

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第12期 Vol.31 No.12 **2011**

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 31 卷 第 12 期

2011 年 6 月 (半月刊)

目 次

基于植被遥感的西南喀斯特退耕还林工程效果评价——以贵州省毕节地区为例	李 昊, 蔡运龙, 陈睿山, 等 (3255)
扩散对破碎化景观上宿主-寄生种群动态的影响	苏 敏 (3265)
湿地功能评价的尺度效应——以盐城滨海湿地为例	欧维新, 叶丽芳, 孙小祥, 等 (3270)
模拟氮沉降对杉木幼苗养分平衡的影响	樊后保, 廖迎春, 刘文飞, 等 (3277)
中国东部森林样带典型森林水源涵养功能	贺淑霞, 李叙勇, 莫 菲, 等 (3285)
山西太岳山油松群落对采伐干扰的生态响应	郭东罡, 上官铁梁, 白中科, 等 (3296)
长期施用有机无机肥对潮土微生物群落的影响	张焕军, 郁红艳, 丁维新 (3308)
云南元江干热河谷五种优势植物的内生真菌多样性	何彩梅, 魏大巧, 李海燕, 等 (3315)
塔里木河中游洪水漫溢区荒漠河岸林实生苗更新	赵振勇, 张 科, 卢 磊, 等 (3322)
基于 8hm 样地的天山云杉林蒸腾耗水从单株到林分的转换	张毓涛, 梁凤超, 常顺利, 等 (3330)
古尔班通古特沙漠土壤酶活性和微生物量氮对模拟氮沉降的响应	周晓兵, 张元明, 陶 冶, 等 (3340)
Pb 污染对马蔺生长、体内重金属元素积累以及叶绿体超微结构的影响	原海燕, 郭 智, 黄苏珍 (3350)
春、秋季节树干温度和液流速度对东北 3 树种树干表面 CO ₂ 释放通量的影响	王秀伟, 毛子军, 孙 涛, 等 (3358)
云南南部和中部地区公路旁紫茎泽兰土壤种子库分布格局	唐樱殷, 沈有信 (3368)
利用半球图像法提取植被冠层结构特征参数	彭焕华, 赵传燕, 冯兆东, 等 (3376)
黑河上游蝗虫与植被关系的 CCA 分析	赵成章, 周 伟, 王科明, 等 (3384)
额尔古纳河流域秋季浮游植物群落结构特征	庞 科, 姚锦仙, 王 昊, 等 (3391)
九龙江河口浮游植物的时空变动及主要影响因素	王 雨, 林 茂, 陈兴群, 等 (3399)
东苕溪中下游河岸类型对鱼类多样性的影响	黄亮亮, 李建华, 邹丽敏, 等 (3415)
基于 RS/GIS 公路路域水土流失动态变化的研究——以榆靖高速公路为例	陈爱侠, 李 敏, 苏智先, 等 (3424)
流域景观结构的城市化影响与生态风险评价	胡和兵, 刘红玉, 郝敬锋, 等 (3432)
基于景观格局的锦州湾沿海经济开发区生态风险分析	高 宾, 李小玉, 李志刚, 等 (3441)
若尔盖高原土地利用变化对生态系统服务价值的影响	李晋昌, 王文丽, 胡光印, 等 (3451)
施用鸡粪对土壤与小白菜中 Cu 和 Zn 累积的影响	张 妍, 罗 维, 崔晓勇, 等 (3460)
基于 GIS 的宁夏灌区农田污染源结构特征解析	曹艳春, 冯永忠, 杨引禄, 等 (3468)
底墒和种植方式对夏大豆光合特性及产量的影响	刘 岩, 周勋波, 陈雨海, 等 (3478)
不同施肥模式调控沿湖农田无机氮流失的原位研究——以南四湖过水区粮田为例	谭德水, 江丽华, 张 骞, 等 (3488)
丛枝菌根真菌对低温下黄瓜幼苗光合生理和抗氧化酶活性的影响	刘爱荣, 陈双臣, 刘燕英, 等 (3497)
外源半胱氨酸对铜胁迫下小麦幼苗生长、铜积累量及抗氧化系统的影响	彭向永, 宋 敏 (3504)
专论与综述	
水平扫描技术及其在生态学中的应用前景	胡自民, 李晶晶, 李 伟, 等 (3512)
研究简报	
昆仑山北坡 4 种优势灌木的气体交换特征	朱军涛, 李向义, 张希明, 等 (3522)
不同比例尺 DEM 数据对森林生态类型划分精度的影响	唐立娜, 黄聚聪, 代力民 (3531)
苏南丘陵区毛竹林冠截留降雨分布格局	贾永正, 胡海波, 张家洋 (3537)
外来种湿地松凋落物对土壤微生物群落结构和功能的影响	陈法霖, 郑 华, 阳柏苏, 等 (3543)
深圳地铁碳排放量	谢鸿宇, 王习祥, 杨木壮, 等 (3551)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-06



封面图说: 自然奇观红海滩·辽宁省盘锦市——在辽河入海口生长着大片的潮间带植物碱蓬草, 举目望去, 如霞似火, 蔚为壮观, 人们习惯地称之为红海滩。粗壮的根系加快着海滩土壤的脱盐过程, 掉下的茎叶腐质后肥化了土壤, 它是大海的生态屏障。

彩图提供: 段文科先生 中国鸟网 <http://www.birdnet.cn> E-mail: dwk9911@126.com

不同施肥模式调控沿湖农田无机氮流失的原位研究 ——以南四湖过水区粮田为例

谭德水¹, 江丽华¹, 张 骞², 孟 丽³, 郑福丽¹, 高新昊¹, 徐 钰¹, 刘兆辉^{1,*}

(1. 山东省农业科学院农业资源与环境研究所, 济南 250100; 2. 微山县昭阳街道办事处农技站, 山东微山 277600;

3. 微山县国有微山苗圃, 山东微山 277600)

摘要:为探索山东省南四湖沿岸麦玉轮作区玉米季内减少土壤无机氮素淋溶和径流损失的施肥策略,降低其对湖区水质产生的潜在威胁,采用田间原位安装淋溶水采集器和地表水径流池收集水样结合室内分析不同形态氮含量的方法,研究了不同施肥模式下无机氮素淋溶和径流损失特征。结果表明:土壤淋溶水量及地表水径流量与降水呈显著正相关关系,其水量受秸秆类物质还田的影响;硝态氮(NO_3^- -N)与铵态氮(NH_4^+ -N)随地表水径流损失的浓度及总量均明显高于淋溶水,由径流方式损失的氮素占2/3以上,是氮素以水溶液形式流失的主要途径;淋溶和径流均以 NO_3^- -N损失为主(径流损失中 NO_3^- -N占总量的82.9%—90.8%,淋溶损失中 NO_3^- -N占63.5%—72.9%),地表径流水 NO_3^- -N浓度对水质有较大影响,但土壤淋溶水 NO_3^- -N浓度对地下水污染不构成威胁;农民习惯施肥处理在玉米整个生育期淋溶和径流氮损失最高。在保证玉米产量前提下,降低氮素流失造成湖区的污染,平衡施用氮磷钾肥、施用控释氮肥、有机替代无机和秸秆还田等措施均可在沿南四湖区农田使用。

关键词:施肥模式;南四湖农田;无机氮素;流失

In situ study on influences of different fertilization patterns on inorganic nitrogen losses through leaching and runoff: a case of field in Nansi Lake Basin

TAN Deshui¹, JIANG Lihua¹, ZHANG Qian², MENG Li³, ZHENG Fuli¹, GAO Xinhao¹, XU Yu¹, LIU Zhaozhui^{1,*}

1 Institute of Agricultural Resources and Environment, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China

2 Agricultural Technology Popularizing Center in Zhaoyang Town, Weishan 277600, China

3 State Plant Nursery of Weishan, Weishan 277600, China

Abstract: Nansi Lake is the largest lake in Shandong province and the northern area of China, which is an important buffer lake of the South-to-North Water Diversion Project (east route). Eutrophication has become the central problem of water environment in Nansi Lake where the eutrophic state is from mesotrophic state to hypereutrophic state. A field study was conducted to investigate the characteristics of inorganic N loss by leaching and runoff during the maize growing season in the Nansi Lake Basin, and determine fertilizer application strategies to reduce N losses and their potential threats to lake water quality. Under different fertilization patterns (In this experiment, 7 different fertilization treatments were installed, such as follows: (1) CK: no fertilizer was applied to soil; (2) FP: farmer's practice of traditional fertilization; (3) PK: in this treatment, only phosphate and potash fertilizer applied to soil; (4) OPT: nitrogen, phosphate and potash fertilizers were mixed to a balanced nutrition; (5) CRF: in the treatment, controlled-release nitrogen fertilizer replaced common nitrogen fertilizer, and other nutrition was invariable; (6) 80% OPT+M: total amount of nutrition applied to soil was equal to the 4th treatment, but 20% of total inorganic nutrition was replaced by that existed in the organic matter-poultry excrement; (7) OPT+St: a balanced N, P and K nutrition was applied to soil, and total amount was equal to the 4th treatment,

基金项目:国家科技支撑计划项目(2007BAD87B05);公益性行业(农业)科研专项(201103003);现代小麦产业技术体系专项(CARS-03);山东省科技支撑体系建设专项资助(2007GGC02002)

收稿日期:2010-06-20; 修订日期:2010-09-13

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liuzhaohui@saas.ac.cn

meanwhile, wheat straw was returned to cover the soil surface), Collectors for leaching and surface runoff water were installed in-situ in each treatment. Water samples were collected for analysis of different forms of inorganic nitrogen in laboratory. The results indicated a positive correlation between quantity of leachate water, surface runoff water and precipitation. The amount of water was affected by substances such as wheat straw; The Concentration and total amount of NO_3^- -N and NH_4^+ -N losses from runoff were significantly higher than their losses through leaching, and accounts for 2/3 or more of N losses, which was the primary means of N losses in the form of aqueous solutions. N losses through leaching and runoff were mainly NO_3^- -N form (NO_3^- -N runoff loss accounted for 82.9%—90.8% of total, and leachate water loss accounted for 63.5%—72.9% of total N. Concentration of NO_3^- -N in runoff water greatly affected water quality, but it did not constitute a threat to groundwater pollution through leaching; N losses through leaching and runoff were highest in treatment FP (Farmers practice) for the whole maize growing season. To maintain maize grain yield while reducing N pollution of the lake, a balanced application of NPK fertilizer is required, combined with the application of controlled-release nitrogen fertilizer, organic alternative to inorganic and the use of straw incorporated into the soil. Appropriate practices will need to be introduced to the farmland in the Nansi Lake basin.

Key Words: fertilization patterns; fields of Nansi Lake Basin; inorganic nitrogen; loss

南四湖是我国山东地区最大的淡水湖,是南水北调过水区和输水通道。南四湖属富营养湖类型,其富营养化主要是氮、磷、悬浮物和其他有机物大量入湖引发的污染^[1]。该湖流域以农业为主,农业生产上化肥的不合理投入造成的农田污染是南四湖区面源污染的主要原因^[2-5]。由于该地区降水丰富,降雨回归水及少雨季节时的农业灌溉水产生的化学养分径流和淋溶损失给南四湖水带来了较大的影响,有监测数据表明在南四湖流域的支流河水环境中,化学耗氧量超标达 92.3%,生物需氧量超标率为 83.3%,湖面长期监测点中 20% 的点位总磷超标,来自农田径流的总氮、总磷比重逐年升高,各种入湖途径中,农田流失的总氮比例接近 40%,而总磷也达到 7.6% 以上,对水资源安全构成重要隐患^[1,6],这其中农用化学肥料过量和不合理施用是导致农业面源污染的主要原因^[7-8],控制与降低化肥用量和发展农用化学替代品是解决面源污染的重要途径。

针对上述情况,前人对相近特征的内陆湖流域进行过各方面的研究^[9-11],但多数研究还停留在单纯的调查和机理研究层面上^[12-13],就技术而论,缺乏适合我国国情(人多地少、土地经营分散化等)和特定湖区流域内可以推广应用的农业面源污染控制技术。加强沿湖农业面源污染防控及综合治理是维护南四湖流域农业生产安全及可持续发展的必然要求。为此,本研究在沿南四湖区的主要种植制度(小麦/玉米一年两作)上进行减肥及化学养分替代等不同的施肥模式进行污染防控,通过研究氮素的径流、淋溶损失特征进行总体评价,在基本保证南四湖区作物(玉米)增产、增加农民受益的前提下,探索减少农田氮素径流和淋溶损失的技术措施,以此降低地下水和湖水污染,为南水北调水源质量提供相应的技术保障。

1 材料与方法

1.1 基本概况

试验地位于山东省济宁市微山县昭阳办事处,处于薛河西(该河水直接流入南四湖),经纬度为:N 34°46' 58", E 117°08' 56",海拔 36m。该地区年常年平均降水量为 772mm,试验地周围地下水位常年在 1.5—3m。耕作模式:小麦—玉米轮作。试验作物为玉米,6 月 12 日播种,10 月 12 日收获,种植品种:中玉 9 号,等行距播种,行距 60cm,株距 25cm,密度为 4444 株/667m²,玉米为小麦收获后人工挖穴点种。供试土壤为潮土,为粘壤土。0—20cm 耕层土壤基础理化性状:pH 值 8.3,有机质含量为 1.53%,有效磷含量 9.3mg/kg,有效钾含量 140.8mg/kg,硝态氮含量为 2.06mg/kg,铵态氮含量为 1.69mg/kg。

1.2 处理设置

CK(空白处理:不施用任何肥料);FP(23-0-0,指每 667m² N、P₂O₅、K₂O 纯养分含量)(即农民习惯施肥处

理: 试验地周围 15 个农户调查的平均数据, 每 667m²施用尿素 50kg, 底施和追施各半, 不施用磷钾肥); PK(0-4.4-6.6) (只施用磷钾肥处理: 不施用氮肥, 每 667m²施用重钙 10kg, 氯化钾 11kg, 全部底施); OPT(12-4.4-6.6) (优化施肥处理: 每 667m²施用尿素 26kg, 底施和追施各半, 重钙 10kg, 氯化钾 11kg, 磷钾肥全部底施); CRF(9.6-4.4-6.6) (控释肥处理: 每 667m²施用控释尿素 22.86kg, 重钙 10kg, 氯化钾 11kg, 氮磷钾肥全部底施); 80% OPT+M(9.6-3.52-5.28-80 kg 干鸭粪/667m²) (优化施肥 80% 肥料用量加 80kg 干鸭粪处理: 总养分投入量等同于优化施肥处理, 即每 667m²施用尿素 20.8kg, 底施和追施各半, 重钙 10 kg, 氯化钾 11kg, 磷钾肥与干鸭粪全部底施); OPT+St(12-4.4-6.6-400 kg 小麦干秸秆/667m²) (每 667m²施用尿素 26kg, 底施和追施各半, 重钙 10kg, 氯化钾 11kg, 磷钾肥和小麦秸秆全部底施)。干鸭粪含 N 1.76%, P₂O₅ 2.50%, K₂O 1.50%, 有机质含量为 16.5%, 小麦秸秆含 N 0.34%, P 0.05%, K 1.68%。

玉米基肥为开沟施入各种肥料及鸭粪, 秸秆还田处理为麦秸粉碎后覆盖, 各处理氮肥的追施均在玉米大喇叭口期开沟进行施用。各小区随机区组排列, 每处理重复 3 次, 小区面积 45 m²。各小区之间及周边垂直地面放置 60cm 塑料薄膜并进行水泥砖加固隔离, 防止互相串水串肥。玉米生育期内不进行人工灌溉, 各处理其他管理措施均等同于大田生产。

1.3 小区淋溶及径流安装装置

各处理小区淋溶装置如图 1 所示, 在不破坏土体垂直结构的前提下原位安装, 从淋溶盘一侧进行土壤的剖面挖掘安置接液瓶、抽液管, 侧掏土放置淋溶盘, 利用抽气泵抽气产生负压提取淋溶水。各处理小区径流装置如图 2 所示, 种植小区不被破坏, 均在小区一侧挖掘并构建宽 1m 深 1m 的径流池, 贴小区一侧地面有直径为 5cm 连接径流池内部的 PVC 管, 用于排小区内地表径流产生的水(各处理小区淋溶水和径流水氮受降水带来氮的影响因小区及淋溶盘面积相同认定等同)。

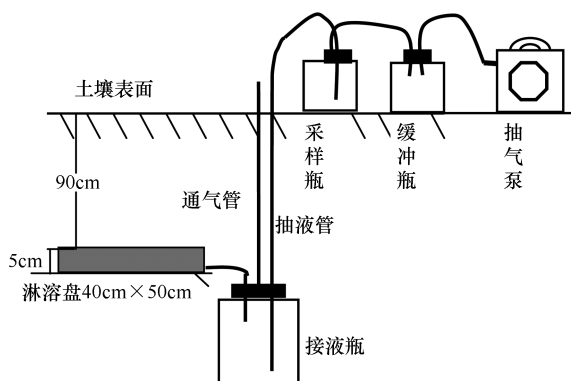


图 1 土壤淋溶水收集装置

Fig. 1 Installation of collecting eluvaiated solution from soil

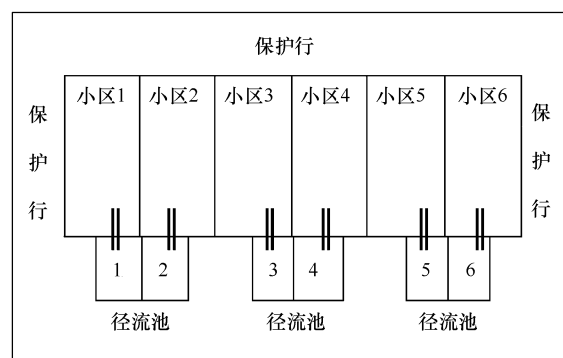


图 2 小区径流水收集装置

Fig. 2 Installation of collecting runoff water in plot

1.4 水样收集与指标测定

作物各生育期阶段内降水通过安装在试验田附近(距离 50m)的 SDM6A 型雨量器收集观测, 玉米生长典型生育时期(拔节期、喇叭口期、开花期、乳熟期和完熟期)将淋溶水和径流水收集, 收集前将水样尽量混匀, 并将淋溶水接液瓶中的水和径流池中的水排空。收集到的水样立即送实验室低温保存或即时测定。淋溶及径流量为容积法测量; 硝态氮(NO₃⁻-N)和铵态氮(NH₄⁺-N)用全自动流动分析仪法测定。

1.5 数据统计与分析

以地表径流(或地下淋溶)途径流失的养分数量等于整个监测周期中(一个完整的作物生长季节)各次径流水(或收集到的淋溶水)中养分浓度与收集水体积乘积之和。计算公式如下:

$$P = \sum_{i=1}^n C_i \times V_i$$

式中, P 为养分流失量; C 为第 i 次径流(或淋溶)水中某种养分的浓度; V 为第 i 次径流(或淋溶)水的体积。

作物生育期内淋溶水量和径流量、不同形态氮的浓度及流失量等试验数据输入 EXCEL 进行基本的平均数及标准偏差计算,利用 DPS 7.05 软件通过多重比较法(LSD $P<0.05$)进行显著性差异分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理下无机氮素淋溶特征

2.1.1 各生育期降水量及不同施肥处理的土壤淋溶水量

由表 1 得知,各处理土壤水淋溶量随降水量的增加而增加,各处理土壤水的淋溶量(Y)与玉米各生育时期阶段降水量(X)存在着显著的正相关关系($Y=0.026X+2.135, R^2=0.780^{**}, n=35$),即从土壤孔隙间淋溶到土壤深层的水溶液与降水量关系密切。玉米从播种到拔节期、拔节到大喇叭口期降水量在不同生育阶段内较高,生育后期内降水量相对较少,其中喇叭口期到开花期降水量最少。处理之间相比,OPT+St 与 80% OPT+M 处理收集到的淋溶水总量最大,CRF、PK 和 CK 处理淋溶水量较少,其中 CK 处理整个玉米生育期内收集到的淋溶水量最少,有 16.4 L/盒,不同处理间在各生育期阶段内收集淋溶水量特点基本相似。

表 1 各生育时期降水量及不同施肥处理淋溶水量/(L/盒)

Table 1 The quantity of eluviated solution and rainfall in each period

玉米生育期 Maize's growth stage	播种-拔节 Sowing-joining	拔节-喇叭口 Joining-trumpet	喇叭口-开花 Trumpet-flowering	开花-乳熟 Flowering-milky	乳熟-完熟 Milky-maturity	总量 Total
阶段内降雨量/mm Rainfall in stage	99.1	116.2	25.0	60.6	52.7	353.6
CK	4.3±0.2	4.3±0.3	2.3±0.2	3.1±0.4	2.4±0.1	16.4 d
FP	5.2±0.4	4.9±0.2	2.8±0.2	3.5±0.2	3.7±0.2	20.1 bc
PK	4.8±0.1	5.0±0.3	2.7±0.1	3.7±0.3	2.9±0.2	19.1 c
OPT	5.1±0.2	5.2±0.1	2.9±0.3	3.8±0.1	3.9±0.3	20.9 b
CRF	4.7±0.3	4.8±0.3	2.7±0.1	3.5±0.3	3.5±0.1	19.2 c
80% OPT+M	5.5±0.4	5.2±0.4	2.9±0.2	4.1±0.2	4.2±0.3	21.9 ab
OPT+St	5.7±0.3	5.7±0.2	3.0±0.1	4.3±0.2	4.3±0.2	23.0 a

同一列不同小写字母表示 0.05 水平上差异显著(LSD 法)

2.1.2 不同施肥处理对土壤淋溶水无机氮浓度的影响

由图 3 可以看出,土壤淋溶水硝态氮浓度随玉米生育期变化呈现中期降低后期稍有升高的现象,在拔节期(基肥施用 20—25d)及喇叭口期(追肥后)的硝态氮浓度较高,玉米开花期到乳熟期阶段时间相对较短,没有施肥措施,硝态氮浓度降低,乳熟到成熟期经过一相对较长的时间淋溶累积,硝态氮浓度又有一上升的趋势。处理间淋溶水浓度比较,基本与氮素的投入量相吻合,即 FP 处理硝态氮浓度最高,无氮投入(CK 和 PK)

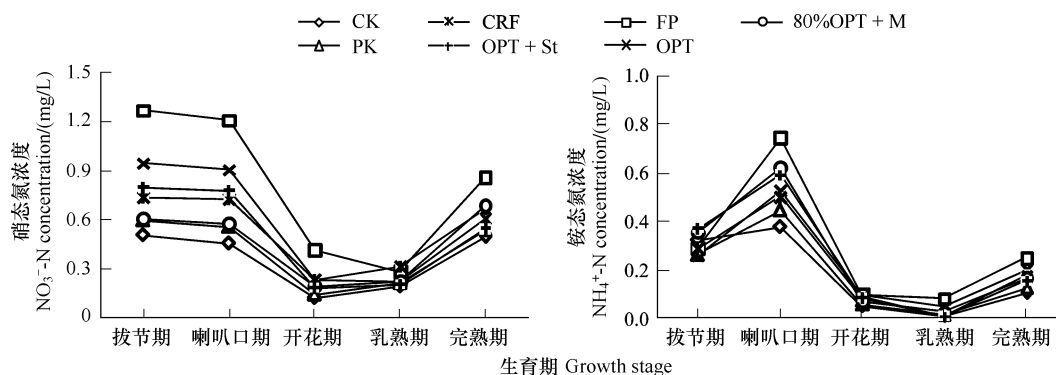


图 3 各时期不同施肥处理土壤淋溶水硝态氮和铵态氮浓度

Fig. 3 Concentration of NO_3^- -N and NH_4^+ -N of soil eluviated solution in different treatment in each stage

处理在各生育期浓度均最低,生育后期各处理差异不明显,但至完熟期农民常规施肥处理(FP)的淋溶水硝态氮处于较高的浓度水平。

淋溶水铵态氮浓度随生育期呈现先升高后降低的特征,基本趋势与硝态氮类似。由于在喇叭口期的氮素追施,铵态氮处于一较高的浓度水平,其中 FP 处理浓度最高,但大部分处理铵态氮浓度在生育后期差异不明显。

2.1.3 不同施肥处理下无机氮素淋溶损失量

在玉米整个生育期内随水淋溶到 90cm 深度土层的硝态氮和铵态氮总量见图 4 和图 5。其中 FP 处理的硝态氮淋溶损失量显著高于其余施肥处理,接近 0.9 kg/hm^2 ,CRF 和 80% OPT+M 处理的硝态氮淋溶量显著低于 OPT 和 OPT+St 处理;铵态氮淋溶量亦是 FP 处理最高,OPT+St 与 80% OPT+M 处理铵态氮的淋溶损失量处于一个较高的水平^[14],与 FP 处理差异不显著,在有氮投入处理中 CRF 铵态氮损失量显著低于其它处理,无氮投入处理(CK 和 PK)的硝态氮和铵态氮损失量均表现最低。

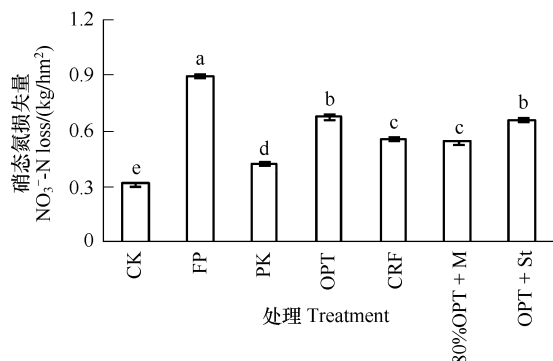


图 4 玉米季各处理硝态氮淋溶损失量

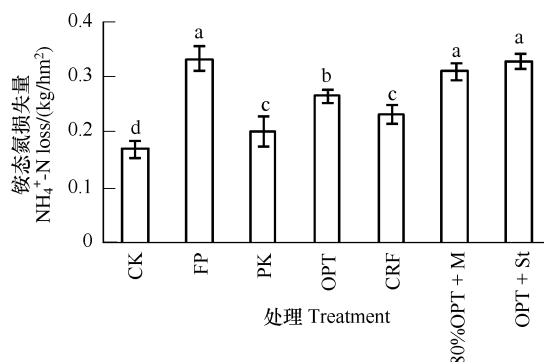


图 5 玉米季各处理铵态氮淋溶损失量

Fig. 4 The quantity of NO₃-N of eluviated solution in different treatment

Fig. 5 The quantity of NH₄⁺-N of eluviated solution in different treatment

2.2 不同施肥处理下无机氮素径流特征

2.2.1 各生育期不同施肥处理的径流量

由表 2 看出,各处理小区的径流量(Y)与玉米各生育阶段内降水量(X)(各生育期阶段内降水见表 1)亦存在着显著的正相关关系($Y=6.337X-68.46, R^2=0.671^{**}, n=35$),随降水量的增加径流量相应增加,但其相关程度低于淋溶水与降水。5 个生育阶段内从播种至拔节、拔节至喇叭口期径流量较高,玉米生育后期几个阶段内收集径流量相对较少,与相应时期内降水特点以及后期作物需水量越来越大有密切关系。从 45m²的试验小区收集径流量分析,由于没有产生开沟施肥等改变土壤表面的农事操作效应^[15],土壤相对紧实,因此 CK 处理收集水总量最大,与其它处理差异均达显著水平,80% OPT+M 与 OPT+St 处理径流量总最少,显著低于其它处理。从表中也可看出,各处理小区在不同生育阶段内的径流量差异亦比较明显。

表 2 玉米各生育时期不同施肥处理小区径流量/(L/45m²)

Table 2 The quantity of runoff water in different treatment in each period

玉米生育期 Maize's growth stage	播种-拔节 Sowing-joining	拔节-喇叭口 Joining-trumpet	喇叭口-开花 Trumpet-flowering	开花-乳熟 Flowering-milky	乳熟-完熟 Milky-maturity	总量 Total
CK	839±38	550±19	202±12	251±13	139±7	1981a
FP	808±26	532±21	184±17	242±14	135±6	1901b
PK	812±20	555±17	189±9	240±10	143±10	1939ab
OPT	798±22	536±22	193±13	243±15	138±9	1908b
CRF	817±23	552±14	179±7	247±12	141±8	1936ab
80% OPT+M	775±19	539±19	164±10	239±11	130±6	1847c
OPT+St	752±28	522±20	152±6	231±14	122±8	1779d

2.2.2 施肥处理对径流水无机氮浓度的影响

从图 6 看出,各处理小区径流水溶液硝态氮浓度随玉米生育进程呈现一个单峰曲线的变化,而铵态氮浓度整体则呈现降低—升高—降低的曲线变化,7 个不同处理趋势基本一致。径流水中硝态氮浓度远远高于铵态氮。径流水硝态氮浓度以开花期含量最高,这与前期降水较多、径流量较大而开花期降水较少有密切关系,铵态氮浓度与硝态氮相似,不同之处在于拔节期时除 CK 和 PK 处理外,其余 5 个有氮投入处理铵态氮均表现出相对较高的浓度水平,生育期后期趋于平缓,变化幅度较小。

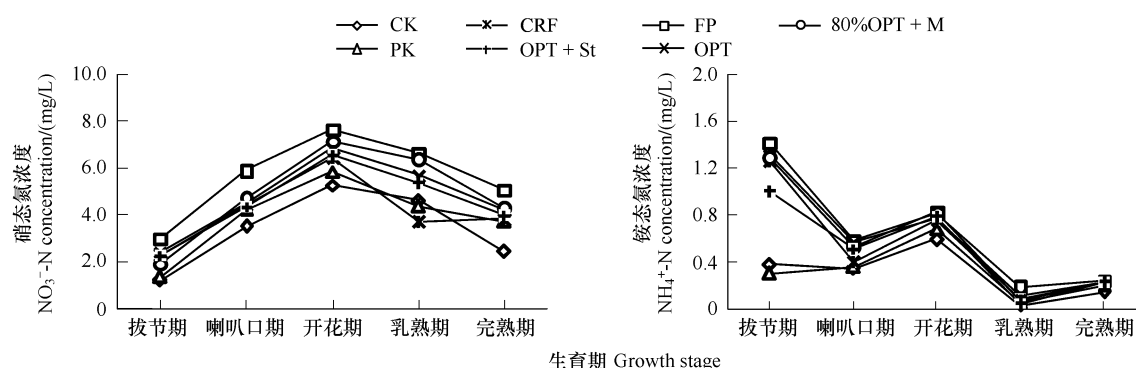


图 6 各时期不同施肥处理径流水硝态氮和铵态氮浓度

Fig. 6 Concentration of NO_3^- -N and NH_4^+ -N of runoff water in different treatment in each period

在玉米各生育期间,FP 处理径流水硝态氮浓度在各个时期均表现较高,这源于较高的氮素投入,CK 和 PK 较低,其余 4 个处理相差不明显,而不同生育期的铵态氮浓度在各处理间均无显著差异(除 CK 和 PK 处理)。

2.2.3 不同施肥处理下无机氮素径流损失量

在玉米一个生长周期后,随地表径流途径流失的硝态氮和铵态氮总量在不同处理间表现出较一致的趋势(图 7 和图 8)。FP 处理的径流氮素(包括硝态氮和铵态氮)流失量在 7 个处理中最高,其损失量与其它处理达显著差异(其中硝态氮径流损失达 $2.07\text{kg}/\text{hm}^2$,铵态氮径流损失达 $0.38\text{kg}/\text{hm}^2$),CK 和 PK 处理的氮损失量最低。OPT 和 80% OPT+M 处理的硝态氮径流损失量和铵态氮径流损失量均高于 CRF 和 OPT+St 处理。

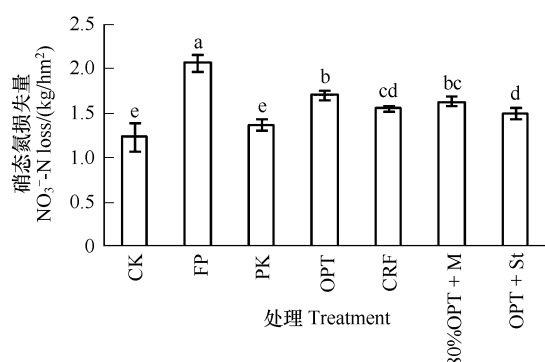


图 7 玉米季各处理径流水硝态氮损失量

Fig. 7 The quantity of NO_3^- -N of runoff water in different treatment

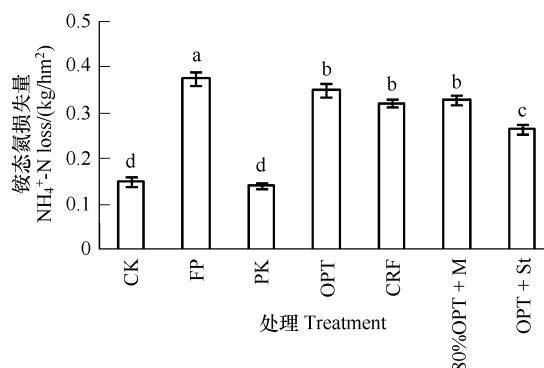


图 8 玉米季各处理径流水铵态氮损失量

Fig. 8 The quantity of NH_4^+ -N of runoff water in different treatment

2.3 各施肥处理氮素淋溶及径流损失分布

由图 9 看出,各施肥处理通过土壤水淋溶以及以地表水径流途径损失的无机态氮(硝态氮和铵态氮)在

2.0—4.0 kg/hm²之间,以 FP 处理氮损失最高,可达到 3.67 kg/hm²。OPT、CRF、80% OPT+M、OPT+St 处理无机氮损失量较 FP 处理分别少 0.67、1.00、0.86 和 0.92 kg/hm²;从氮随水溶液损失分布分析(这其中包括降水中的氮、土壤氮以及肥料氮),各处理均以径流途径损失的氮为主,以径流形式损失的氮素占总损失量的 65%—75%;总体分析淋溶和径流两种损失途径,水溶性氮均以硝态氮的形式为主,在淋溶水中,硝态氮占无机氮总损失量的 63.5%—72.9%,在径流水中,硝态氮占无机氮总量的 82.9%—90.8%,除 CK 和 PK 外,其余处理硝态氮所占的比例相差不大。

3 讨论

在南水北调过水区——南四湖流域小麦/玉米轮作区,农民习惯在玉米作物上大量投入氮肥以保证其产量,这种方式极不利于保持土壤养分平衡以及大大提高了地下水和地表水的硝酸盐污染,使南四湖沿岸成为生态脆弱区域^[6]。

影响农田氮淋溶和径流的因素有多方面:如降水特征(包括降水量和强度)、土壤特性、农田氮素投入量和氮肥形态、土地利用方式/土壤表面覆盖程度、农事操作管理的方式方法等^[16]。水是氮流失的载体,本试验在玉米生长期各处理间产生较大的淋溶水和径流水收集量差异,其中 80% OPT+M 和 OPT+St 处理淋溶水收集量较大而径流量相对较小,这是由于秸秆还田、施用有机肥等物料与土壤混合后有较大孔隙,土壤质地疏松,一定程度上阻止降水在地表横向流动,增加土壤水向下的淋溶效果^[17];而后期农事操作(施氮处理后需追肥开沟)措施降低了表层土壤容重,增加了土壤总孔隙度,致使土壤水沿土壤孔隙而下渗^[15,18],同时产生粗糙土壤表面,这也是淋溶水和径流量差生差异的主要原因所在。

不同处理硝态氮和铵态氮淋溶损失量与氮素投入量关系较大,普通尿素氮在足量的淋洗条件下十分容易损失掉,而大颗粒包膜尿素氮通过包膜需要一个过程,这是 CRF 处理硝态氮和铵态氮淋溶损失量均显著低于其它有氮投入处理的原因所在^[19]。氮磷钾平衡施肥有利于促进对玉米对各种养分的吸收,提高氮素利用,从而使淋溶减少,而鸭粪、小麦秸秆等有机物料处理中氮投入绝对量的减少也是这几种模式下不同形态氮淋溶损失量低于农民习惯处理的主要原因。径流水所带走的氮素多为存留在土壤表面的氮,氧化态氮含量较高,因此径流水硝态氮浓度远远高于铵态氮,肥料或土壤(也包括降水)中无机氮素的径流损失多以硝态的形成流走。FP 处理的硝态氮径流损失量均显著高于其它处理,这其中有氮肥投入量的原因,亦有土地利用方式及氮素投入形态的因素影响^[16],这其中 OPT 和 80% OPT+M 处理的硝态氮和铵态氮径流损失量均高于 CRF 和 OPT+St 处理,这是由于 CRF 处理中较大的包膜尿素颗粒在土壤的覆盖下亦并不容易随水冲走和快速溶解,OPT+St 处理则是由于秸秆覆盖的阻碍作用从而减少地表水径流量的缘故。

本试验条件下,各施肥处理通过淋溶以及地表水径流途径损失的无机态氮量在 2.0—4.0 kg/hm²之间,以 FP 处理氮损失最大,其损失量与我国大部分沿湖地区农田相比较小^[20-21],但其氮浓度仍然值得关注。试验环境与特殊降雨特征有利于反硝化反应^[22],这可能是本试验硝态氮含量低于其它农田的主要影响因素,原因需进一步探讨。OPT、CRF、80% OPT+M、OPT+St 处理氮损失较 FP 处理分别少 0.67、1.00、0.86 和 0.92 kg/hm²,为沿湖农田区可以选择的几种施肥策略;以水溶液为载体损失的氮分布分析(包括降水中的氮、土壤氮以及肥料氮),各处理均以径流损失氮为主(径流形式损失的氮素占 65%—75%),这源于南四湖岸区降雨较密较急、地下水位相对高等因素的影响^[23-24];硝态氮在淋溶和径流两种损失途径中占绝对比例,其中淋溶水硝态氮占无机氮总损失的比例相比其它农田小(63.5%—72.9%)^[20],这是由于土壤含水量较高,有氧环境缺乏导

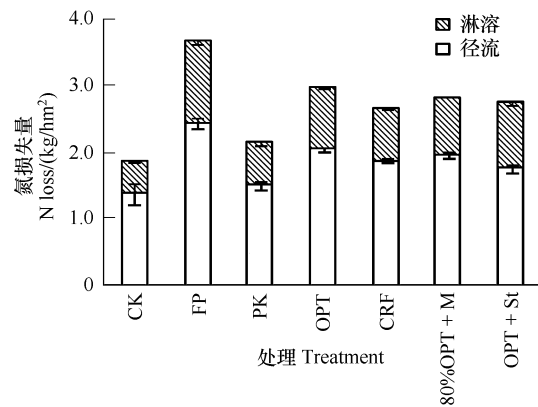


图9 玉米季各处理水溶液氮损失分配及硝态氮比例

Fig. 9 The distribution of N loss in solution of different treatment in maize season

致氮素由铵态转化为硝态过程较缓慢的缘故^[25],这种状况是否影响玉米根系对氮素的吸收效率,这有待于进一步试验研究。综合以上分析,减少地表径流水和土壤侵蚀,降低地表土速效氮含量是南四湖为例的我国内陆湖沿湖农田区减少氮流失的关键,其中通过增加入渗的耕作措施减少地表水径流量和进行土壤基质修复是有效的技术途径^[26]。

4 结论

(1)不同施肥模式下土壤水淋溶量和地表水径流量与降水呈显著正相关关系,但秸秆还田与有机肥(尤其是较松散的有机物)等物料投入可改变淋溶水和地表径流量。

(2)沿湖特殊的水位条件下,土壤容易达到水饱和使地表径流量占有较大比例,径流水硝态氮及铵态氮浓度均较高,造成了氮素损失以径流途径为主(占2/3以上),是南四湖支流河水氮浓度较高的主要原因。

(3)试验条件下通过淋溶或径流损失的氮形态以硝态氮为主,某生育阶段通过地表径流的硝态氮含量接近10mg/L,对地下水水质有潜在威胁。通过淋溶到土壤深层的硝态氮浓度较低,对地下水威胁相对较小。因此该农区需采用深施、覆土后压实的生产措施,防止氮素随地表径流及硝化后再进行发生反硝化作用造成的损失。

(4)农民习惯施肥模式虽能保证玉米产量,但从降低湖区氮素流失造成污染、提高水质量安全角度考虑,氮磷钾平衡施用、控释氮肥以减少氮素投入、有机替代部分无机和秸秆还田等措施均可在沿湖区利用,其中控释肥的应用效果较好。

References:

- [1] Hoorman J, Hone T, Sudman T, Dirksen T, Iles J, Islam K R. Agricultural impacts on lake and stream water quality in grand lake St. Marys, western Ohio. *Water, Air, and Soil Pollution*, 2008, 193(1/4): 309-322.
- [2] Liu G D, Wu W L, Zhang J. Regional differentiation of non-point source pollution of agriculture-derived nitrate nitrogen in groundwater in northern China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2005, 107(2/3): 211-220.
- [3] Wo F, Chen X M, Wu H S, Fang K, Gan Z F, Yu L. Pollution situation of nitrogen and phosphorus in rural water environment in typical region of Tai lake. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(3): 819-825.
- [4] Zhang S L, Zhuang J P. Current situation and development tendency of researches of non-point source pollution in agriculture. *Chinese Journal of Ecology*, 1998, (6): 51-55.
- [5] Zhang W L, Tian Z X, Zhang N, Li X Q. Nitrate pollution of groundwater in northern China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1996, 59(3): 223-231.
- [6] Li H, Yao L P. Status and control measures of agricultural pollution on eastern road of south to north water diversion in Jining area. *Shandong Water Resources*, 2007, (10): 35-37.
- [7] Guo H P, Zhu J Y, Yang Y S. Research status and development of technologies for controlling agricultural non-point source pollution. *Transactions of the Chinese Society of the Agricultural Engineering*, 2008, 24(4): 290-295.
- [8] Guo H Y, Wang X R, Zhu J G. Quantification and index of non-point source pollution in Taihu Lake region with GIS. *Environmental Geochemistry and Health*, 2004, 26(2): 147-156.
- [9] Cai L B. Preliminary study on the cause and the preventing and curing of the water body eutrophication of the Taihu Basin. *Environmental Monitoring in China*, 2003, 19(3): 52-55.
- [10] Ekholm P, Turtola E, Grönroos J, Seuri P, Ylivainio K. Phosphorus loss from different farming systems estimated from soil surface phosphorus balance. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2005, 110(3/4): 266-278.
- [11] Guo J P, Wu F C, Xiong J A. On the water pollution and the preventing and controlling measures of Dongting Lake. *Journal of Hunan University of Arts and Science: Social Science Edition*, 2007, 32(1): 91-94.
- [12] Hu K L, Li B G, Chen D L, Zhang Y P, Edis R. Simulation of nitrate leaching under irrigated maize on sandy soil in desert oasis in inner Mongolia, China. *Agricultural Water Management*, 2008, 95(10): 1180-1185.
- [13] Tuo Y M. Eutrophication of Dianchi and its trend and treatment. *Yunnan Environmental Science*, 2002, 21(1): 35-38.
- [14] Li Z X, Dong S T, Wang K J, Zhang J W, Liu P, Wang Q C, 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.

- [15] Bergström L, Johansson R. Leaching of nitrate from monolith lysimeters of different types of agricultural soils. *Journal of Environmental Quality*, 1991, 20: 801-807.
- [16] Cang H J, Xu L F, Li Z A, Ren H. Nitrogen losses from farmland and agricultural non-point source pollution. *Tropical Geography*, 2004, 24(4): 332-336.
- [17] Lu M R, Li Z J, Zhang T, Ning T Y, Zhao J B, Li H J. Effects of minimum or no-tillage system and straw returning on extreme soil moisture and yield of winter wheat. *Transactions of the Chinese Society of the Agricultural Engineering*. 2010, 26(1): 41-46.
- [18] Beaudoin N, Saad J K, van Laethem C, Machet J M, Maucorps J, Mary B. Nitrate leaching in intensive agriculture in Northern France: Effect of farming practices, soils and crop rotations. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2005, 111(1/4): 292-310.
- [19] Wang X M, Xie Y X, Zhang Y N, Zhu Y J, Yan X Y. Effect of new type fertilizers application on accumulation of soil nitrate nitrogen in the maize season. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2009, 23(5): 232-236.
- [20] Li Z X, Dong S T, Wang K J, Liu P, Zhang J W, Wang Q C, Liu C X. Soil nutrient leaching patterns in maize field under different fertilizations an in situ study. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(1): 65-70.
- [21] 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.
- [22] Xiao H G, Ji W. Relating landscape characteristics to non-point source pollution in mine waste-located watersheds using geospatial techniques. *Journal of Environmental Management*, 2007, 82(1): 111-119.
- [23] Han J G, Lee Y K, Kim T H, Hwang E J. Analysis of seasonal water pollution based on rainfall feature at anyang river basin in Korea. *Environmental Geology*, 2005, 48(4/5): 599-608.
- [24] Huang M X, Zhang S, Zhang G L, Zhang X M. Losses of nitrogen nutrient in overland flow from farmland in Beijing under simulated rainfall conditions. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(1): 147-154.
- [25] Lu M, Liu M, Mao G F, Huang M W, Qu F. Study on nitrogen leaching of paddy soil in the field experiments. *Journal of East China Normal University: Natural Science*, 2006, (4): 71-77.
- [26] Wang X H, Yin C Q, Shan B Q. The role of diversified landscape buffer structures for water quality improvement in an agricultural watershed, North China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2005, 107(4): 381-396.

参考文献:

- [3] 沃飞, 陈效民, 吴华山, 方堃, 甘在福, 庾亮. 太湖流域典型地区农村水环境氮、磷污染状况的研究. *农业环境科学学报*, 2007, 26(3): 819-825.
- [4] 张水龙, 庄季屏. 农业非点源污染研究现状与发展趋势. *生态学杂志*, 1998, (6): 51-55.
- [6] 李辉, 姚丽萍. 南水北调东线工程济宁段农业面源污染现状及控制对策. *山东水利*, 2007, (10): 35-37.
- [7] 郭鸿鹏, 朱静雅, 杨印生. 农业非点源污染防治技术的研究现状及进展. *农业工程学报*, 2008, 24(4): 290-295.
- [9] 蔡履冰. 太湖流域水体富营养化成因及防治对策的初步研究. *中国环境监测*, 2003, 19(3): 52-55.
- [11] 郭建平, 吴甫成, 熊建安. 洞庭湖水体污染及防治对策研究. *湖南文理学院学报: 社会科学版*, 2007, 32(1): 91-94.
- [13] 栢元蒙. 滇池富营养化现状、趋势及其综合防治对策. *云南环境科学*, 2002, 21(1): 35-38.
- [14] 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.
- [16] 仓恒瑾, 许炼峰, 李志安, 任海. 农田氮流失与农业非点源污染. *热带地理*, 2004, 24(4): 332-336.
- [17] 吕美蓉, 李增嘉, 张涛, 宁堂原, 赵建波, 李洪杰. 少免耕与秸秆还田对极端土壤水分及冬小麦产量的影响. *农业工程学报*, 2010, 26(1): 41-46.
- [19] 王小明, 谢迎新, 张亚楠, 朱云集, 颜晓元. 新型肥料施用对玉米季土壤硝态氮累积的影响. *水土保持学报*, 2009, 23(5): 232-236.
- [20] 李宗新, 董树亭, 王空军, 刘鹏, 张吉旺, 王庆成, 刘春晓. 不同施肥条件下玉米田土壤养分淋溶规律的原位研究. *应用生态学报*, 2008, 19(1): 65-70.
- [21] 朱兆良. 农田中氮肥的损失与对策. *土壤与环境*, 2000, 9(1): 1-6.
- [24] 黄满湘, 章申, 张国梁, 张秀梅. 北京地区农田氮素养分随地表径流流失机理. *地理学报*, 2003, 58(1): 147-154.
- [25] 陆敏, 刘敏, 茅国芳, 黄明蔚, 屈璠. 大田条件下稻田土壤氮素淋失研究. *华东师范大学学报: 自然科学版*, 2006, (4): 71-77.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 12 June, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Effect assessment of the project of grain for green in the karst region in Southwestern China: a case study of Bijie Prefecture	LI Hao, CAI Yunlong, CHEN Ruishan, et al (3255)
The effect of dispersal on the population dynamics of a host-parasite system in fragmented landscape	SU Min (3265)
The effect of spatial scales on wetland functions evaluation: a case study for coastal wetlands in Yancheng, Jiangsu Province	OU Weixin, YE Lifang, SUN Xiaoxiang, et al (3270)
Effects of simulated nitrogen deposition on nutrient balance of Chinese fir (<i>Cunninghamia lanceolata</i>) seedlings	FAN Houbao, LIAO Yingchun, LIU Wenfei, et al (3277)
The water conservation study of typical forest ecosystems in the forest transect of eastern China	HE Shuxia, LI Xuyong, MO Fei, et al (3285)
The ecological responses of <i>Pinus tabulaeformis</i> forests in Taiyue Mountains of Shanxi to artificial Harvesting	GUO Donggang, SHANGGUAN Tielang, BAI Zhongke, et al (3296)
The influence of the long-term application of organic manure and mineral fertilizer on microbial community in calcareous fluvo-aquic soil	ZHANG Huanjun, YU Hongyan, DING Weixin (3308)
Endophytic fungal diversity of five dominant plant species in the dry-hot valley of Yuanjiang, Yunnan Province, China	HE Caimei, WEI Daqiao, LI Haiyan, et al (3315)
Seedling recruitment in desert riparian forest following river flooding in the middle reaches of the Tarim River	ZHAO Zhenyong, ZHANG Ke, LU Lei, et al (3322)
Scaling up for transpiration of <i>Pinaceae schrenkiana</i> stands based on 8hm permanent plots in Tianshan Mountains	ZHANG Yutao, LIANG Fengchao, CHANG Shunli, et al (3330)
Responses of soil enzyme activities and microbial biomass N to simulated N deposition in Gurbantunggut Desert	ZHOU Xiaobing, ZHANG Yuanming, TAO Ye, et al (3340)
Effects of Pb on growth, heavy metals accumulation and chloroplast ultrastructure of <i>Iris lactea</i> var. <i>Chinensis</i>	YUAN Haiyan, GUO Zhi, HUANG Suzhen (3350)
Effects of temperature and sap flow velocity on CO ₂ efflux from stems of three tree species in spring and autumn in Northeast China	WANG Xiuwei, MAO Zijun, SUN Tao, et al (3358)
The soil seed bank of <i>Eupatorium adenophorum</i> along roadsides in the south and middle area of Yunnan, China	TANG Yingyin, SHEN Youxin (3368)
Extracting the canopy structure parameters using hemispherical photography method	PENG Huanhua, ZHAO Chuanyan, FENG Zhaodong, et al (3376)
The CCA analysis between grasshopper and plant community in upper reaches of Heihe River	ZHAO Chengzhang, ZHOU Wei, WANG Keming, et al (3384)
Community structure characteristics of phytoplankton in argun River Drainage Area in autumn	PANG Ke, YAO Jinxian, WANG Hao, et al (3391)
Spatial and temporal variation of phytoplankton and impacting factors in Jiulongjiang Estuary of Xiamen, China	WANG Yu, LIN Mao, CHEN Xingqun, et al (3399)
Effect of bank type on fish biodiversity in the middle-lower reaches of East Tiaoqi River, China	HUANG Liangliang, LI Jianhua, ZOU Limin, et al (3415)
Study on dynamic changes of soil and water loss along highway based on RS/GIS: an example of Yujing expressway	CHEN Aixia, LI Min, SU Zhixian, et al (3424)
The urbanization effects on watershed landscape structure and their ecological risk assessment	HU Hebing, LIU Hongyu, HAO Jingfeng, et al (3432)
Assessment of ecological risk of coastal economic developing zone in Jinzhou Bay based on landscape pattern	GAO Bin, LI Xiaoyu, LI Zhigang, et al (3441)
Impacts of land use and cover changes on ecosystem service value in Zoige Plateau	LI Jinchang, WANG Wenli, HU Guangyin, et al (3451)
Effect of chicken manure application on Cu and Zn accumulation in soil and <i>Brassica sinensis</i> L.	ZHANG Yan, LUO Wei, CUI Xiaoyong, et al (3460)
GIS analysis of structural characteristics of pollution sources in irrigable farmland in Ningxia China	CAO Yanchun, FENG Yongzhong, YANG Yinlu, et al (3468)
Effects of pre-sowing soil moisture and planting patterns on photosynthetic characteristics and yield of summer soybean	LIU Yan, ZHOU Xunbo, CHEN Yuhai, et al (3478)
<i>In situ</i> study on influences of different fertilization patterns on inorganic nitrogen losses through leaching and runoff: a case of field in Nansi Lake Basin	TAN Deshui, JIANG Lihua, ZHANG Qian, et al (3488)
Effects of AM fungi on leaf photosynthetic physiological parameters and antioxidant enzyme activities under low temperature	LIU Airong, CHEN Shuangchen, LIU Yanying, et al (3497)
Effects of exogenous cysteine on growth, copper accumulation and antioxidative systems in wheat seedlings under Cu stress	PENG Xiangyong, SONG Min (3504)
Review and Monograph	
The horizon scanning technology and its application prospect in Ecology	HU Zimin, LI Jingjing, LI Wei, et al (3512)
Scientific Note	
The gas exchange characteristics of four shrubs on the northern slope of Kunlun Mountain	ZHU Juntao, LI Xiangyi, ZHANG Ximing, et al (3522)
Effect of DEM data at different scales on the accuracy of forest Ecological Classification system	TANG Lina, HUANG Jucong, DAI Limin (3531)
Canopy interception of rainfall by Bamboo plantations growing in the Hill Areas of Southern Jiangsu Province	JIA Yongzheng, HU Haibo, ZHANG Jiayang (3537)
Effects of exotic species slash pine (<i>Pinus elliottii</i>) litter on the structure and function of the soil microbial community	CHEN Falin, ZHENG Hua, YANG Bosu, et al (3543)
The carbon emission analysis of Shenzhen Metro	XIE Hongyu, WANG Xixiang, YANG Muzhuang, et al (3551)

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 12 期 (2011 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 12 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元