

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

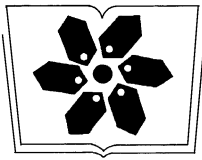
Acta Ecologica Sinica



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

施用鸡粪对土壤与小白菜中 Cu 和 Zn 累积的影响

张 妍^{1,2}, 罗 维^{1,*}, 崔晓勇², 时 鹏², 吕永龙¹

(1. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085;

2. 中国科学院研究生院资源与环境学院, 北京 100049)

摘要:我国鸡饲养量已占世界总量的 24%, 鸡饲料添加剂中高含量的 Cu 和 Zn 随鸡粪排出体外, 鸡粪作为优良的有机肥大量施用于菜园土壤, 会导致土壤和蔬菜中重金属 Cu 和 Zn 的含量过高, 进而通过食物链影响动物和人类健康。研究含高 Cu 和高 Zn 的鸡粪施入土壤后典型蔬菜对 Cu 和 Zn 的富集和转运, 对于阐明鸡粪中 Cu 和 Zn 的土壤环境行为和蔬菜的健康风险具有重要的科学价值, 同时可为蔬菜安全生产提供参考。以 Cu 和 Zn 浓度分别为 1137.3 mg/kg 和 1503.4 mg/kg 的鸡粪堆肥作为实验材料, 设置 5 个鸡粪施用处理, 即 11、22、44、89 g/kg 和 222 g/kg, 相当于 25、50、100、200 t/hm² 和 500 t/hm², 以不施鸡粪处理为对照。通过小白菜盆栽实验, 研究了施用鸡粪对土壤与小白菜中 Cu 和 Zn 的影响。结果表明: 土壤全 Cu 和全 Zn 含量范围分别为 58.6—203.4 mg/kg 和 78.1—431.6 mg/kg; EDTA-Cu 为 12.7—119.8 mg/kg, EDTA-Zn 为 15.6—215.1 mg/kg。鸡粪施用量大于 50 t/hm² 时, 土壤中 Cu 和 Zn 含量均较对照显著提高。小白菜地上、地下部以及整株 Cu 和 Zn 的含量都随鸡粪施用量的增加而提高, 且地下部 Cu、Zn 的含量均高于地上部, 同时小白菜各部分 Zn 的含量都高于 Cu。鸡粪施用量大于 100 t/hm² 处理的小白菜地上部 Cu 含量显著高于对照处理, 但是各处理小白菜中地上部的 Zn 含量与对照相比, 均无显著性差异。施鸡粪量为大于 50 t/hm² 时, 地下部分 Cu 含量较对照显著增加, 而施鸡粪量大于 100 t/hm² 时, 地下部分 Zn 含量显著增加。土壤有效态的 Cu (EDTA-Cu) 与植物各部分吸收 Cu 的相关性较好, 但土壤有效态的 Zn (EDTA-Zn) 与植物各部分吸收 Zn 的相关性较差。随着鸡粪施用量的增加, 小白菜对土壤中 Cu 的富集系数由 11% 增加到 15%, 对 Zn 富集系数却由 47% 下降到 19%, 小白菜对 Cu 和 Zn 的转运系数分别下降 36% 和 51%。小白菜地上、地下部及整株的 Zn/Cu 都随鸡粪施用量的增加而减小, 说明小白菜对 Cu、Zn 吸收转运能力的差异随着鸡粪施用量的增加而下降。

关键词:鸡粪; Cu; Zn; 小白菜; 土壤污染; 富集和转运

Effect of chicken manure application on Cu and Zn accumulation in soil and *Brassica sinensis* L.

ZHANG Yan^{1,2}, LUO Wei^{1,*}, CUI Xiaoyong², SHI Peng², LU Yonglong¹

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 College of Resources and Environment, Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: The chicken feeding in China accounts for 24% of the world total. Cu and Zn are widely used in fodder, leading to high concentrations of Cu and Zn in chicken manure. As a good organic fertilizer, chicken manure is widely applied to garden soil, causing high concentrations of Cu and Zn in both soils and vegetables. High concentrations of these metals in soils can affect animal and human health through the food chain. It is of vital importance to know the effect of chicken manure application on Cu and Zn accumulation in soils and in *Brassica sinensis* L., for human health risk assessment and safe production of vegetables. Bioconcentration and translocation of Cu and Zn by *Brassica sinensis* L. planted in chicken manure-applied soils were studied in pot experiments. Chicken manures with high concentrations of Cu and Zn (1137.3 and 1503.4 mg/kg, respectively) were applied to soils at six rates, i. e. 0, 11, 22, 44, 89 g/kg and 222 g/kg, namely 0, 25,

基金项目:国家重点基础研究计划 973 计划课题(2008CB418104, 2007CB407307); 国家自然科学基金资助项目(C031001); 城市与区域生态国家重点实验室项目(SKLURE2008-1-04; SKLURE2008-1-05)

收稿日期:2010-06-19; **修订日期:**2010-08-30

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

50, 100, 200 t/hm² and 500 t/hm², respectively. The results showed that total Cu and total Zn concentrations in manure spoiled soils ranged from 58.6 to 203.4 mg/kg and 78.1 to 431.6 mg/kg, respectively. EDTA-Cu was in the range of 12.7—119.8 mg/kg, and EDTA-Zn 15.6—215.1 mg/kg. There was a significant difference in the concentrations of total Cu and total Zn in the soils between control and the treatments above 50 t/hm². The concentrations of Zn and Cu in every part of *Brassica sinensis* L increased with addition of chicken manure. Furthermore, Zn concentration was higher than Cu in every part of *Brassica sinensis* L. Both Cu and Zn concentrations in the under-ground parts were greater than those in the above-ground parts for all treatments. The concentration of Zn in every part of *Brassica sinensis* L. was also higher than that of Cu. There was a significant difference in Cu concentrations in the above-ground parts of *Brassica sinensis* L. between control and treatments above 100 t/hm². However, no significant differences in Zn concentration were observed among all the treatments. There were significant differences in Cu concentrations in the under-ground parts of *Brassica sinensis* L. between control and all treatments except 25 t/hm², but in Zn concentrations in the under-ground parts of *Brassica sinensis* L. between control and all treatments except 25 t/hm² and 50 t/hm². Good correlation occurred between the extractable Cu (EDTA-Cu) concentrations in soil and in *Brassica sinensis* L. tissues. In contrast, no significant correlation between the extractable Zn (EDTA-Zn) concentration in soil and the Zn concentration in *Brassica sinensis* L. tissues was found. The bioconcentration factor of Cu in *Brassica sinensis* L. increased from 11% to 15% when manure application rates changed from 0 to 222 g/kg, while that of Zn decreased from 47% to 19%. Translocation factors for Cu and Zn decreased 36% and 51% respectively, with the change of manure application rate. The decrease of the ratio of Zn:Cu in every part of *Brassica sinensis* L. indicates that the discrepancy in the uptake and translocation capacity of Cu and Zn in *Brassica sinensis* L. reduced with increasing chicken manure application.

Key Words: chicken manure; Cu; Zn; *Brassica sinensis* L.; soil contamination; bioconcentration and translocation

畜禽粪便是一种重要的有机肥源,含有丰富的有机质和 N、P 等养分,长期以来被广泛应用于农业生产^[1]。随着规模化养殖业的迅猛发展,我国畜禽粪便年产量已近 30 亿 t^[2]。目前,畜禽粪便多作为有机肥用于蔬菜生产,且施用量较大,如沈阳市郊蔬菜保护地平均每年施用优质有机肥为 90—105 t/hm²,80% 的菜农施用半腐熟的鸡粪^[3]。据世界粮农组织统计,2004 年我国鸡饲养量已占到全世界的 24%,然而为提高养殖效率、防治动物疾病,向鸡饲料中添加大量的重金属元素(尤其是 Cu、Zn)是相当普遍现象^[4]。经饲料摄入鸡体内的重金属大部分随粪便排出体外^[5],其中 Cu 和 Zn 经鸡粪排泄的比例达 95% 以上^[6]。包括我国在内的世界上很多国家的土壤已受到不同程度的重金属污染,其中长期大量施用含高重金属(Cu 和 Zn)的鸡粪是造成土壤污染的重要原因之一^[7-9]。土壤 Cu 和 Zn 污染不仅会影响植物的生长发育,还会造成 Cu 和 Zn 在植物内的大量累积^[10],并通过食物链对动物和人体产生毒害风险^[11]。因此,由鸡粪中高 Cu 高和 Zn 引起的土壤污染和蔬菜安全风险已经引起了人们高度的重视。国内外已有不同蔬菜对不同重金属富集能力差异的研究^[12-13],目前的研究主要集中在来源于人为排放污染物、采矿和污水排放等造成的土壤重金属污染,这些来源的重金属污染对蔬菜生产的危害及粮食作物对重金属的吸收转移方面^[14-16]。尽管南京土壤研究所的周东美等^[17]人已经对低含量重金属的鸡粪(Cu 和 Zn 含量分别为 152 mg/kg 和 516 mg/kg)施用对小白菜 Cu、Zn 吸收的影响做了一些研究。但是至今还未见含高 Cu 与高 Zn 的鸡粪施用对土壤和蔬菜作物中 Cu、Zn 累积影响的研究报道。生物富集系数和转运系数可以说明土壤重金属的含量对蔬菜重金属含量的直接影响以及蔬菜对重金属的吸收和累积特性的差异^[18]。由于蔬菜中叶菜类对重金属富集能力最强^[19],因而研究施用鸡粪对土壤与典型叶菜(小白菜)中 Cu 和 Zn 累积的影响很有现实意义。本研究对于阐明畜禽粪肥中 Cu 和 Zn 的土壤环境行为和蔬菜的健康风险具有重要的科学价值,同时也可对有机蔬菜的安全生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验设计

供试鸡粪采自某集约型养鸡场,施用前经过堆肥腐熟、风干、磨碎处理。土壤为未受重金属污染的菜园

土。鸡粪和土壤的基本理化性质见表 1。

表 1 供试土壤和鸡粪的基本理化性质
Table 1 Soil and chicken manure properties

基质 Matrix	全氮 / % Total-N	全碳 / % Total-C	全磷 / (g/kg) Total-P	全 Cu / (mg/kg) Total-Cu	全 Zn / (mg/kg) Total-Zn	pH	有机质 /(g/kg) Organic matter
鸡粪 Chicken manure	2.47	24.38	4.12	1137.3	1503.4	8.29	79.45
土壤 Soil	0.09	1.39	0.60	56.3	74.4	8.33	15.53
土壤环境质量标准 Soil environmental quality standard				100	300	>7.5	

土壤环境质量标准二级标准(GB 15618—1995),主要适用于一般农田、蔬菜地等土壤,土壤质量对植物和环境基本不造成危害和污染

实验设计 5 个鸡粪施用水平,即 11、22、44、89 和 222 g/kg(相当于 25、50、100、200 和 500 t/hm²),分别用 C1、C2、C3、C4、C5 表示。以不施鸡粪作对照,用 CK 表示(表 2)。

表 2 施用鸡粪盆栽小白菜实验盆栽处理方案
Table 2 Pot experiment treatments of *Brassica sinensis* L by different application rate of chicken manure

处理 Treatments	CK	C1	C2	C3	C4	C5
鸡粪施用量 Chicken manure/(t/hm ²)	0	25	50	100	200	500
鸡粪用量/(g/kg) Application amounts of chicken manure	0	11	22	44	89	222
加入土量/(g/kg) Application amounts of soil	1000	989	978	956	911	778

按照上述实验设计,将鸡粪和土壤按充分混匀后装入内径 12 cm、深 40 cm 的塑料盆中,每盆装入基质的总量为 5 kg,并保持相同的容重。所有处理均设 4 个重复,按完全随机排列。小白菜品种为四月慢(浙江省东阳市种子公司),种植期间保持土壤湿度为田间持水量的 60%,30d 后收获。所有盆栽实验在北京林业大学温室中进行,所有处理均保持相同的温度和光照等条件。温室中温度范围一般为 15—25℃。小白菜的最适生长温度为 12—20℃。

1.2 样品的采集与分析

小白菜全株收获后,用蒸馏水轻轻冲去表面的灰尘和土壤,滤纸吸干水分后称量地上部和地下部的鲜重,然后置于称量瓶中在 105℃下杀青 15 min,再于 80—90℃下烘干至恒重。同时采集土壤样品,风干过筛,用于重金属含量和化学性质分析。

风干后的土壤样品研磨过 100 目尼龙筛,植物样品经不锈钢粉碎机粉碎后过 60 目尼龙筛。称取 0.25—0.30 g(精确到 0.0001 g)样品放入消解罐中,加入 9 mL 浓硝酸(土壤样还需加入 3 mL 浓 HF),用微波消解而后赶酸至尽干,取出后用超纯水定容至 50 mL^[20]。Cu、Zn 有效态用 EDTA 提取^[21]。分别用电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-OES)和感应耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)测定土壤和植物中 Cu、Zn 的含量。

pH 值用 pH 计测定(水土质量比为 2.5:1);有机质(SOM)用重铬酸钾水合热法测定;全氮、全碳用元素分析仪测定;全磷用酸溶-钼锑抗比色法测定;Eh 值用土壤氧化还原电位计测定。称 20 g(干土重)新鲜土壤放入盛有 100 mL 去离子水的三角瓶中,常温下振荡浸提 30 min,用高速离心机离心,上清液过 0.45 μm 滤膜,用 TOC 仪测定浸提液有机碳浓度,得到溶解有机碳^[22]。

1.3 小白菜对重金属的富集系数与转运系数的计算

富集系数 BCF(Bioconcentration factor) = 地上部重金属含量/土壤重金属含量×100%

转运系数 TF(Translocation factor) = 地上部重金属含量/地下部重金属含量×100%

1.4 数据统计分析

实验数据采用 SPSS16.0 做方差分析、回归分析和相关性分析,Sigmaplot 作图。

2 结果与讨论

2.1 土壤中 Cu 和 Zn 的含量

各处理土壤重金属 Cu、Zn 含量均高于对照(表 3)。土壤全 Cu 和全 Zn 含量范围分别为 58.6—203.4 mg/kg 和 78.1—431.6 mg/kg; EDTA-Cu 为 12.7—119.8 mg/kg, EDTA-Zn 为 15.6—215.1 mg/kg。鸡粪施用量大于 50 t/hm²时,土壤中 Cu、Zn 全量均较对照显著提高。

表 3 施用鸡粪处理土壤中 Cu 和 Zn 含量变化

Table 3 Cu and Zn concentrations in soils in different treatments

处理 Treatments	全量 Total contents/(mg/kg)		有效态 Available contents/(mg/kg)	
	Cu	Zn	EDTA-Cu	EDTA-Zn
CK	58.6±4.9 d	78.1±3.5 d	12.7±0.1 e	15.6±0.5 d
C1	68.4±5.8 d	94.9±2.1 d	19.8±0.6 d	18.6±1.4 d
C2	69.2±2.2 d	99.6±2.0 d	22.0±1.6 d	25.2±2.5 d
C3	88.3±1.7 c	137.4±12.5 c	38.3±0.4 c	59.1±0.5 c
C4	119.5±9.3 b	218.4±11.3 b	60.4±1.3 b	95.5±1.7 b
C5	203.4±7.5 a	431.6±13.5 a	119.8±5.8 a	215.1±12.1 a

同一列中不同的字母表示差异达到显著水平($P<0.05$)

当鸡粪施用量分别大于 100 t/hm²和 200 t/hm²时,土壤重金属 Cu、Zn 含量超过国家二级标准。重金属是不易降解的污染物,易在土壤中积累,一旦重金属含量超出土壤生态环境可承受范围,会对土壤动、植物产生危害,并且通过食物链的富集作用,威胁人类和动物的健康安全。常量下 Cu 和 Zn 对动植物和人体是有益元素,但过量会产生危害;当土壤中 Cu 含量超过 100 mg/kg 会造成植物中毒,影响到植物生理生态过程、植物产量和品质。随着 Cu、Zn 浓度的增加其毒性也逐渐增大,蔬菜基本不能生长,这与实验中所观察到的 C5 处理小白菜生长较差现象一致,主要是因为过量的 Cu 和 Zn 会影响植物根系的生长,降低植物对其他养分的吸收转化,从而危害植物的生长发育^[23]。因而,应控制土壤 Cu 和 Zn 含量,使其介于有益作物生长和人体健康的含量范围之内。本实验施用低量的鸡粪的处理(≤ 100 t/hm²),土壤中 Cu 和 Zn 的累积含量并未超出国家二级标准。

2.2 小白菜中 Cu 和 Zn 含量

小白菜各部分 Cu 和 Zn 含量都随鸡粪施用量的增加而增加,且地下部浓度均高于地上部(图 1),这与以往的研究结果一致^[24]。从图 1 可以看出,与对照相比较,只有施鸡粪量为 200 t/hm²和 500 t/hm²两个处理中小白菜地上部分 Cu 含量有显著增加,而各处理之间地上部分 Zn 含量差异并不显著;施鸡粪量为 50、100、200 t/hm²和 500 t/hm²的处理地下部分 Cu 含量较对照显著增加,而施鸡粪量为 100、200 t/hm²和 500 t/hm²处理地下部分 Zn 含量显著增加;施鸡粪量为 50、100、200 t/hm²和 500 t/hm²处理整株 Cu 含量较对照显著增加,仅有施鸡粪量为 200 t/hm²处理 Zn 含量较对照显著提高。小白菜各部分 Zn 含量均高于 Cu 含量,是由于鸡粪中 Zn 含量较 Cu 高(表 1)。鸡粪施用量大于 100 t/hm²的处理,小白菜地上部 Cu 含量明显高于对照(7.1 mg/kg),但各处理地上部 Zn 含量与对照之间均无显著性差异。可能是由于鸡粪中大量有机质易与土壤中 Zn²⁺络合而导致土壤交换态 Zn 下降。土壤含有较高的硅酸盐也可与 Zn 结合,使大部分土壤 Zn 以残留态存在。同时因为鸡粪的 pH 较高,土壤粘土矿物、氧化铁、Al 对 Zn 的吸附作用增强^[25],使得植物可吸收的 Zn 含量降低,故各处理小白菜地上部分吸收 Zn 未表现出显著性差异。

Cu 和 Zn 都是植物必需的微量元素,有着重要的生理功能。但是,如果 Cu、Zn 含量过高,就会对植物产生毒害作用,引起代谢过程紊乱,生长发育受阻,甚至导致植物死亡^[26]。土壤 Cu、Zn 有效态含量提高会增加蔬菜体内重金属累积的风险。Meyer 的研究成果表明,仅以土壤中的重金属总量并不能很好地预测和评估重金属的生物有效性及其环境效应^[27]。由土壤中 Cu、Zn 有效态含量与小白菜地上、地下部、整株 Cu、Zn 含量的线性回归方程发现,除小白菜地上部 Zn 和整株 Zn 含量外,其余的决定系数都较高(表 4)。因而,用土壤中有

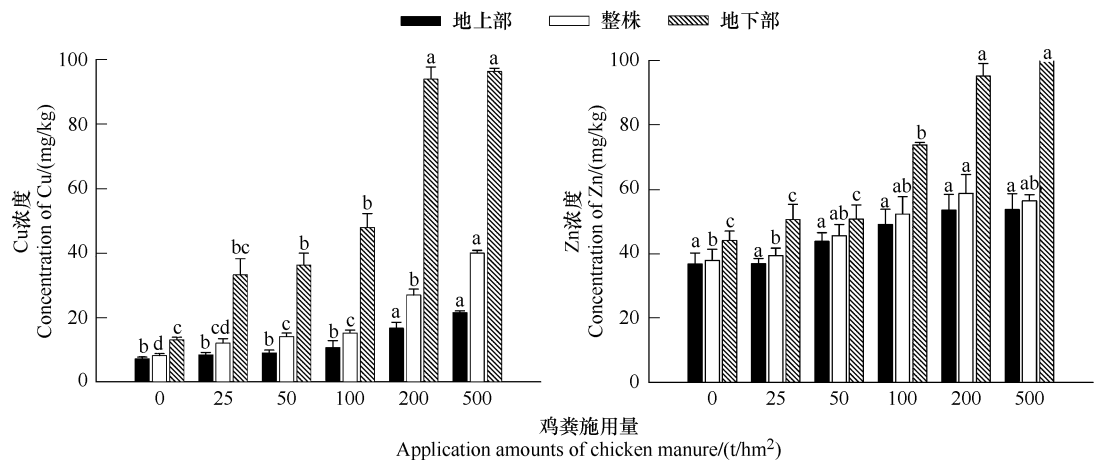


图1 不同鸡粪施用量处理的小白菜 Cu 和 Zn 含量

Fig.1 Cu and Zn concentrations in *Brassica sinensis* L. tissues under different application amounts of chicken manure

效态的 Cu 表征植物各部分吸收 Cu 的含量效果很好,而用土壤中有效态的 Zn 表征植物地上部分吸收 Zn 的含量效果较差。

表4 植物与土壤有效态 Cu 和 Zn 含量之间的相关性

Table 4 Correlation between EDTA-Cu and EDTA-Zn in *Brassica sinensis* L. and soil

重金属 Heavy metal	参数 Parameter	回归方程 Regression equation	R^2	F
Cu	地上部	$Y=0.138X+0.026$	0.570	28.810
	地下部	$Y=1.021X+0.139$	0.729	53.925
	整株	$Y=0.291X+0.025$	0.873	138.077
Zn	地上部	$Y=0.056X+0.043$	0.077	1.680
	地下部	$Y=0.317X+0.060$	0.565	28.280
	整株	$Y=0.071X+0.043$	0.123	2.802

为了进一步探求影响重金属 Cu、Zn 在植物体内富集转化的因素,对小白菜地上部 Cu 和 Zn 与土壤的一些基本理化性质进行相关性分析(表5),结果显示小白菜地上部 Cu 和 Zn 之间存在显著的正相关($P<0.05$)。主要原因是鸡粪中 Cu、Zn 比例是固定的,鸡粪施用增加使得土壤中 Cu、Zn 含量同时增加。小白菜地上部 Cu 含量与 pH、可溶性有机碳(DOC)和有机质(SOM)含量之间均呈显著正相关,且与 SOM 的相关性最强;地上部 Zn 含量则与 pH、可溶性有机碳(DOC)、有机质含量均无显著相关性。

表5 鸡粪施用中小白菜地上部 Cu 和 Zn 与土壤性质的相关性

Table 5 Correlation coefficients between Cu and Zn concentrations in above-ground parts of *Brassica sinensis* L. and soil properties

	Cu	Zn	pH	Eh	DOC	SOM
Zn	0.612 *	1				
pH	0.528 *	-0.133	1			
Eh	-0.364	0.314	-0.615 **	1		
DOC	0.621 **	0.080	0.766 **	-0.529 **	1	
SOM	0.693 **	0.194	0.879 **	-0.689 **	0.862 **	1

* $P<0.05$; ** $P<0.01$

碱性条件(鸡粪和土壤的均呈碱性,表1)下,进入土壤环境中的重金属多以碳酸盐和磷酸盐等难溶态形式存在,重金属有效性降低^[28]。因而,鸡粪施用量增加会提高土壤的 pH 值,促进土壤固相对 Zn 的吸附,降低土壤溶液中 Zn 的浓度和植物可吸收 Zn 的含量^[29]。而在高 pH 条件下,可溶性有机质(DOC)可以阻止金属

元素、特别是 Cu 向氢氧化物或碳酸盐等沉淀形态转化,使得土壤溶液中可溶态浓度增加,矿物吸附作用减少,从而促进了 Cu 的迁移和生物有效性^[30]。同时,鸡粪含有较高的有机质,施用鸡粪可提高土壤有机质含量,有机质虽然对土壤 Zn 的生物有效性影响较 Cu 小^[31]。有机质具有大量的官能团,它的比表面积和对 Zn 离子的吸附能力远远超过任何其它的矿质胶体,有机质强力吸附 Zn 及腐殖质分解形成腐殖酸可与土壤中 Zn 形成的络(螯)合物降低了植物对 Zn 的吸收^[32]。另外,短期内施用鸡粪的农田土壤 Zn 的有效态含量与对照相比差异不显著^[33]。但有机质中 DOC 在土壤胶体表面的强竞争性吸附^[34],提高了 Cu 离子解吸和溶解能力,促进 Cu 离子向根际的迁移,增加了 Cu 的生物有效性^[35]。因此,鸡粪施用量的增加可以降低 Zn 对植物的相对毒性,但不能降低 Cu 的相对毒性。

2.3 小白菜对 Cu、Zn 的富集和转运

为说明蔬菜对重金属的吸收和累积特性的差异,本研究利用生物富集系数和转运系数来衡量重金属 Cu、Zn 在土壤-小白菜系统中的积累转化。由图 2 表明,小白菜对土壤中 Cu 的富集系数随着鸡粪施用量的增加从 11% 上升到 15%,但对 Zn 富集系数却随施用量的增大从 47% 下降到 19%。小白菜对 Cu 和 Zn 的转运系数都随鸡粪施用量的增加分别下降 36% 和 51%。由此可见,小白菜对 Cu 的吸收能力随着含高 Cu 鸡粪施用量的增加而增大,但对 Zn 的吸收能力并未随含高 Zn 鸡粪施用量而增大,反而是减小的。小白菜将 Cu、Zn 从根系运输到地上部分的能力也是随着有机肥施用量的增加而下降。

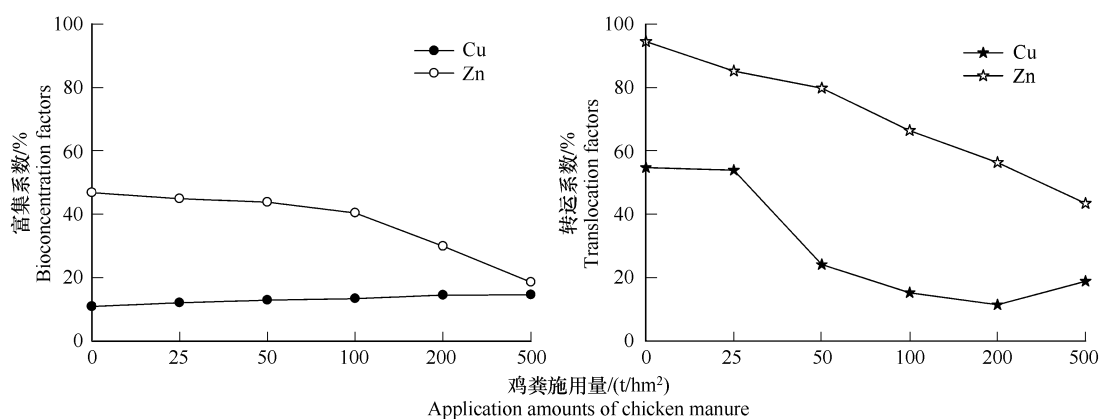


图 2 小白菜对重金属 Cu 和 Zn 的富集系数与转运系数

Fig. 2 Bioconcentration factors and translocation factors of Cu and Zn in *Brassica sinensis* L.

植物各部分 Zn/Cu 比值变化以及其相对于土壤中重金属含量比值的改变,可表征植物对 Cu 和 Zn 富集和转运的差异。由图 3 说明,虽然土壤中 Zn/Cu 随鸡粪施用量的增加而提高,其中对照土壤 Zn/Cu 为 1.3, C5 (鸡粪施用量最大的处理)的 Zn/Cu 达 2.2;但是小白菜地上和地下部的 Zn/Cu 都随鸡粪施用量的增加而降低,各处理小白菜地上部 Zn/Cu 的比值都显著高于地下部;除鸡粪施用量为 500 t/hm² 处理外,还显著高于土壤中的 Zn/Cu 比。对照处理的地上部 Zn/Cu 为 5.2,地下部 Zn/Cu 为 3.4,但土壤 Zn/Cu 仅为 1.3;除对照处理外,其余各处理的地下部 Zn/Cu 接近或低于对应土壤的该比值。小白菜整株的 Zn/Cu 也随鸡粪的施用量增加而降低,说明小白菜吸收转运 Cu 的能力较 Zn 强,鸡粪施用量的增加相对促进了小白菜对土壤中 Cu 的吸收转运,同时降低了植物对 Cu 和 Zn 吸收转运的差异。

本研究结果表明,鸡粪施用量大于 100 t/hm² 的处理小白菜地上可食部分 Cu 含量明显高于对照,但是各处理地上可食部分 Zn 含量与对照之间均无显著性差异。因而,在鸡粪作为有机肥施用于菜园土壤中时,Cu 的潜在毒害作用远远大于 Zn。然而,由于畜禽对重金属的利用率低,因而畜禽粪便中 Cu 和 Zn 的含量分别比饲料中含量提高了 1.0—4.4 倍和 1.0—6.6 倍^[6]。鉴于现行的饲料卫生标准(GB 13078—2001)还未对 Cu、Zn 元素制定限量标准,因此,可考虑在制订和完善饲料卫生标准时对 Cu 和 Zn (尤其是 Cu) 做出相应的限量规定。

由于重金属 Cu 和 Zn 含量在鸡粪中的比例是固定的,不能明确鸡粪自身一些性质(如 pH、有机质、可溶性有机碳等)对 Cu、Zn 的吸收转运的作用机制。下一步研究应该就 Cu、Zn 和鸡粪施用量设计正交实验,进一步揭示 Cu 和 Zn 在蔬菜体内富集和转运机制,为制定合理的有机肥农用标准提供有价值的参考。

3 结论

小白菜地上、地下部及整株 Cu、Zn 含量都随鸡粪施用量的增加而增加,且每个施肥水平上小白菜地上、地下部 Zn 含量都高于 Cu。

鸡粪施用量大于 100 t/hm² 处理的小白菜地上部 Cu 含量较对照显著提高,而 Zn 含量在各处理之间无显著性差异。

小白菜对 Zn 的富集系数和转运系数均大于 Cu。随着鸡粪施用量的提高,小白菜对 Cu 的富集系数略有升高,对 Zn 的富集系数降低,而对 Cu 和 Zn 的转运系数都下降;植物地上部和地下部的 Zn/Cu 都降低,小白菜对 Cu、Zn 吸收转运能力的差异随着鸡粪施用量的增加而下降。

References:

- [1] McBride M B. Cadmium uptake by crops estimated from soil total Cd and pH. *Soil Science*, 2002, 167(1): 62-67.
- [2] Wang X Y, Huang G Q, Han L J. Prediction model for organic matter content in chicken manure during plant-field composting. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 2010, 41(1): 101-105.
- [3] Jang Y, Liang W J, Wen D Z, Zhang Y G, Chen W B. Spatial heterogeneity of DTPA-extractable zinc in cultivated soils induced by city pollution and land use. *Science in China Series C: Life Sciences*, 2005, 48(1): 82-91.
- [4] Jackson B P, Bertsch P M, Cabrera M L, Camerato J J, Seaman J C, Wood C W. Trace element speciation in poultry litter. *Journal of Environmental Quality*, 2003, 32(2): 535-540.
- [5] Nicholson F A, Smith S R, Alloway B J, Carlton-Smith C, Chambers B J. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. *The Science of the Total Environment*, 2003, 311(1/3): 205-219.
- [6] Cang L, Wang Y J, Zhou D M, Dong Y H. Heavy metals pollution in poultry and livestock feeds and manures under intensive farming in Jiangsu Province, China. *Journal of Environmental Science*, 2004, 16(3): 371-374.
- [7] Ni D H, Chen Y D, Lin X Y, Zhang Y S. Effect of simulated acid rain on release of heavy metals from vegetable soil amended with swine manure. *Journal of Zhejiang University: Agriculture and Life Sciences*, 2008, 34(2): 214-220.
- [8] Bolan N S, Khan M A, Donaldson J, Adriano D, Matthew C. Distribution and bioavailability of copper in farm effluent. *The Science of the Total Environment*, 2003, 309(1/3): 225-236.
- [9] Moral R, Perez-Murcia M D, Perez-Espinosa A, Moreno-Caselles J, Paredes C, Rufete B. Salinity, organic content, micronutrients and heavy metals in pig slurries from South-eastern Spain. *Waste Management*, 2008, 28(2): 367-371.
- [10] Jung M C, Thornton I. Heavy metal contamination of soils and plants in the vicinity of a lead-zinc mine, Korea. *Applied Geochemistry*, 2009, 11(1/2): 53-59.
- [11] Murtaza G, Ghafoor A, Qadir M, Owens G, Aziz M A, Zia M H, Saifullah. Disposal and use of sewage on agricultural lands in Pakistan; a review. *Pedosphere*, 2010, 20(1): 23-34.
- [12] Sharma R K, Agrawal M, Marshall F M. Heavy metal (Cu, Zn, Cd and Pb) contamination of vegetables in urban India; A case study in Varanasi. *Environmental Pollution*, 2008, 154(2): 254-263.
- [13] Ma J, Zhou Y Z, Dou L, Zhang C B, Fu S M, Cai L M. Investigation of heavy metals pollution in vegetables and influencing factors in South Hanjiang Delta, Shantou. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(1): 71-77.
- [14] Zaccone C, Caterina R D, Rotunno T, Quinto M. Soil-farming system-food-health; effect of conventional and organic fertilizers on heavy metal (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) content in semolina samples. *Soil and Tillage Research*, 2010, 107(2): 97-105.
- [15] Cai L M, Huang L C, Zhou Y Z, Xu Z C, Peng X C, Ling A Y, Zhou Y, Peng P A. Heavy metal concentrations of agricultural soils and vegetables from Dongguan, Guangdong. *Journal of Geographical Sciences*, 2010, 20(1): 121-134.
- [16] Wang L X, Guo Z H, Xiao X Y, Chen T B, Liao X Y, Song J, Wu B. Heavy metal pollution of soils and vegetables in the midstream and downstream of the Xiangjiang River, Hunan Province. *Journal of Geographical Sciences*, 2008, 18(3): 353-362.

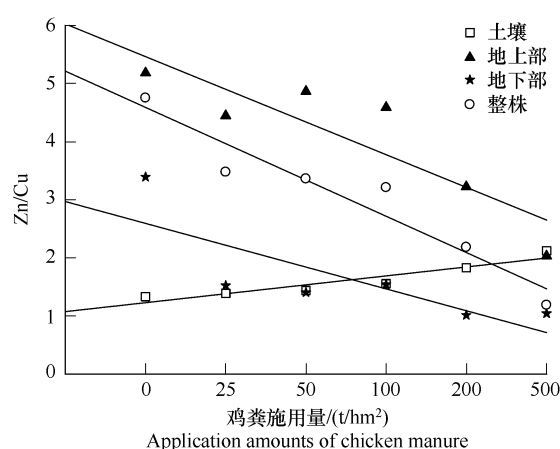


图3 土壤、小白菜 Zn/Cu 与鸡粪施用量的关系

Fig. 3 Relationships between the Zn/Cu in soil, *Brassica sinensis* L. and application amounts of chicken manure

- [17] Zhou D M, Hao X Z, Wang Y J, Dong Y H, Cang L. Copper and Zn uptake by radish and pakchoi as affected by application of livestock and poultry manures. *Chemosphere*, 2005, 59(2): 167-175.
- [18] Hao X Z, Zhou D M, Huang D Q, Cang L, Zhang H L, Wang H. Heavy metal transfer from soil to vegetable in southern Jiangsu Province, China. *Pedosphere*, 2009, 19(3): 305-311.
- [19] Xue Y, Shen Z G, Zhou D M. Difference in heavy metal uptake between various vegetables and its mechanism. *Soils*, 2005, 37(1): 32-36.
- [20] EPA (US Environmental Protection Agency). Microwave Assisted Acid Digestion of Siliceous and Organically Based Matrices (Method 3052). Washington DC, USA, 1996.
- [21] Sun B, Zhao F J, Lombi E, McGrath S P. Leaching of heavy metals from contaminated soils using EDTA. *Environmental Pollution*, 2001, 113(2): 111-120.
- [22] Huang J Y, Song C C, Song Y Y, Liu D Y, Wan Z M, Liao Y J. Influence of freshwater marsh tillage on microbial biomass and dissolved organic carbon and nitrogen. *Environment Science*, 2008, 29(5): 1380-1387.
- [23] Xue Y, Zhou D M, Hao X Z, Shen Z G, Chen H M. Study of response mechanisms of two cultivars of *Pakchoi* (*Brassica chinensis*) to Cu. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(2): 281-285.
- [24] Xu Z J, Qiu X Y, Feng T, Xiang Y C, Jin Y C. Uptake of heavy metals by vegetables and estimation of guidelines for health risk to heavy metals in vegetable plantation soil in acid rain area. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2008, 22(4): 179-184.
- [25] Zu Y Q, Li Y, Chen H Y, Chen J J, Guhur M, Schwartz C. Research on factors influencing concentrations of Pb, Cd, Cu and Zn in vegetables. *Journal of Agro-Environment Science*, 2003, 22(3): 289-292.
- [26] Wang Q R, Cui Y S, Dong Y T. Phytoremediation—an effective approach of heavy metal cleanup from contaminated soil. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(2): 326-331.
- [27] Meyer J S. The utility of the terms “bioavailability” and “bioavailable fraction” for metals. *Marine Environmental Research*, 2002, 53(4): 417-423.
- [28] Elzahabi M, Yong R N. pH influence on sorption characteristics of heavy metal in the vadose zone. *Engineering Geology*, 2001, 60(1/4): 61-68.
- [29] Martín J A R, Arias M L, Corbi J M G. Heavy metals contents in agricultural topsoils in the *Ebro basin* (Spain). Application of the multivariate geostatistical methods to study spatial variations. *Environmental Pollution*, 2006, 144(3): 1001-1012.
- [30] Castillo P, Chardon W J, Salomons W. Influence of cattle-manure slurry application on the solubility of cadmium, copper, and zinc in a manured acidic, loamy-sand soil. *Journal of Environment Quality*, 1993, 22(4): 689-697.
- [31] Wang J F, Liu Y J, Li B Y. Effects of returning crop straw into Vertisol on the physical and chemical properties and availability of manganese, zinc, copper. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2006, 14(3): 49-51.
- [32] Hao H Z, Jin M G, Li R M, Wang Z N, Han B H, Zu W P. Fractionations and bioavailability of Cu, Cd and Zn in cultivated land. *Ecology and Environmental Sciences*, 2010, 19(1): 92-96.
- [33] Qian P, Schoenau J J, Wu T, Mooleki S P. Copper and zinc amounts and distribution in soil as influenced by application of animal manure in east-central Saskatchewan. *Canadian Journal of Soil Science*, 2003, 83(2): 197-202.
- [34] Antoniadis V, Alloway B J. The role of dissolved organic carbon in the mobility of Cd, Ni and Zn in sewage sludge-amended soils. *Environmental Pollution*, 2002, 117(3): 515-521.
- [35] Marschner B, Kalbitz K. Controls of bioavailability and biodegradability of dissolved organic matter in soils. *Geoderma*, 2003, 113(3/4): 211-235.

参考文献:

- [2] 王晓燕, 黄光群, 韩鲁佳. 鸡粪工厂化堆肥过程中有机质含量预测模型. *农业机械学报*, 2010, 41(1): 101-105.
- [7] 倪丹华, 陈一定, 林成永, 章永松. 模拟酸雨对菜园土壤施用猪粪后重金属释放的影响. *浙江大学学报: 农业与生命科学版*, 2008, 34(2): 214-220.
- [13] 马瑾, 周永章, 窦磊, 张澄博, 付善明, 蔡立梅. 汕头韩江三角洲南部蔬菜重金属污染及因素分析. *农业环境科学学报*, 2008, 27(1): 71-77.
- [19] 薛艳, 沈振国, 周东美. 蔬菜对土壤重金属吸收的差异与机理. *土壤肥料*, 2005, 37(1): 32-36.
- [22] 黄靖宇, 宋长春, 宋艳宇, 刘德燕, 万忠梅, 廖玉静. 湿地垦殖对土壤微生物量及土壤溶解有机碳、氮的影响. *环境科学*, 2008, 29(5): 1380-1387.
- [23] 薛艳, 周东美, 郝秀珍, 沈振国, 陈怀满. 2 种不同耐性青菜品种对铜胁迫响应差异的机制研究. *农业环境科学学报*, 2006, 25(2): 281-285.
- [24] 许中坚, 邱喜阳, 冯涛, 向言词, 金元昌. 酸雨地区蔬菜对重金属的吸收及重金属健康风险基准的估算. *水土保持学报*, 2008, 22(4): 179-184.
- [25] 祖艳群, 李元, 陈海燕, 陈建军, Guhur M, Schwartz C. 蔬菜中铅镉铜锌含量的影响因素研究. *农业环境科学学报*, 2003, 22(3): 289-292.
- [26] 王庆仁, 崔岩山, 董艺婷. 植物修复-重金属污染土壤整治有效途径. *生态学报*, 2001, 21(2): 326-331.
- [31] 汪金舫, 刘月娟, 李本银. 秸秆还田对砂姜黑土理化性质与锰、锌、铜有效性的影响. *中国生态农业学报*, 2006, 14(3): 49-51.
- [32] 郝汉舟, 靳孟贵, 李瑞敏, 王支农, 韩冰华, 祖文普. 耕地土壤铜、镉、锌形态及生物有效性研究. *生态环境学报*, 2010, 19(1): 92-96.

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