

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

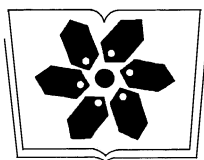
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第7期 Vol.32 No.7 **2012**

中国生态学会
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 32 卷 第 7 期 2012 年 4 月 (半月刊)

目次

城市生态景观研究的基础理论框架与技术构架	孙然好, 许忠良, 陈利顶, 等 (1979)
拟南芥芥子酸酯对 UV-B 辐射的响应	李 敏, 王 垠, 牟晓飞, 等 (1987)
蛋白核小球藻对 Pb(II) 和 Cd(II) 的生物吸附及其影响因素	姜 晶, 李 亮, 李海鹏, 等 (1995)
梨枣在果实生长期对土壤水势的响应	韩立新, 汪有科, 张琳琳 (2004)
产业生态系统资源代谢分析方法	施晓清, 杨建新, 王如松, 等 (2012)
基于物质流和生态足迹的可持续发展指标体系构建——以安徽省铜陵市为例	 赵卉卉, 王 远, 谷学明, 等 (2025)
河北省县域农田生态系统供给功能的健康评价	白琳红, 王 卫, 张 玉 (2033)
温郁金内生真菌 <i>Chaetomium globosum</i> L18 对植物病原菌的抑菌谱及拮抗机理	 王艳红, 吴晓民, 朱艳萍, 等 (2040)
基于稳定碳同位素技术的华北低丘山区核桃-小麦复合系统种间水分利用研究	 何春霞, 孟 平, 张劲松, 等 (2047)
云贵高原喀斯特坡耕地土壤微生物量 C、N、P 空间分布	张利青, 彭晚霞, 宋同清, 等 (2056)
水稻根系通气组织与根系泌氧及根际硝化作用的关系	李奕林 (2066)
苹果绵蚜对不同苹果品种春梢生长期生理指标的影响	王西存, 于 毅, 周洪旭, 等 (2075)
磷高效转基因大豆对根际微生物群落的影响	金凌波, 周 峰, 姚 涓, 等 (2082)
基于 MODIS-EVI 数据和 Symlet11 小波识别东北地区水稻主要物候期	 徐岩岩, 张佳华, YANG Limin (2091)
基于降水利用比较分析的四川省种植制度优化	王明田, 曲辉辉, 杨晓光, 等 (2099)
气候变暖对东北玉米低温冷害分布规律的影响	高晓容, 王春乙, 张继权 (2110)
施肥对巢湖流域稻季氨挥发损失的影响	朱小红, 马中文, 马友华, 等 (2119)
丛枝菌根真菌对枳根净离子流及锌污染下枳苗矿质营养的影响	肖家欣, 杨 慧, 张绍铃 (2127)
不同 R:FR 值对菊花叶片气孔特征和气孔导度的影响	杨再强, 张 静, 江晓东, 等 (2135)
神农架海拔梯度上 4 种典型森林凋落物现存量及其养分循环动态	刘 蕾, 申国珍, 陈芳清, 等 (2142)
黄土高原刺槐人工林地表凋落物对土壤呼吸的贡献	周小刚, 郭胜利, 车升国, 等 (2150)
贵州雷公山秃杉种群生活史特征与空间分布格局	陈志阳, 杨 宁, 姚先铭, 等 (2158)
LAS 测算森林冠层上方温度结构参数的可行性	郑 宁, 张劲松, 孟 平, 等 (2166)
基于 RS/GIS 的重庆缙云山自然保护区植被及碳储量密度空间分布研究	 徐少君, 曾 波, 苏晓磊, 等 (2174)

模拟氮沉降增加对寒温带针叶林土壤 CO₂ 排放的初期影响 温都如娜,方华军,于贵瑞,等 (2185)

桂江流域附生硅藻群落特征及影响因素..... 邓培雁,雷远达,刘 威,等 (2196)

小浪底水库排沙对黄河鲤鱼的急性胁迫..... 孙麓垠,白音包力皋,牛翠娟,等 (2204)

上海池塘养殖环境成本——基于双边界二分式 CVM 法的实证研究 唐克勇,杨正勇,杨怀宇,等 (2212)

稻纵卷叶螟绒茧蜂对寄主的搜索行为 周 慧,张 扬,吴伟坚 (2223)

农林复合系统中灌木篱墙对异色瓢虫种群分布的影响..... 严 飞,周在豹,王 朔,等 (2230)

苹果脱乙酰几丁质发酵液诱导苹果叶片对斑点落叶病的早期抗性反应.....

..... 王荣娟,姚允聪,戚亚平,等 (2239)

专论与综述

气候变化影响下海岸带脆弱性评估研究进展..... 王 宁,张利权,袁 琳,等 (2248)

外来红树植物无瓣海桑引种及其生态影响 彭友贵,徐正春,刘敏超 (2259)

问题讨论

城市污泥生物好氧发酵对有机污染物的降解及其影响因素..... 余 杰,郑国砥,高 定,等 (2271)

4 种绿化树种盆栽土壤微生物对柴油污染响应及对 PAHs 的修复 闫文德,梁小翠,郑 威,等 (2279)

研究简报

云南会泽铅锌矿废弃矿渣堆常见植物内生真菌多样性..... 李东伟,徐红梅,梅 涛,等 (2288)

南方根结线虫对不同砧木嫁接番茄苗活性氧清除系统的影响 梁 朋,陈振德,罗庆熙 (2294)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 322 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2012-04



封面图说: 站立的仓鼠——仓鼠为小型啮齿类动物,栖息于荒漠、荒漠草原等地带的洞穴之中。白天他们往往会躲在洞穴中睡觉和休息,以避开天敌的攻击,偶尔也会出来走动,站立起来警惕地四处张望。喜欢把食物藏在腮的两边,然后再走到安全的地方吐出来,由此得仓鼠之名。它们的门齿会不停的生长,所以它们的上下门齿必须不断啃食硬东西来磨牙,一方面避免门齿长得太长,妨碍咀嚼,一方面保持门牙的锐利。仓鼠以杂草种子、昆虫等为食。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201107151055

朱小红, 马中文, 马友华, 张丽娟, 汪丽婷, 徐宏军, 肖圣辉. 施肥对巢湖流域稻季氨挥发损失的影响. 生态学报, 2012, 32(7): 2119-2126.

Zhu X H, Ma Z W, Ma Y H, Zhang L J, Wang L T, Xu H J, Xiao S H. Effect of fertilization on ammonia volatilization from paddy fields in Chao Lake Basin. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(7): 2119-2126.

施肥对巢湖流域稻季氨挥发损失的影响

朱小红¹, 马中文¹, 马友华^{1,*}, 张丽娟¹, 汪丽婷¹, 徐宏军², 肖圣辉²

(1. 安徽农业大学资源与环境学院, 合肥 230036, 2. 居巢区农业环保站, 巢湖 238000)

摘要: 采用通气法对巢湖流域稻季土壤氨挥发原位监测, 研究了不同施肥量及秸秆还田处理对稻季氨挥发的影响。结果表明, 氨挥发峰值发生在施肥后的第 1—3 天, 氨挥发损失主要集中于施肥后的 1 周。2010 年整个稻季氨挥发净损失量为 7.22—14.20 kg/hm², 占氮肥施用量的 4.59%—6.64%, 基肥期是主要的氨挥发时期, 约占总氨挥发量的 60%, 穗肥期氨挥发总损失量最小。常规施肥处理氨挥发总损失量最大, 与常规施肥相比, 优化施肥、减量化施肥均能减少稻田土壤氨挥发损失 1%—2%, 氮磷肥减量同时秸秆还田处理氨挥发量最小, 其总氨挥发量占常规处理的 54%。施肥后的 1—2d 内田面水中的 NH₄⁺-N 浓度达到最大值, 且各施肥处理的氨挥发量与同期田面水中的 NH₄⁺-N 浓度呈线性正相关。结合经济效益和环境效应分析发现, 秸秆还田处理可减少氨挥发损失, 同时获得较高的经济效益, 适宜在巢湖流域水稻季推广。

关键词: 稻田; 施肥; 氨挥发; 巢湖流域

Effect of fertilization on ammonia volatilization from paddy fields in Chao Lake Basin

ZHU Xiaohong¹, MA Zhongwen¹, MA Youhua^{1,*}, ZHANG Lijuan¹, WANG Liting¹, XU Hongjun², XIAO Shenghui²

1 School of Resource and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China

2 Juchao District Agro-ecological Environment Center, Chaohu 238000, China

Abstract: Ammonia (NH₃) is formed constantly in soils because of the biological degradation of organic compounds and NH₄⁺ yielding mineral and organic fertilizers. NH₃ volatilization is one of the major losses of applied nitrogen fertilizers, which is affected by the local climate conditions (e. g., temperature, sun illumination, and wind speed), soil moisture content, urease activity, fertilization time, and ammonium concentration in surface water of the paddy fields. In this study, A situ experiment combined with venting method was conducted to study the effects of different fertilization patterns on NH₃ volatilization in Chao Lake Basin during the rice season in 2010. In the experiment, there were six treatments with the control, the conventional fertilization, the optimization fertilization (according to local test of fertilization recipe), the reduction by 30% of nitrogen fertilizer, the reduction by 50% of phosphorus fertilizer and the straw return. The results showed that the NH₃ volatilization loss from paddy fields was affected by fertilization and ammonium nitrogen (NH₄⁺-N) concentration in surface water of the paddy fields. The NH₃ volatilization among different treatments lasted for one week and the volatilization peak occurred within one to three days after fertilization, then declined quickly. When the rate of phosphorus fertilizer remained the same (e. g., the treatments of the optimization fertilization and the reduction by 30% of nitrogen fertilizer), The concentration of NH₃ volatilization loss enhanced as the nitrogen application rate increased with the same rate of phosphorus fertilizer. The amount of NH₃ volatilization ranged from 7.22 to 14.20 kg/hm², Which accounted

基金项目: 公益性行业 (农业) 科研专项 (201103039); 农业部第一次全国污染普查农业源产排污系数测算重点监测项目 (WX-Z-07-07); 农业部农业生态环境保护项目 (2110402-1177) 资助

收稿日期: 2011-07-15; **修订日期:** 2012-01-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yhma2010@yahoo.com.cn

for 4.59% to 6.64% of the total applied N for the whole period of rice growth. Compared with the conventional fertilization, the NH_3 volatilization loss was reduced by 1% to 2% respectively with the treatments of the reduction by 30% of nitrogen fertilizer, by 50% of phosphorus fertilizer and the optimization fertilization, while the NH_3 volatilization loss was reduced by 6.98 kg/hm² with the treatment of the straw return, which total ammonia volatilize quantity was 54% of the conventional fertilization. The highest NH_3 volatilization loss occurred at basal dressing, which amount for 60% of the total NH_3 loss, while the lowest loss did at panicle stage. The concentration of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ in surface water reached the highest within one to two days after fertilization. The positive correlation was observed between NH_3 loss and $\text{NH}_4^+\text{-N}$ concentration in the surface water of the basal dressing and the first top-dressing. From the point of the water improvement of Chao Lake basin, the period within a week after the fertilizer application was a critical time to control N loss and leaching from flooded paddy fields. NH_3 loss would be decreased when N and P fertilization was rational. It is necessary to apply rational and balanced fertilization for N and P. Combined with economic benefit and environmental risk, the straw return is recommended for rice production in Chao Lake basin.

Key Words: paddy fields; fertilizer; ammonia volatilization; Chao Lake basin

作为五大淡水湖泊之一的巢湖,是安徽省稻米、油料、水禽和鱼类主要产地之一。近年来,为了增加产量,农民大量投入肥料,氮肥利用率低,损失比较严重。2009年巢湖流域地区仅合肥、巢湖两市的水稻播种面积为 $463.834 \times 10^3 \text{ hm}^2$ ^[1],农业化肥使用量 42.45 万 t,其中氮肥 17.39 万 t。据报道,水稻的氮肥利用率仅 30%—35%^[2],稻田生产中,氨挥发与硝化-反硝化是氮肥损失的主要途径,通过氨挥发损失的氮可达施入量的 5%—47%^[3-4],在造成氮素损失的同时,挥发到大气中的氨对环境产生了严重影响。目前有关施肥对氨挥发的影响已有一些研究^[5-6],另外王桂苓^[7]等对巢湖流域麦稻轮作氮磷流失方面做了一些研究,本文在王桂苓等研究的试验小区增加氨挥发监测,一方面可以研究不同氮磷肥施用量及秸秆还田处理的氨挥发损失,为减少肥料损失提高肥料利用率提供科学依据;另一方面摸清污染底数及排放规律,有助于相关部门制定应对措施。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地点设在居巢区中埠镇(31°39'N, 117°46'E, 海拔 17 m),距巢湖 2 km,气候由巢湖水体调节。该地区降水及排水最终会通过支流排入巢湖水体。该地区以粮食作物种植为主,为麦(油)稻轮作,土壤类型为典型的水稻土,具体为潜育型水稻土亚类。供试土壤理化性状:有机质 34.07 g/kg,全氮 1.58 g/kg,硝态氮 8.98 mg/kg,全磷 0.78 g/kg,有效磷 25.97 mg/kg,有效钾 136.31 mg/kg, pH 值 6.99。试验地土壤氮、磷含量比较丰富,钾中等。

1.2 试验设计

供试作物为皖稻 158,于 2010 年 6 月 21 日移栽,2010 年 10 月 6 日收获,试验共设 6 个处理。(1)空白对照:不施肥料;(2)常规施肥:当地习惯施肥量;每公顷施肥量(kg) $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O} = 214\text{-}84\text{-}0$;(3)优化施肥:当地最高产量的配方施肥;每公顷施肥量 $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O} = 225\text{-}68\text{-}120$;(4)减氮 30%:在优化施肥的基础上氮肥施用量减少 30%;(5)减磷 50%:在优化施肥的基础上磷肥施用量减少 50%;(6)秸秆还田:优化施肥基础上,减氮 30% 减磷 50%,每公顷翻压还田 3000 kg 小麦秸秆,钾肥减少的量与 3000 kg 小麦秸秆中的养分含量相当;每公顷施肥量 $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O} = 158\text{-}34\text{-}80$ 。麦秸的氮(N)、磷(P)、钾(K)含量分别为 0.64%、0.19% 和 1.32%。肥料品种:氮肥为尿素,磷肥为过磷酸钙,钾肥为氯化钾。磷肥全部做基肥施用,氮肥除常规施肥采用 60% 做基肥,40% 做追肥外,其他处理均采用基肥:分蘖肥:穗肥 = 4:4:2,钾 70% 作为基肥,30% 作为穗肥施用。

3 次重复,18 个小区并排分布在径流池两侧。小区之间、小区和周边地块之间用田埂隔开。田埂为单砖(12 cm)浆砌或水泥结构的墙体,墙体高 50 cm,其中地下部分 30 cm,地上部分 20 cm。基肥、分蘖肥和穗肥的

施肥时间分别:6月22日,6月28日和8月2日。

1.3 样品采集与测试

1.3.1 氨挥发采集与测试^[8-9]

采集装置(图1)由内径15 cm,高20 cm、无底PVC管及厚度为2 cm的海绵组成,测定前将海绵均匀浸入15 mL的磷酸甘油溶液(50 mL磷酸+40 mL丙三醇,定容至1000 mL),测定氨挥发时将两层海绵置于PVC管中,两层海绵间隔3—5 cm,内层海绵用于吸收土壤挥发出来的氨,外层海绵用于防止外界气体污染。

施肥后当天将采集装置放入田间,在各个小区的不同位置放置3个PVC管,第2天7:00开始取样,每次在7:00—8:00间完成取样,取样时将下层海绵取出,立即放入样品袋,密封,同时放入另一块浸过磷酸甘油溶液的海绵,重新放置PVC管位置,进行下一次采样。上层海绵视干湿情况,3—7 d更换1次。本实验每次施肥后监测7 d。

铵态氮浸提液用靛酚蓝比色法^[10]测定铵态氮浓度。

1.3.2 田面水采集与测试

各小区水样为3点随机取样的混合样。施肥后1周内每日测定,1周后根据田面水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度大小隔两日测1次。穗肥期由于试验田采用浅湿间歇灌溉,穗肥期仅取样两次,不具代表性,故只分析了基肥和分蘖肥时期的田面水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度变化。

铵态氮用靛酚蓝比色法(GB/T 8538-1995)测定。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理稻田氨挥发动态变化

图2为不同施肥处理稻田氨挥发量的变化图。从图2可以看出,每次施肥后,不同处理氨挥发量曲线变化趋势相似,均为施肥后1—3 d出现峰值,随后逐渐降低,约1周左右挥发量与对照无明显差异。

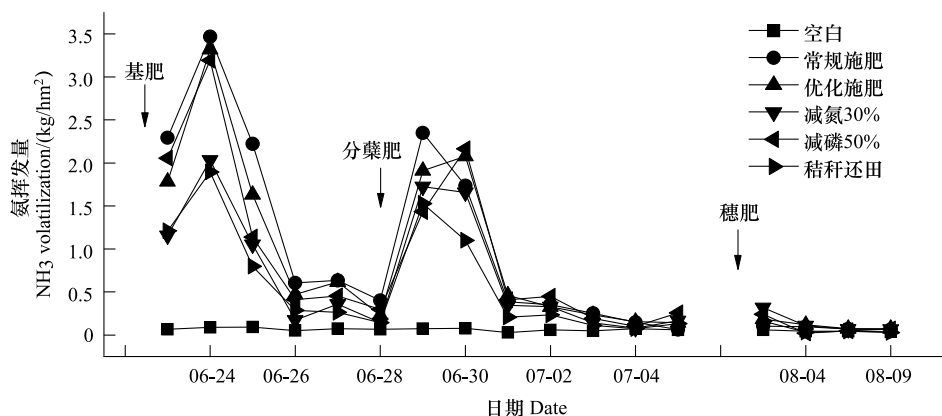


图2 不同施肥处理稻田氨挥发动态变化

Fig.2 The dynamics curve for NH_3 volatilization under different dosages of fertilizers applied

在本试验条件下,基肥期土壤氨挥发量变化最大,在0.09—3.47 kg/hm²之间,比较6月24日各施肥处理氨挥发量,可以看出,常规施肥土壤氨挥发量最大,分别是减氮30%处理及秸秆还田处理的1.71倍和1.84

倍,氨挥发量表现为:常规施肥>优化施肥>减磷 50%>减氮 30%>秸秆还田>空白。分蘖肥期氨挥发量变化在 0.03—2.35 kg/hm² 之间;常规施肥氨挥发量最大,为 2.35 kg/hm²,氨挥发量表现为:常规施肥>减磷 50%>优化施肥>减氮 30%>秸秆还田>空白。穗肥期氨挥发量变化最小,在 0.04—0.32 kg/hm² 之间。减氮 30% 处理土壤氨挥发量最大,为 0.32 kg/hm²,氨挥发量表现为:减氮 30%>减磷 50%>优化施肥>秸秆还田>常规施肥>空白。在整个生育期中,基肥期氨挥发量最大,穗肥期氨挥发量最小。

2.2 不同施肥处理稻田田面水 NH₄⁺-N 动态变化

各施肥处理田面水 NH₄⁺-N 浓度变化见图 3,从整体上看,基肥和分蘖肥期,施肥后各处理的田面水 NH₄⁺-N 浓度迅速升高。基肥期,除减磷 50% 处理外,其他各处理均是施肥后的第 1 天田面水 NH₄⁺-N 浓度达到峰值,减磷 50% 在施肥后的第 2 天达到峰值;随着时间的推移,NH₄⁺-N 浓度显著降低,施肥后第 3 天,优化施肥与秸秆还田处理 NH₄⁺-N 浓度出现第 2 个高峰,1 周左右,田面水 NH₄⁺-N 浓度降到稳定的低水平。分蘖肥期,施肥后各处理田面水 NH₄⁺-N 均在第 2 天达到最大值,随后逐渐降低。

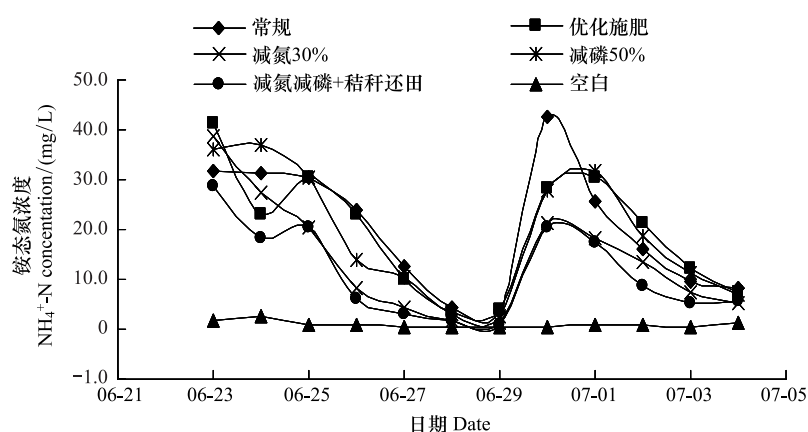


图 3 不同施肥处理稻田田面水 NH₄⁺-N 浓度动态变化

Fig. 3 NH₄⁺-N in the field surface water under different fertilizers treatments

各施肥时期不同处理的田面水 NH₄⁺-N 浓度是:基肥常规施肥、优化施肥、减氮 30%、减磷 50%、秸秆还田处理分别为 31.71, 41.46, 38.56, 36.88, 28.49 mg/L;分蘖肥常规施肥、优化施肥、减氮 30%、减磷 50%、秸秆还田处理分别为 42.58, 28.21, 21.15, 31.63, 20.29 mg/L。

6 月 21 日灌水,灌溉水 NH₄⁺-N 浓度为 1.2 mg/L,6 月 22 日施肥,6 月 23 日不施肥处理的 NH₄⁺-N 浓度为 1.6 mg/L,其他处理 NH₄⁺-N 浓度在 28.49—41.46 mg/L 范围内,可见灌水施肥后第 2 天,各施肥处理田面水 NH₄⁺-N 浓度变化很大,均显著高于不施肥处理。基肥第 7 天,各处理 NH₄⁺-N 浓度分别降为峰值的 3.3%—11.3%。分蘖肥第 5 天,各处理 NH₄⁺-N 浓度分别降为峰值的 19.9%—27.8%。

2.3 不同施肥处理田面水 NH₄⁺-N 浓度与氨挥发相关性分析

图 4 反映了不同施肥处理稻田氨挥发及其对应小区田面水中的 NH₄⁺-N 浓度的关系。其决定系数分别为 0.7195、0.7302、0.6389、0.7273 和 0.8394,表明各施肥处理的氨挥发量和同期田面水中的 NH₄⁺-N 浓度是呈线性正相关的,即田面水中的 NH₄⁺-N 浓度是影响稻田氨挥发的重要因素。常规施肥田面水中 NH₄⁺-N 浓度相对较高,秸秆还田处理 NH₄⁺-N 浓度相对较低。

2.4 不同施肥处理土壤累积氨挥发流失量比较

图 5 为 2010 年水稻生长季土壤累积氨挥发量,从图 5 可以看出:各种处理之间土壤累积氨挥发量均表现为基肥>分蘖肥>穗肥。基肥累积氨挥发量为常规>优化>减磷 50%>减氮 30%>秸秆还田。分蘖肥期为优化≥常规>减磷 50%>减氮 30%>秸秆还田。优化施肥和减氮 30% 处理比较:基肥期,磷肥和钾肥施用量相同,氮肥施用量不同,优化施肥处理明显比减氮 30% 处理土壤氨挥发量大。

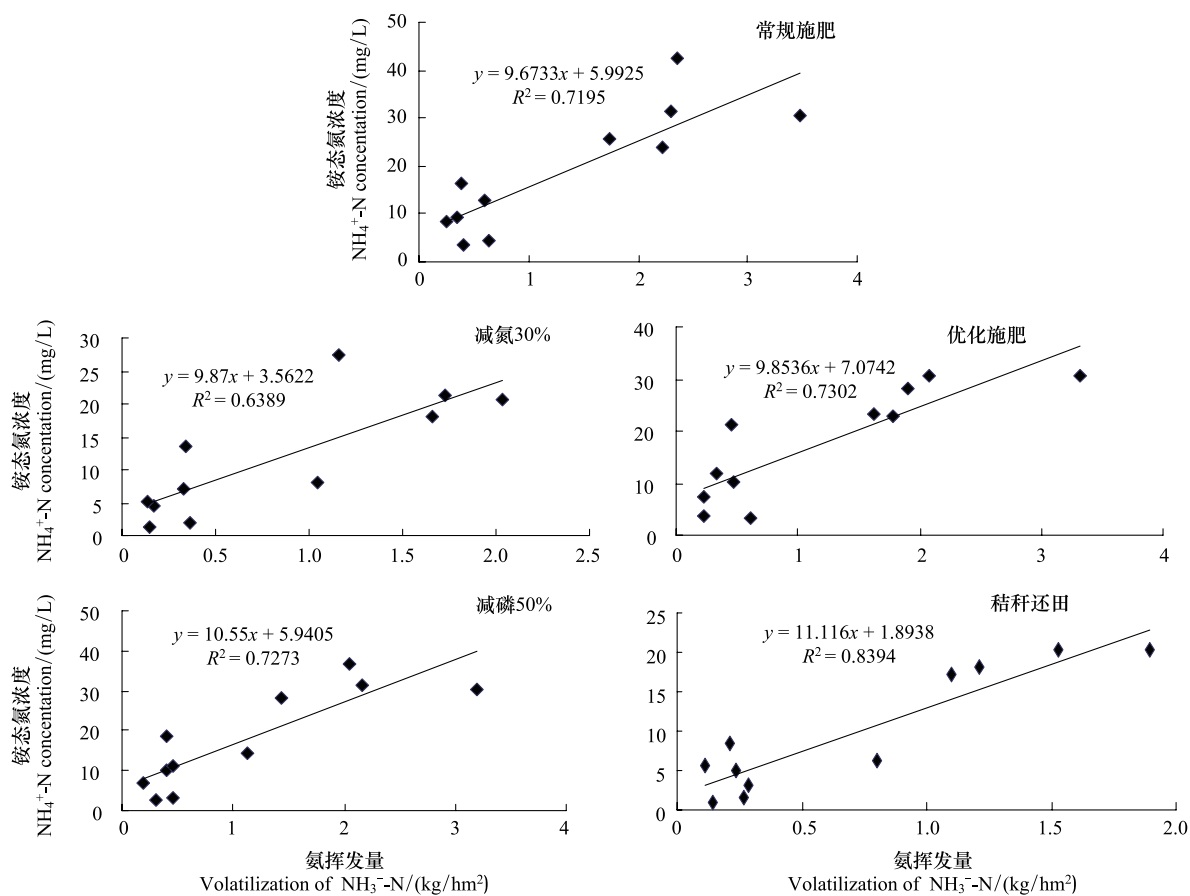
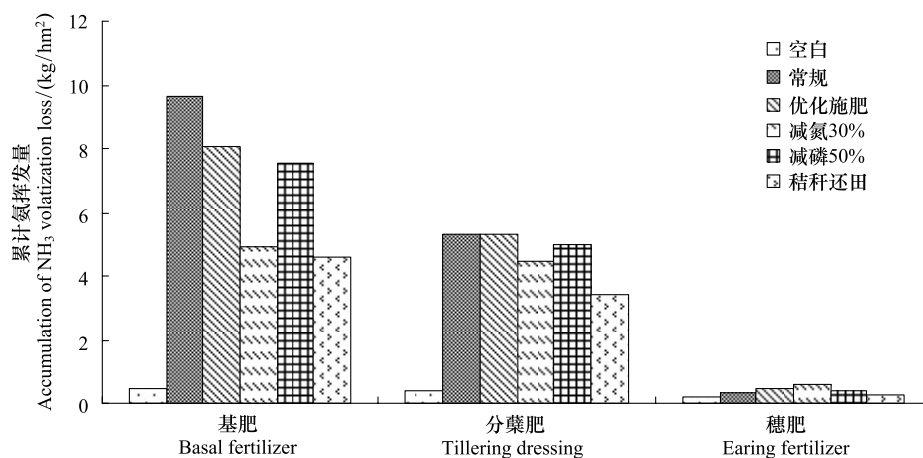
图4 氨挥发量与田面水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度关系Fig. 4 Relationship between NH_3 volatilization and $\text{NH}_4^+\text{-N}$ in the field surface water

图5 水稻生长季田间土壤累积氨挥发量

Fig. 5 Cumulative amount of NH_3 volatilization during the rice growing season

基肥期,除空白处理,其余5个施肥处理的土壤累积氨挥发量在4.60—9.62 kg/hm²之间,约占总氨挥发量的60%;分蘖肥在3.39—5.44 kg/hm²之间,约占总氨挥发量的35%;穗肥期在0.27—0.56 kg/hm²之间,约占总氨挥发量的5%。基肥和分蘖肥是主要的氨挥发时期,约占总氨挥发量的95%。

整个稻季各施肥处理累积氨挥发量见表1。不同施肥处理累积氨挥发量存在着很大差异,常规施肥氨挥

发净损失 14.20 kg/hm²,占施氮肥量的 6.64%,优化施肥净损失 12.77 kg/hm²,占施氮肥量的 5.67%,减氮 30% 施肥净损失 8.89 kg/hm²,占施氮肥量的 5.64%,减磷 50% 施肥净损失 11.89 kg/hm²,占施氮肥量的 5.28%,秸秆还田处理净损失 7.22 kg/hm²,占施氮肥量的 4.59%。与常规施肥相比,优化施肥、减量化施肥及秸秆还田处理均能减少稻田土壤氮挥发损失 1%—2%。

各处理累积氮挥发量经方差分析得出:空白处理与非空白处理间累积氮挥发量达到 1% 极显著水平。常规与优化施肥之间差异不显著,秸秆还田处理与优化施肥之间累积氮挥发量达 1% 极显著水平。不同施肥处理稻季累积氮挥发量具体表现为:常规>优化>减磷 50%>减氮 30%>秸秆还田。

表 1 不同施肥处理稻季累积氮挥发量比较
Table 1 Results of NH₃ volatilization under different treatments

处理 Treatment	空白 Control	常规施肥 Conventional fertilization	优化施肥 Optimization fertilization	减氮 30% Reduction by 30% of nitrogen fertilizer	减磷 50% Reduction by 50% of phosphorus fertilizer	秸秆还田 Straw return
累积氮挥发量/(kg/hm ²) Accumulation of NH ₃ volatilization	1.04eC	15.24aA	13.80abA	9.93cB	12.93bA	8.26dB
净损失量 Net loss/(kg/hm ²)	—	14.20	12.76	8.89	11.89	7.22

A、B、C 和 a、b、c、d、e 分别为 1% 极显著和 5% 显著水平检验标

2.5 经济产量及效益分析

不同施肥处理经济产量见表 2。除空白处理外,平均产量为 8170 kg/hm²,通过新复极差比较得出:空白处理与非空白处理间作物产量差异达到 1% 极显著水平;优化施肥处理与常规施肥处理间作物产量差异不显著,产量表现为:优化>常规>减磷 50%≥减氮 30%>秸秆还田>空白。减氮 30%,减磷 50% 及秸秆还田处理与常规施肥相比,减少了氮肥、磷肥使用量,但并未造成显著减产。

纯收入表现为:常规>优化>秸秆还田>减氮>减磷>空白。优化施肥处理虽然产量最高,但因施肥量较多,肥料投入成本最高。

表 2 不同施肥处理经济产量及效益分析
Table 2 Economic yield and benefit analysis

处理 Treatment	空白 Control	常规施肥 Conventional fertilization	优化施肥 Optimization fertilization	减氮 30% Reduction by 30% of nitrogen fertilizer	减磷 50% Reduction by 50% of phosphorus fertilizer	秸秆还田 Straw return
小区平均产量/kg District average yields	17.37	26.23	26.83	25.63	25.7	25.5
折合产量/(kg/hm ²) Amount to yield	5789cC	8744abAB	8944aA	8544bB	8567bB	8500bB
肥料投入成本/(元/hm ²) Fertilizer input costs	—	1513	2432	2112	2234	1593
纯收入(元/hm ²) Net income	11231	15452	14920	14465	14386	14897

A、B、C 和 a、b、c 分别为 1% 极显著和 5% 显著水平检验标;肥料价格:N 4.78 元/kg,P₂O₅ 5.83 元/kg,K₂O 8.0 元/kg 稻谷价格:1.94 元/kg;纯收入=总收入-肥料投入

3 讨论

氮、磷、钾肥的合理施用促进了水稻的健壮生长和良好发育,为获得较高产量打下了坚实基础,农民不施用钾肥的原因之一是因为钾肥价钱较高。优化施肥因氮磷钾肥施用过高而造成肥料成本最高,秸秆还田处理施肥量较低,且氮挥发量最低,纯收入比单纯减氮、减磷处理高。综合考虑生产、经济与环境三方面的效益,秸秆还田处理最适宜在巢湖流域水稻季推广。

磷肥对稻田土壤氮挥发有一定的影响。刘延慧^[5]等研究发现,施磷对氮挥发的影响主要表现在增强了

土壤脲酶活性,脲酶活性增强,尿素转化为铵的速度加快,土壤中铵态氮含量增加,氨挥发潜力增大。Ouyang^[11]等发现,氮肥配施磷钾肥可以有效抑制氨挥发,其原理是所施过磷酸钙中的游离酸可降低土壤 pH 值,同时钾离子也可以把土壤吸附的 H^+ 交换出来降低土壤 pH 值,从而减少了土壤氨挥发。本研究发现,优化施肥与减磷 50% 处理的氮肥施用量相同,磷肥施用量不同,氨挥发量有差异,另外优化施肥与常规施肥相比,增加了氮肥施用量,减少了磷肥的使用量,优化施肥氨挥发量小于常规施肥氨挥发量,有关如何氮磷配施可使氨挥发量最小,还需进一步研究。

金洁^[12]等研究发现,控制氮素田面流失主要时期为施肥后一周内。 NH_4^+-N 是尿素施入田面后各种形态氮素数量与周转的关键物质,通过氨氮与总氮比值可以反映氮素转化与流失的相对水平。尿素施入稻田后绝大部分迅速水解,在 2—3d 内形成大量铵氮,随之有部分被微生物硝化为硝态氮。水解的 NH_4^+-N 除了逐渐被水稻吸收,同时在硝化细菌作用下逐渐转变成硝氮或以铵氮形态被土壤固定外,并以气态氨形式挥发损失掉,少量随雨水淋失。另外田面水氮素浓度过高,在一定程度上增加了径流流失风险,常规和优化处理田面水中 NH_4^+-N 浓度较高,可见常规施肥和优化施肥存在较大的氮素流失风险。减氮 30% 处理 NH_4^+-N 浓度较低,减少氮肥使用量确实能减少氮素流失风险。施肥后一周是控制氮素径流损失的关键时期。不同施肥处理田面水中的 NH_4^+-N 浓度变化与其对应的氨挥发通量变化趋势基本一致。这与许多研究结果认为田面水中 NH_4^+-N 浓度是决定稻田氨挥发量的最主要因素之一相吻合^[6,13]。说明氨挥发损失与田面水的 NH_4^+-N 浓度密切相关。

巢湖流域整个稻季氨挥发总损失量占氮肥施用量的 5.24%—7.13%。朱兆良^[14]等在太湖地区水稻土上研究发现,稻季氨挥发损失量一般占各施肥期施氮量的 18.6%—38.7%,很多文献报道水稻季氨挥发量在 9%—42%^[3],与本研究结果相比,偏高。整个稻季巢湖持续高温,采样期间仅 8 月 23 及 24 日有两次降水过程,雨量很少,这些情况均利于土壤氨挥发^[15]。分析所测结果偏低的可能原因有 3 个:一是氮肥施用量的影响。试验区域氮肥施用量为中等水平,水稻季总施肥量在 200—250 kg/hm² 范围,其他地区稻季氮肥施用量高达 350 kg/hm²,有研究表明氮肥施用量越高,氨挥发损失越大。二是土壤 pH 值的影响,试验地区土壤 pH 值为 6.9 左右,氨挥发量不大。有研究表明,pH 值 7.2 是氨挥发的转折点。当 pH 值大于此值,氨挥发损失随 pH 值之增高而加大^[16]。三是土壤水分的影响。N 肥施入土壤后,尿素的水解等都需要水的作用,本试验地采用浅湿间歇灌溉,田面保持有水时期大概 12d,且以节水为主,不利氨挥发。与淹水灌溉相比,控制灌溉减少了稻田氨挥发损失^[17]。

4 结论

4.1 整个稻季氨挥发净损失量为 7.22—14.20 kg/hm²,占氮肥施用量的 4.59%—6.64%。基肥阶段是主要的氨挥发时期,约占氨挥发损失氮的 60%,因此,基肥时期是控制稻田氨挥发损失的关键时期。

4.2 巢湖地区稻田常规生产条件下,施肥后 1—3d 内氨挥发量到达高峰,氨挥发持续时间在 1 周左右。氨挥发与田面水的铵态氮浓度呈明显的正相关。从环境污染角度考虑,在每次施肥后 1 周为防止径流和氨挥发的关键时期。

4.3 氮肥施用量及磷肥施用量均会对田间土壤氨挥发产生影响,常规施肥氨挥发损失量最大,与常规施肥相比,减氮 30%、减磷 50% 及优化施肥均能减少土壤氨挥发损失 0.94—4.90 kg/hm²;小麦秸秆还田处理土壤累积氨挥发损失量最小,减少氮素农田施用的环境风险,同时能获得较高的经济效益,适宜在巢湖流域水稻季推广。

References:

- [1] Wang J N. Anhui Statistical Yearbook (2010). Beijing: Chinese Statistical Press, 2010: 332-332.
- [2] Li Q K, Zhu Z L, Yu T R. Fertilizer Questions in Sustainable Development of Agriculture in China. Nanchang: Jiangxi Science Technique Press, 1997.
- [3] Cai Q X, Zhu Z L. Evaluation of gaseous nitrogen losses from fertilizers applied to flooded rice fields in China. Acta Pedologica Sinica, 1995, 32

(Supp 2): 128-135.

- [4] Shen S M. Contribution of nitrogen fertilizer to the development of agriculture and its loss in China. *Acta Pedol Sinica*, 2002, 39(supp): 12-25.
- [5] Liu Y H, Wang J H. Study an the rule and mechanism of ammonia volatilization of combined application of nitrogen and phosphorus. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2008, 36(20): 8701-8703.
- [6] Zhang J, Wang D J. Ammonia volatilization in gleyed paddy field soils of Taihu Lake region. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2007, 15(6): 84-87.
- [7] Wang G L, Ma Y H, Sun X W, Song F L, Zhang L J, Xu H J, Xiao S H. Study of nitrogen and phosphorus runoff in wheat-rice rotation farmland in Chao Lake basin. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010, 24(2): 6-11.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] Lu R K. *Soil and Agriculture Chemistry Analysis Methods*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1999.
- [11] Ouyang D S, Mackenzie A F, Fan M X. Ammonia volatilization from urea amended with triple superphosphate and potassium chloride. *Soil Science Society of America Journal*, 1998, 62(5): 1443-1447.
- [12] Jin J, Yang J P, Shi H X, Chen J, Zheng H F. Variations of nitrogen and phosphorus in surface water body of a paddy field. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(2): 357-361.
- [13] Wang X G, Hao M D, Chen L, Zhang S M. *In situ* study of ammonia volatilization from wheat cropland under long-term continuous fertilization. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2006, 12(1): 18-24.
- [14] Zhu Z L, Fan X H, Sun Y H, Wang D J. Nitrogen cycle and environmental effects of paddy fields in Taihu Lake region. *Crop Research(Special issue of the International Year of Rice)*, 2004, 18(4): 187-191.
- [15] Sing Y S, Fan X H. Summanry of research on ammonia volatilization in paddy soil. *Ecology and Environment*, 2003, 12(2): 240-244.
- [16] Lin E D, Li Y E. *Global Climate Change and Greenhouse Gas List Establishment Method*. Beijing: Meteorological Press, 1998.
- [17] Peng S Z, Yang S H, Xu J Z. Ammonia volatilization and its influence factors of paddy field under water-saving irrigation. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2009, 25(8): 35-39.

参考文献:

- [1] 汪景宁. 安徽统计年鉴(2010). 北京: 中国统计出版社, 2010: 332-332.
- [2] 李庆逵, 朱兆良, 于天仁. 中国农业持续发展中的肥料问题. 南昌: 江西科学技术出版社, 1997.
- [4] 沈善敏. 氮肥在中国农业发展中的贡献和农业中氮的损失. *土壤学报*, 2002, 39(增刊): 12-25.
- [5] 刘延慧, 王继红. 氮磷配施的氨挥发规律及机理研究. *安徽农业科学*, 2008, 36(20): 8701-8703.
- [6] 张静, 王德建. 太湖地区乌栅土稻田氨挥发损失的研究. *中国生态农业学报*, 2007, 15(6): 84-87.
- [7] 王桂苓, 马友华, 孙兴旺, 宋法龙, 张丽娟, 徐宏军, 肖圣辉. 巢湖流域麦稻轮作农田径流氮磷流失研究. *水土保持学报*, 2010, 24(2): 6-11.
- [8] 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.
- [9] 王朝辉, 刘学军, 巨晓棠, 张福锁. 田间土壤氨挥发的原位测定——通气法. *植物营养与肥料学报*, 2002, 8(2): 205-209.
- [10] 鲁如坤. *土壤农业化学分析方法*. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.
- [13] 王旭刚, 郝明德, 陈磊, 张少民. 长期施肥条件下小麦农田氨挥发损失的原位研究. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(1): 18-24.
- [14] 朱兆良, 范晓晖, 孙永红, 王德建. 太湖地区水稻土上稻季氮素循环及其环境效应. *作物研究(国际水稻年专刊)*, 2004, 18(4): 187-191.
- [15] 宋勇生, 范晓晖. 稻田氨挥发研究进展. *生态环境*, 2003, 12(2): 240-244.
- [16] 林而达, 李玉娥. *全球气候变化和温室气体清单编制方法*. 北京: 气象出版社, 1998.
- [17] 彭世彰, 杨士红, 徐俊增. 节水灌溉稻田氨挥发损失及影响因素. *农业工程学报*, 2009, 25(8): 35-39.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 7 April, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Theoretical framework and key techniques of urban ecological landscape research	SUN Ranhao, XU Zhongliang, CHEN Liding, et al (1979)
Response of sinapate esters in <i>Arabidopsis thaliana</i> to UV-B radiation	LI Min, WANG Yin, MU Xiaofei, et al (1987)
Biosorption of lead (II) and cadmium (II) from aqueous solution by <i>Chlorella pyrenoidsa</i> and its influential factors	JIANG Jing, LI Liang, LI Haipeng, et al (1995)
Response of pear jujube trees on fruit development period to different soil water potential levels	HAN Lixin, WANG Youke, ZHANG Linlin (2004)
An approach for analyzing resources metabolism of industrial ecosystems	SHI Xiaoqing, YANG Jianxin, WANG Rusong, et al (2012)
Establishment of environmental sustainability assessment indicators based on material flow and ecological footprint model in Tongling City of Anhui Province	ZHAO Huihui, WANG Yuan, GU Xueming, et al (2025)
Health status evaluation of the farmland supply function at county level in Hebei Province	BAI Linhong, WANG Wei, ZHANG Yu (2033)
Inhibition effects and mechanisms of the endophytic fungus <i>Chaetomium globosum</i> L18 from <i>Curcuma wenyujin</i>	WANG Yanhong, WU Xiaomin, ZHU Yanping, et al (2040)
Water use of walnut-wheat intercropping system based on stable carbon isotope technique in the low hilly area of North China	HE Chunxia, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (2047)
Spatial heterogeneity of soil microbial biomass carbon, nitrogen, and phosphorus in sloping farmland in a karst region on the Yunnan-Guizhou Plateau	ZHANG Liqing, PENG Wanxia, SONG Tongqing, et al (2056)
Relationship among rice root aerenchyma, root radial oxygen loss and rhizosphere nitrification	LI Yilin (2066)
Effects of <i>Eriosoma lanigerum</i> (Hausmann) on physiological indices of different apple cultivars	WANG Xicun, YU Yi, ZHOU Hongxu, et al (2075)
Effects of P-efficient transgenic soybean on rhizosphere microbial community	JIN Lingbo, ZHOU Feng, YAO Juan, et al (2082)
Detecting major phenological stages of rice using MODIS-EVI data and Symlet11 wavelet in Northeast China	XU Yanyan, ZHANG Jiahua, YANG Limin (2091)
Cropping system optimization based on the comparative analysis of precipitation utilization in Sichuan Province	WANG Mingtian, QU Huihui, YANG Xiaoguang, et al (2099)
The impacts of global climatic change on chilling damage distributions of maize in Northeast China	GAO Xiaorong, WANG Chunyi, ZHANG Jiquan (2110)
Effect of fertilization on ammonia volatilization from paddy fields in Chao Lake Basin	ZHU Xiaohong, MA Zhongwen, MA Youhua, et al (2119)
Effects of arbuscular mycorrhizal fungus on net ion fluxes in the roots of trifoliate orange (<i>Poncirus trifoliata</i>) and mineral nutrition in seedlings under zinc contamination	XIAO Jiaxin, YANG Hui, ZHANG Shaoling (2127)
The effect of red:far red ratio on the stomata characters and stomata conductance of <i>Chrysanthemum</i> leaves	YANG Zaiqiang, ZHANG Jing, JIANG Xiaodong, et al (2135)
Dynamic characteristics of litterfall and nutrient return of four typical forests along the altitudinal gradients in Mt. Shennongjia, China	LIU Lei, SHEN Guozhen, CHEN Fangqing, et al (2142)
Aboveground litter contribution to soil respiration in a black locust plantation in the Loess Plateau	ZHOU Xiaogang, GUO Shenli, CHE Shengguo, et al (2150)
Life history and spatial distribution of a <i>Taiwania flousiana</i> population in Leigong Mountain, Guizhou Province, China	CHEN Zhiyang, YANG Ning, YAO Xianming, et al (2158)
The feasibility of using LAS measurements of the turbulence structure parameters of temperature above a forest canopy	ZHENG Ning, ZHANG Jinsong, MENG Ping, et al (2166)
Spatial distribution of vegetation and carbon density in Jinyun Mountain Nature Reserve based on RS/GIS	XU Shaojun, ZENG Bo, SU Xiaolei, et al (2174)
Early nitrogen deposition effects on CO ₂ efflux from a cold-temperate coniferous forest soil	WENDU Runa, FANG Huajun, YU Guirui, et al (2185)
Epilithic diatom assemblages distribution in Gui River basin, in relation to chemical and physiographical factors	DENG Peiyan, LEI Yuanda, LIU Wei, et al (2196)
Acute stress caused by sand discharging on Yellow River Carp (<i>Cyprinus carpio</i>) in Xiaolangdi Reservoir	SUN Luyin, Baiyinbaoligao, NIU Cuijuan, et al (2204)
Environmental cost of pond aquaculture in Shanghai: an empirical analysis based on double-bounded dichotomous CVM method	TANG Keyong, YANG Zhengyong, YANG Huaiyu, et al (2212)
Host searching behaviour of <i>Apanteles cypris</i> Nixon (Hymenoptera: Braconidae) ...	ZHOU Hui, ZHANG Yang, WU Weijian (2223)
The effect of hedgerows on the distribution of <i>Harmonia axyridis</i> Pallas in agroforestry systems	YAN Fei, ZHOU Zaibao, WANG Shuo, et al (2230)
Induction of early resistance response to <i>Alternaria alternata</i> f. sp. <i>mali</i> in apple leaves with apple and chitosan fermentation broth ...	WANG Rongjuan, YAO Yuncong, QI Yaping, et al (2239)
Review and Monograph	
Research into vulnerability assessment for coastal zones in the context of climate change	WANG Ning, ZHANG Liquan, YUAN Lin, et al (2248)
Introduction and ecological effects of an exotic mangrove species <i>Sonneratia apetala</i>	PENG Yougui, XU Zhengchun, LIU Minchao (2259)
Discussion	
Degradation of organic contaminants with biological aerobic fermentation in sewage sludge dewatering and its influencing factors	YU Jie, ZHENG Guodi, GAO Ding, et al (2271)
Remediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) using four greening tree species	YAN Wende, LIANG Xiaocui, ZHENG Wei, et al (2279)
Scientific Note	
Diversity of endophytic fungi from six dominant plant species in a Pb-Zn mine wasteland in China	LI Dongwei, XU Hongmei, MEI Tao, et al (2288)
Effects of <i>Meloidogyne incognita</i> on scavenging system of reactive oxygen species in tomato seedlings grafted with different rootstocks ...	LIANG Peng, CHEN Zhende, LUO Qingxi (2294)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

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 32 卷 第 7 期 (2012 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 7 2012

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:1000717	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