

References:

[1] Ma B L, Wu T Y, Tremblay N, Deen W, McLaughlin N B, Morrison M J, Gregorich E G, Stewart G. On-farm assessment of the amount and timing of nitrogen fertilizer on ammonia volatilization. American Society of Agronomy, 2010, 102(1): 134-144.

[2] Su F, Huang B X, Ding X Q, Gao Z L, Chen X P, Zhang F S, Martin K, Volker R. Ammonia volatilization of different nitrogen fertilizer types. Soils, 2006, 38(6): 682-686.

[3] Xu W L, Liu H, zhang Y S, Wang X H, Qin Q, Liao Z W. In Situ monitoring of ammonia volatilization from grey desert soil under different in Xinjiang. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(8): 4565-4571.

[4] Tian G M, Cao J L, Cai Z C, Ren L T. Ammonia volatilization from winter wheat field top-dressed with urea. Pedosphere, 1998, 8(4): 331-336.

[5] Li Z X, Wang Q C, Liu K C, Dong S T, Wang K J, Zhang J W, Liu C X. Law of field soil ammonia volatilization in summer maize under different fertilizer patterns. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(1): 307-314.

[6] Corstanje R, Kirk G J D, Pawlett M, Read R., Lark R M. Spatial variation of ammonia volatilization from soil and its scale-dependent correlation with soil properties. European Journal of Soil Science, 2008, 59(6): 1260-1270.

[7] Zhong N, Zeng Q R, Zhang L T, Liao B H, Zhou X H, Jiang J L. Effects of acidity and alkalinity on urea transformation in Soil. Chinese Journal of Soil Scince, 2006, 37(6): 1123-1128.

[8] Valero M A C, Mara DD. Nitrogen removal via ammonia volatilization in maturation ponds. Water Science and Technology, 2007, 55(11) 87-92.

[9] Dewes T. Effect of pH, temperature, amount of litter and storage density on ammonia emissions from stable manure. The Journal of Agricultural

Science, 1996, 127(4): 501-509.

[10] Zhu Z L. Loss of fertilizer N from plants-soil system and the strategies and techniques for its reduction. Soil and Environmental Sciences, 2000, 9(1): 1-6.

[11] Zhang C X, Wu X P, Wu H J, Cai D X. Research on the relationship of ammonia volatilization rate and fertilizer type with irrigation treatments for winter wheat in North China. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2008, (5): 28-32.

[12] Li Z X, Wang Q C, Liu K C, Dong S T, Wang K J, Zhang J W, Liu C X. *In situ* study on influence of different fertilization strategies for summer maize on soil nitrogen leaching and volatilization. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2007, 13(6): 998-1005.

[13] Xu Y C, Wu X Q, Guo S W, Shen Q R. Nitrogen use efficiency and ammonia volatilization from rice shoot in late growth stages. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2008, 14(2): 207-212.

[14] Li J B, Huang G H. Effect of NaCl on ammonia volatilization, nitrification and denitrification in silt Loam Soil. Journal of Agro-Environment Science, 2006, 25(4): 945-948.

[15] Zhang Y S, Xu W L, Liu H. Primary study on the effect of salization characteristics and fertilization methods to ammonia volatilization of nitrogen fertilizer in soil. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2007, 16(1): 13-16.

[16] Mcelung G, Frankenberge W T. Soil nitrogen transfomations as afected by salinity. Soil Science, 1985, 139(5): 405-411.

[17] Praveen-Kumar, Aggarwal R K. Interdependence of ammonia volatilization and nitrificationin arid soils. Nutrient Cycling Agroecsystems, 1998, 51(3): 201-207.

[18] El-Karim A H A, El-Mahi Y E, El-Tilip A M. The influence of soil type, salinity and sodicity on ammonia volatilization in soil fertilized with urea. Annals of Agricultural Science (Cairo), 2004, 49: 401-411.

[19] Tian C Y, Zhou H F, Liu G Q. The proposal on control of soil salinizing and agricultural sustaining development in 21′Scentury in Xinjiang. Arid Land Geography, 2000, 23(2): 870-874.

[20] Wang Z Q, Zhu S Q, Yu R P, Li L Q, Shan G Z. Chinese Salt-Affected Soils. Beijing: Science Press, 1993: 250, 390-400.

[21] Srivastava A K, Bhargava P, Kumar A, Rai L C, Neilan B A. Molecular characterization and the effect of salinity on cyanobacterial diversity in the rice fields of Eastern Uttar Pradesh, India. Saline Systems, 2009, 5: 4-4.

[22] Islam M S, Parsons J W. Mineralisation of urea and urea derivatives in anaerobic soils. Plant and Soil, 1979, 51(3): 319-330.

[23] Ali A M S, Stroehlein J L. Reactions of Urea Phosphate in calcareous and alkaline soils: Ⅱ Ammonia volatilization. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1991, 22(11/12): 12-12.

[24] Wang Z H, Liu X J, Ju X T, Zhang F S. In situ determination of ammonia volatilization from wheat-maize rotation system field in north China. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(3): 359-365.

[25] Wang Z H, Liu X J, Ju X T, Zhang F S. Field in situ determination of ammonia volatilization from soil: venting method. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2002, 8(2): 205-209.

[26] ZhangY M, Hu C S, Dong W X. Ammonia volatilization from wheat-maize rotation field in the piedmont of TaiHang. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2005, 11(3): 46-48.

[27] Ju X T, Liu X J, Zou G Y, Wang Z H, Zhang F S. Evaluation of nitrogen loss way in winter wheat and summer maize rotation system. Scientia Aricultura Sinica, 2002, 35(12): 1493-1499.

[28] Dong W X, Hu C S, Zhang Y M. In situ determination of ammonia volatilization in field of north China. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2006, 14(3): 46-48.

[29] Hu X F, Wang Z Y, Sun Q Q, You Y. Characteristics of ammonia volatilization of slow release compound fertilizer in different pH values of purple Soils. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(6): 100-103.

[30] Crocker T E. Use of sulfur coated urea, ammonium sulfated and urea phosphate on blueberries in florida for N and pH control. Selected Proceedings of the Florida State Horticultural Society, 1983, 96: 226-227.

[31] Westerman R L, Tucker T C. Effect of salt plus nitrogen-15-Labeled ammonium chloride on mineralization of soil nitrogen, nitrification and immobiliztion. Soil Science Society of America Journal, 1974, 38(4): 602-605.

[32] Chen F. Agriculture Ecology, Agroecology. Beijing: China Agricultural University Press, 2002: 37-38.

[33] Li J B, Huang G H. Pilot study of salinity (NaCl) affecting nitrogen transformation in silt loam soil. Research of Environmental Sciences, 2008, 21(5): 98-103.

[34] Wang S Y, Tang B, Ye L, Peng Y Z. Influence of NaCl salinity on nitrogen removal of activated sludge system. Journal of Beijing University of Technology, 2008, 34(6): 631-635.

[35] Wang L C, Yu J L, Masateru N, Chang Y Y L. The influence of microbial activity by moisture and salinity. Reclamation and Rice Raising, 1998, (3): 40-42.

参考文献:

[2] 苏芳, 黄彬香, 丁新泉, 高志岭, 陈新平, 张福锁, Martin K, Volker R. 不同氮肥形态的氨挥发损失比较. 土壤, 2006, 38(6): 682-686.

[3] 徐万里, 刘骅, 张云舒, 王西和, 秦巧, 廖宗文. 新疆灰漠土区不同肥料配比土壤氨挥发原位监测. 生态学报, 2009, 29(8): 4565-4571.

[5] 李宗新, 王庆成, 刘开昌, 董树亭, 王空军, 张吉旺, 刘春晓. 不同施肥模式下夏玉米田间土壤氨挥发规律. 生态学报, 2009, 29(1): 307-314.

[7] 钟宁, 曾清如, 张利田, 廖柏寒, 周细红, 姜洁凌. 土壤酸碱性质对尿素转化特征的影响. 土壤通报,2006, 37(6): 1123-1128.

[10] 朱兆良. 农田中氮肥的损失与对策. 土壤与环境, 2000, 9(1): 1-6.

[11] 张承先, 武雪萍, 吴会军, 蔡典雄. 不同土壤水分条件下华北冬小麦基施不同氮肥的氨挥发研究. 中国土壤与肥料, 2008, (5): 28-32.

[12] 李宗新, 董树亭, 王空军, 张吉旺, 刘鹏, 王庆成, 刘春晓. 不同肥料运筹对夏玉米田间土壤氮素淋溶与挥发影响的原位研究. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(6): 998-1005.

[13] 徐阳春, 吴小庆, 郭世伟, 沈其荣. 水稻生育后期地上部氨挥发与氮素利用效率的研究. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(2): 207-212.

[14] 李建兵, 黄冠华. NaCl 对粉壤土氨挥发及硝化、反硝化的影响. 农业环境科学学报, 2006, 25(4): 945-948.

[15] 张云舒, 徐万里, 刘骅. 土壤盐渍化特性和施肥方法对氮肥氨挥发影响初步研究. 西北农业学报, 2007, 16(1): 13-16.

[19] 田长彦, 周宏飞, 刘国庆. 21 世纪新疆土壤盐渍化调控与农业持续发展研究建议. 干旱区地理, 2000, 23(2): 870-874.

[20] 王遵亲, 祝寿泉, 俞仁培, 黎立群, 单光宗. 中国盐渍土. 北京: 科学出版社, 1993: 250, 390-400.

[24] 王朝辉, 刘学军, 巨晓棠, 张福锁. 北方冬小麦/夏玉米轮作体系土壤氨挥发的原位测定. 生态学报, 2002, 22(3): 359-365.

[25] 王朝辉, 刘学军, 巨晓棠, 张福锁. 田间土壤氮挥发的原位测定——通气法. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(2): 205-209.

[26] 张玉铭, 胡春胜, 董文旭. 华北太行山前平原农田氨挥发损失. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(3): 417-419.

[27] 巨晓棠, 刘学军, 邹国元, 王朝辉, 张福锁. 冬小麦/夏玉米轮作体系中氮素的损失途径分析. 中国农业科学, 2002, 35(12): 1493-1499.

[28] 董文旭, 胡春胜, 张玉铭. 华北农田土壤氨挥发原位测定研究. 中国生态农业学报, 2006, 14(3): 46-48.

[29] 胡小凤, 王正银, 孙倩倩, 游媛. 缓释复合肥料在不同 pH 值紫色土中氨挥发特性. 农业工程学报, 2009, 25(6): 100-103.

[32] 陈阜. 农业生态学. 北京: 中国农业大学出版社, 2002: 37-38.

[33] 李建兵, 黄冠华. 盐分对粉壤土氮转化的影响. 环境科学研究, 2008, 21(5): 98-103.

[34] 王淑莹, 唐冰, 叶柳, 彭永臻. NaCl 盐度对活性污泥系统脱氮性能的影响. 北京工业大学学报, 2008, 34(6): 631-635.

[35] 王龙昌, 玉井理, 永田雅辉, 长友由隆. 水分和盐分对土壤微生物活性的影响. 垦殖与稻作, 1998, (3): 40-42.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 14 July, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

The sensitivity of Xiamen's three industrial sectors to land use changes …… HUANG Jing, CUI Shenghui, LI Fangyi, et al (3863)
Desertification and change of landscape pattern in the Source Region of Yellow River …… HU Guangyin, DONG Zhibao, LU Junfeng, et al (3872)
Comparison of ecological significance of landscape diversity changes in karst mountains: a case study of 4 typical karst area in Guizhou Province …… LUO Guangjie, LI Yangbing, WANG Shijie, et al (3882)
Analysis on urban heat island effect based on the dynamics of urban surface biophysical descriptors …… XU Hanqiu (3890)
Primary exploration on the ecological land use classification in Beijing …… TANG Xiumei, CHEN Baiming, LU Qingbin, et al (3902)
Changes of spectral reflectance of *Pinus koraiensis* and *Abies nephrolepis* along altitudinal gradients in Changbai Mountain …… FAN Xiuhua, LIU Weiguo, LU Wenmin, et al (3910)
Biomass allocation patterns and allometric models of *Abies nephrolepis* Maxim …… WANG Jinsong, ZHANG Chunyu, FAN Xiuhua, et al (3918)
Niche analysis of dominant species of macrobenthic community at a tidal flat of Yushan Island …… JIAO Haifeng, SHI Huixiong, YOU Zhongjie, et al (3928)
The influence of different food qualities on the energy budget and digestive tract morphology of Tree Sparrows *passer montanus* …… YANG Zhihong, SHAO Shuli (3937)
The response of ecosystem service values to ambient environment and its spatial scales in typical karst areas of northwest Guangxi, China …… ZHANG Mingyang, WANG Kelin, LIU Huiyu, et al (3947)
Root morphology characteristics under alternate furrow irrigation …… LI Caixia, SUN Jingsheng, ZHOU Xinguo, et al (3956)
Allelopathy of the root exudates from different resistant eggplants to verticillium wilt (*Verticillium dahliae* Kleb.) …… ZHOU Baoli, CHEN Zhixia, DU Liang, et al (3964)
Biological cycle and accumulation of lanthanum in the forage-mushroom-soil system …… WENG Boqi, JIANG Zhaowei, WANG Yixiang, et al (3973)
Evaluation of soil loss and transportation load of adsorption N and P in Poyang Lake watershed …… YU Jinxiang, ZHENG Bofu, LIU Yafei, et al (3980)
Effects of soil resource availabilities on vertical distribution and dynamics of fine roots in a *Caragana korshinskii* plantation …… SHI Jianwei, WANG Mengben, CHEN Jianwen, et al (3990)
Effects of soil salinization on ammonia volatilization characteristics of urea and urea phosphate …… LIANG Fei, TIAN Changyan (3999)
Distribution of marine bacteria and their environmental factors in Xiangshan Bay …… YANG Jifang, WANG Haili, CHEN Fusheng, et al (4007)
Concentration of O_3 at the atmospheric surface affects the changes characters of antioxidant enzyme activities in *Triticum aestivum* …… WU Fangfang, ZHENG Youfei, WU Rongjun, et al (4019)
Effects of inhibitor and safener on enzyme activity and phenanthrene metabolism in root of tall fescue …… GONG Shuaishuai, HAN Jin, GAO Yanzheng, et al (4027)
Screening of highly-effective rhizobial strains on Alfalfa (*Medicago polymorpha*) in soil …… LIU Xiaoyun, GUO Zhenguo, LI Qiaoxian, et al (4034)
Geochemical evolution processes of soil major elements in the forest-dominated Jinshui River Basin, the upper Hanjiang River …… HE Wenming, ZHOU Jie, ZHANG Changsheng, et al (4042)
Integrating geographic features and weather data for methodology of rasterizing spring maize growth stages …… LIU Qin, YAN Changrong, MEI Xurong, et al (4056)
A model for predicting flowering date and external quality of cut tulip in solar greenhouse …… LI Gang, CHEN Yaru, DAI Jianfeng, et al (4062)
Moisture effect analysis of pumpkin and oil sunflower intercropping in semi-arid area of northwest Hebei Province …… HUANG Wei, ZHANG Junhua, LI Wenhong, et al (4072)

Review and Monograph

Theoretical backgrounds and recent advances in avian molecular phylogeography …… DONG Lu, ZHANG Yanyun (4082)
A review on spatial attributes of nature reserves and optimal site-selection methods …… WANG Yicheng (4094)
Human activities are the principle cause of biotic homogenization …… CHEN Guoqi, QIANG Sheng (4107)
Factors influencing the occurrence of *Ophiocordyceps sinensis* …… ZHANG Guren, YU Junfeng, WU Guangguo, et al (4117)
Molecular detection of diversity of methanogens and methanotrophs in natural wetland soil …… SHE Chenxing, TONG Chuan (4126)

Scientific Note

Soil quality assessment of continuous cropping cotton fields for different years in a typical oasis in the upper reaches of the Tarim River …… GONG Lu, ZHANG Haifeng, LÜ Guanghui, et al (4136)
Dynamics of microbial biomass during litter decomposition in the alpine forest …… ZHOU Xiaoqing, WU Fuzhong, YANG Wanqin, et al (4144)
The aerodynamic roughness length of biologicalsoil crusts: a case study of Gurbantunggut Desert …… WANG Xueqin, ZHANG Yuanming, ZHANG Weimin, et al (4153)
Differences among population quantities and community structures of pests and their natural enemies in tea gardens of different altitudes …… KE Shengbing, DANG Fenghua, BI Shoudong, et al (4161)

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 14 期　（2011 年 7 月）

ACTA ECOLOGICA SINICA
（Semimonthly，Started in 1981）
Vol. 31　No. 14　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
主　　编　冯宗炜
主　　管　中国科学技术协会
主　　办　中国生态学学会
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
出　　版　科学出版社
地址：北京东黄城根北街 16 号
邮政编码：100717
印　　刷　北京北林印刷厂
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
订　　购　全国各地邮局
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
广告经营许可证　京海工商广字第 8013 号

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
Editor-in-chief FENG Zong-Wei
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences，CAS
Add：18，Shuangqing Street，Haidian，Beijing 100085，China
Published by Science Press
Add：16 Donghuangchenggen North Street，Beijing　100717，China
Printed by Beijing Bei Lin Printing House，Beijing 100083，China
Distributed by Science Press
Add：16 Donghuangchenggen North Street，Beijing 100717，China
Tel：（010）64034563
E-mail：journal@ cspg. net
Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading Corporation
Add：P. O. Box 399 Beijing 100044，China

ISSN 1000-0933

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