

# 冶炼厂污灌区土壤铜和锌污染与土壤酶活性\*

王广林<sup>1,2</sup> 王立龙<sup>1</sup> 王育鹏<sup>1</sup> 刘登义<sup>1\*\*</sup>

(<sup>1</sup>安徽师范大学生命科学院, 芜湖 241000; <sup>2</sup>皖西学院生物系, 六安 237000)

**【摘要】** 通过对冶炼厂污灌区土壤和水稻中 Cu、Zn 含量分析以及土壤酶活性的测定, 研究了距冶炼厂不同距离土壤 Cu、Zn 含量状况、水稻对它们的吸收和分配以及土壤酶活性的变化. 结果表明, 冶炼厂造成了周围农田土壤的 Cu、Zn 污染, 其中 Cu 污染较严重, 距离冶炼厂 100 m 处的全量和提取态 Cu 分别为 182.45 和 81.91 mg·kg<sup>-1</sup>, 是对照的 10.3 和 35 倍. 污灌区水稻各器官 Cu、Zn 的分布规律是, Cu: 根>茎叶>米; Zn: 茎叶>根>米. Zn 在水稻体内的移动能力大于 Cu, Cu 主要累积在水稻根部, 根可作为一种屏障阻碍 Cu 向地上部分迁移, 使地上部分免受其害. 水稻茎叶 Cu 含量和土壤中 Cu 的浓度密切相关. 对蔗糖酶、过氧化氢酶和脲酶活性测定表明, 脲酶活性变化最显著, 其活性与土壤中 Cu 的浓度显著相关, 建议用脲酶活性作为污灌区 Cu 污染指标.

**关键词** 土壤-水稻系统 重金属 土壤酶

**文章编号** 1001-9332(2005)02-0328-05 **中图分类号** X53 **文献标识码** A

**Cu and Zn pollution and soil enzyme activities in sewage irrigation area near smeltery.** WANG Guanglin<sup>1,2</sup>, WANG Lilong<sup>1</sup>, WANG Yupeng<sup>1</sup>, LIU Dengyi<sup>1</sup> (<sup>1</sup>College of Life Science, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China; <sup>2</sup>Department of Biology, West Anhui University, Lu'an 237000, China). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2005, 16(2): 328-332.

This paper studied the Cu and Zn status in soil and rice plant as well as the soil enzyme activities in the sewage irrigation area near a smeltery. The results showed that the soils near the smeltery were polluted. The soil total and extractable Cu contents at the distance of 100 m were 182.45 and 81.91 mg·kg<sup>-1</sup>, respectively, 9.3 and 34 times higher than the control. The Cu concentration in different parts of rice was in order of root>leaf and stem>grain, while the Zn concentration was in order of leaf and stem>root>grain. Zn was more mobile than Cu which was likely to accumulate in rice root. It was considered that root could act as a barrier which retarded the upwards transport of Cu and protected the above ground parts of rice from toxication. The Cu contents of rice stem and leaf had a significant correlation with soil Cu contents in the sewage irrigation area. Among the three test enzymes, urease was the most sensitive one to Cu, and its activity had a significant correlation with soil Cu content. Therefore, it is feasible to use soil urease activity as an indicator of soil Cu pollution in sewage irrigation area near the smeltery.

**Key words** Soil-rice system, Heavy metal, Soil enzyme.

## 1 引言

随着工农业的发展, 大量含有重金属的废水、废渣通过各种途径污染农田. 重金属是一类具有潜在危害的重要污染物<sup>[21]</sup>. 由于其在土壤-植物系统中产生污染的过程具有隐蔽性、长期性和不可逆性的特点<sup>[19]</sup>, 所以当重金属通过在土壤-植物中迁移转化, 经过食物链的积累和放大作用, 将对生物产生更大毒害. 目前, 我国受重金属污染的耕地面积已近 2.0×10<sup>7</sup> hm<sup>2</sup>, 占全国耕地总面积的近 1/5<sup>[22]</sup>. 每年因超过食品卫生标准造成的农产品损失达 150 亿元, 畜产品损失 160 亿元. 加入世贸组织后, 农产品市场国际化及“绿色食品”、“有机食品”、“安全食品”的兴起, 使重金属污染问题研究日益受到重视.

在评估重金属土壤污染的环境质量时, 一般采

用重金属的总量和有效量指标. 然而, 总量指标难以反映土壤重金属的生物有效性, 而有效量指标又受测定方法等诸多因素限制, 可比性较差. 土壤酶是一种生物催化剂, 它参与土壤系统中诸多重要代谢过程<sup>[6, 12]</sup>. 土壤酶活性易受环境中物理、化学和生物因素的影响. 环境污染条件下土壤酶活性变化很大, 可以在一定程度上反映环境状况<sup>[3, 5, 11, 14, 20]</sup>. 近年来先后提出了脲酶、转化酶、过氧化氢酶等重金属污染指标<sup>[7, 17]</sup>, 本研究以安徽省芜湖市冶炼厂附近污灌农田为例, 探讨土壤的重金属污染物含量、水稻对相关重金属的积累及土壤酶活性特征, 以及利用土

\* 国家自然科学基金项目(30470270)、国家重点基础研究发展规划项目(2004CB418503)和重要生物资源保护与利用研究安徽省重点实验室专项基金资助项目.

\*\* 通讯联系人.

2004-04-22 收稿, 2004-08-25 接受.

壤酶活性指示环境重金属污染程度的可行性,为制定工业污染物的排放标准,合理规划农业布局以及制定农业生态环境保护政策提供科学依据。

## 2 研究地区与研究方法

### 2.1 自然地理概况

芜湖市地处长江沿江平原丘陵区,年均气温 15.7~16.0℃,降雨量 1 198.1~1 413.2 mm,以 6 月最多,平均 200~300 mm,12 月最少,仅 35~60 mm,无霜期 220~240 d。芜湖冶炼厂位于市北郊,以冶炼铜为主,西临长江,北为其污灌农业区,其排污口污水总 Cu 1.96 mg·L<sup>-1</sup>,总 Zn 1.39 mg·L<sup>-1</sup>。

### 2.2 样品采集

在污灌区设 6 个样区,分别距冶炼厂 100、200、400、800、1 600 和 3 000 m。另选 10 km 外的无污染农业区作为对照(CK)。每样区均选取多个样点组成 1 个混合样,取 0~20 cm 表层土和同位水稻植株。土样装入无菌塑料袋,室内自然风干后研磨、过 120 号筛备用。采集成熟期(9 月)水稻(国丰一号)植株,各器官用自来水和无离子水冲洗、烘干、研磨、过 50 号筛备用。

### 2.3 分析方法

测定土壤的 pH 值、EC 值以及 N、P、K<sup>[8,9]</sup>;土样经硫酸-高氯酸消化后,火焰原子吸收光谱法测 Cu 和 Zn 全量<sup>[8]</sup>;土样用 0.1 mol·L<sup>-1</sup>HCl 提取后火焰原子吸收光谱法测提取态

表 1 供试土壤的化学性质

Table 1 Chemical properties of test soil (mg·kg<sup>-1</sup>)

土样号 Sample No.	1	2	3	4	5	6	CK
距离 Distance (m)	100	200	400	800	1600	3000	10000
全 N Total N (%)	0.174	0.196	0.218	0.177	0.158	0.112	0.168
全 P Total P(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %)	0.116	0.091	0.118	0.110	0.094	0.137	0.120
全 K Total K (mg·kg <sup>-1</sup> )	1.09×10 <sup>4</sup>	1.08×10 <sup>4</sup>	9.91×10 <sup>3</sup>	8.86×10 <sup>3</sup>	9.13×10 <sup>3</sup>	1.09×10 <sup>4</sup>	9.39×10 <sup>3</sup>
pH	5.82	6.05	6.41	6.28	6.60	6.65	7.36
电导率 EC (μS·cm <sup>-1</sup> )	177	146	135	125	118	96	94
全量 Cu Total Cu	182.45	103.60	89.05	47.92	46.90	32.80	17.70
全量 Zn Total Zn	98.43	54.77	49.95	42.17	44.18	40.90	40.90
提取态 Cu Extractable Cu	81.91	48.75	39.80	20.19	19.14	8.92	2.31
提取态 Zn Extractable Zn	18.22	6.58	7.28	7.88	6.17	8.19	4.55

### 3.2 土壤 Cu、Zn 污染状况

由表 1 可见,随着采样点离冶炼厂距离的增加,土壤 Cu、Zn 全量和提取态含量都明显的降低,1 号样 Cu 的全量和提取态含量分别是对照的 10.3 和 35 倍;Zn 的全量和提取态含量分别是对照的 2.4 和 4 倍,说明冶炼厂污灌区农田土壤明显地受到了 Cu、Zn 的污染。和土壤环境质量二级标准比较(Cu ≤100 mg·kg<sup>-1</sup>, Zn ≤250 mg·kg<sup>-1</sup>) (GB15618-1995),1、2 号样 Cu 含量超标,其中 1 号样 Cu 是土壤环境质量二级标准的 1.8 倍,其提取态 Cu 占全量 Cu 的 44.9%。说明冶炼厂酸性的含 Cu 废水是造

Cu 和 Zn 的含量<sup>[8]</sup>。植物用湿灰化法即三酸(HNO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-HClO<sub>4</sub>)消化后火焰原子吸收光谱法测定重金属 Cu 和 Zn 的含量<sup>[9]</sup>。

### 2.4 土壤酶活性测定

蔗糖酶采用 0.05 mol·L<sup>-1</sup> Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 滴定法<sup>[2]</sup>,以 1 g 土壤培养 24 h 后消耗 0.05 mol·L<sup>-1</sup> Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的毫升数表示;过氧化氢酶采用 0.1 mol·L<sup>-1</sup> KMnO<sub>4</sub> 容量法测定<sup>[2]</sup>,以 20 min 后 10 g 土壤消耗的 0.1 mol·L<sup>-1</sup> KMnO<sub>4</sub> 的毫升数表示;脲酶采用苯酚钠比色法测定<sup>[2]</sup>,以 24 h 内 100 g 土壤中的 NH<sub>3</sub>-N 的毫克数表示。

## 3 结果与分析

### 3.1 土样的基本理化性质

土壤 pH 值随着距冶炼厂距离的增加而由酸性渐变为中性,土壤的 EC 值在 100 m 处为 177 μS·cm<sup>-1</sup>,是 3000 m 处的 1.8 倍。可见冶炼厂污水灌溉已明显使周围土壤酸化,EC 值增高。而 pH 值的大小可显著影响土壤中重金属的存在形态和土壤对重金属的吸附量。由于土壤胶体一般带负电荷,而重金属在土壤-农作物系统中多以阳离子的形态存在,因此,一般来说,土壤 pH 值越低, H<sup>+</sup> 越多,重金属被解吸的越多,其活性就越强,从而加大了土壤中重金属向生物体内迁移的数量。

成污染的主要原因,这也是污灌区土壤的 pH 值偏低,EC 值偏高的原因。

### 3.3 Cu、Zn 在水稻体内不同部位的累积和分布

重金属进入水稻根部后首先与蛋白质、多糖类和核酸等结合,然后向植物地上部分迁移<sup>[13]</sup>。目前的研究认为,作物在重金属胁迫下会通过回避机制减少对重金属的吸收,抗性机制加强对重金属的耐受性,代谢机制减少对重金属积累和消除其毒性。为了说明元素在作物体内的移动趋势,通常利用吸收系数来说明重金属元素在作物体内的行为过程。所谓吸收系数是指作物某器官累积元素的浓度与土壤

中该元素浓度之比,它可代表作物系统中元素移动的难易程度。

由表 2 可见,Cu 在水稻体内的分布规律是根 > 茎叶 > 米,根的平均吸收系数是茎的 5.5 倍、叶的 6 倍、米的 16.6 倍,说明根系在向上部输送营养时对 Cu 产生明显的截留作用,从而可作为一种屏障使 Cu 难于向地上部分迁移,使地上部分免受其害。Zn 的分布规律是茎叶 > 根 > 米,茎的平均吸收系数是根的 1.4 倍、叶的 2.3 倍、米的 4.4 倍,说明 Zn 极易向水稻上部迁移积累。

Cu、Zn 在水稻各器官的吸收系数比值(污灌区均值),Cu 为根:茎:叶:米 = 16.6:3:2.8:1;Zn 为根:茎:叶:米 = 3.11:4.43:1.90:1,可见它们在水稻体内的迁移能力为 Zn > Cu。这一结论与许嘉琳等<sup>[16]</sup>的水稻幼苗同位素实验所得结论一致。一般认为,Zn 的吸收是主动过程,受控于代谢机制,但可能也有非代谢的被动吸收存在,尤其对于生长在高镉土壤中的作物。根系吸收的大多数镉被结合到可溶性的低分子量蛋白质上由木质部运输到作物的其他部位。作物中一半以上的镉是与带负电荷的复合体结合而存在,使得镉具有较强的移动性。Cu 是作物生长的必需营养元素之一,但在自然条件下,很少有

游离铜离子可被作物从土壤溶液中吸收<sup>[1]</sup>。尽管作物根对 Cu 的吸收机制还远未弄清,但有关研究充分证明作物可以被吸收 Cu,这一吸收机制可能是作物吸收 Cu 的能力相对较弱的原因。

同一元素在不同样点水稻体内的吸收系数不同,表现为土壤重金属浓度高的近冶炼厂处吸收系数较小,但从绝对吸收积累量看,土壤浓度高的积累的重金属多,说明水稻对重金属元素的吸收受生理功能的影响而有一定的限量;也可能是因为有毒元素在土壤溶液中浓度过高时,会对根毛表皮细胞产生毒害作用,导致根系元素吸收功能下降。研究表明,Cu、Zn 过多引起植物中毒所表现的失绿症影响作物的生长发育<sup>[1]</sup>。另外,各测试样点米中 Cu 浓度均超过国家规定的含量限定标准  $Cu \leq 10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (GB15199-94),应引起当地有关部门的重视。

从总量上看,随着土壤中重金属含量的增加,农作物体内各部分的累积量也相应增加。而不同形态的重金属在土壤中的转化能力不同,对农作物的生物有效性亦不同。按 Tessler 的连续提取法,重金属的存在形态可分为提取态、碳酸盐结合态、铁锰氧化物结合态、有机结合态和残渣态。提取态的重金属

表 2 水稻植株不同部位重金属浓度(mg·kg<sup>-1</sup>)及吸收系数

Table 2 Concentrations of heavy metals in different parts of paddy plants (mg·kg<sup>-1</sup>) and their absorption coefficients(AC)

		1	2	3	4	5	6	平均 Average	CK
Cu	根 Root	401.56	361.57	388.22	377.00	311.52	240.55	346.74	111.52
	AC <sub>根</sub>	2.20	3.49	4.36	7.87	6.64	7.33	5.3	6.30
	茎 Stem	92.50	64.90	62.47	60.34	57.42	47.70	64.22	15.86
	AC <sub>茎</sub>	0.51	0.63	0.70	1.26	1.22	1.45	0.96	0.89
	叶 Leaf	72.23	68.15	61.89	50.86	49.10	48.55	58.46	43.44
	AC <sub>叶</sub>	0.39	0.66	0.69	1.06	1.05	1.48	0.89	2.45
	米 Grain	32.86	39.07	34.40	15.88	13.97	11.40	24.59	11.97
	AC <sub>米</sub>	0.18	0.38	0.39	0.33	0.29	0.35	0.32	0.68
	Zn	根 Root	160.65	147.12	123.90	102.78	109.95	70.65	119.18
AC <sub>根</sub>		1.63	2.69	2.48	2.44	2.49	1.73	2.24	1.54
茎 Stem		217.08	238.15	187.78	179.32	104.85	90.35	169.59	81.15
AC <sub>茎</sub>		2.20	4.35	3.76	4.25	2.37	2.21	3.19	2.01
叶 Leaf		86.20	79.43	68.92	65.57	65.97	58.80	70.82	31.76
AC <sub>叶</sub>		0.88	1.45	1.38	1.55	1.49	1.44	1.37	0.79
米 Grain		39.10	41.94	37.79	37.96	33.59	29.65	36.64	29.08
AC <sub>米</sub>		0.39	0.77	0.76	0.90	0.76	0.72	0.72	0.72

表 3 土壤中不同态 Cu、Zn 浓度(X)与水稻各器官 Cu、Zn 浓度(Y)回归分析

Table 3 Regression analysis of Cu and Zn concentration in soils and different parts of paddy plants

	Cu 回归方程 Regression equation	相关系数 (r) Correlation coefficient	Zn 回归方程 Regression equation	相关系数 (r) Correlation coefficient
提取态 Extractable	$Y_{根} = 286.64 + 1.649x$ $Y_{茎} = 44.475 + 0.542x$ $Y_{叶} = 44.964 + 0.370x$ $Y_{米} = 11.504 + 0.359x$	$r_{根} = 0.725$ $r_{茎} = 0.957^{**}$ $r_{叶} = 0.951^{**}$ $r_{米} = 0.788$	$Y_{根} = 82.474 + 4.130x$ $Y_{茎} = 123.067 + 5.235x$ $Y_{叶} = 56.970 + 1.558x$ $Y_{米} = 34.355 + 0.261x$	$r_{根} = 0.589$ $r_{茎} = 0.404$ $r_{叶} = 0.711$ $r_{米} = 0.275$
全量 Total	$Y_{根} = 283.908 + 0.750x$ $Y_{茎} = 42.315 + 0.261x$ $Y_{叶} = 43.820 + 0.164x$ $Y_{米} = 10.827 + 0.164x$	$r_{根} = 0.686$ $r_{茎} = 0.962^{**}$ $r_{叶} = 0.934^{**}$ $r_{米} = 0.751$	$Y_{根} = 55.519 + 1.156x$ $Y_{茎} = 85.618 + 1.525x$ $Y_{叶} = 48.604 + 0.403x$ $Y_{米} = 31.736 + 0.090x$	$r_{根} = 0.782$ $r_{茎} = 0.558$ $r_{叶} = 0.874^{*}$ $r_{米} = 0.449$

\*  $P < 0.05$ ; \*\*  $P < 0.01$ .

(包括溶解态的重金属)迁移能力最强,具有生物有效性,有的研究中称其为有效态.从我们对水稻各器官 Cu、Zn 浓度与土壤中不同态 Cu、Zn 浓度进行的回归分析(表 3, 本文所有数据分析均不包括对照)表明,水稻茎、叶 Cu 浓度与土壤中 Cu 的浓度密切相关,而与土壤中提取态 Cu 的相关性多数大于与全量 Cu 的相关性.有资料报道,农作物中 Cu 的积累与土壤中的全量 Cu 无明显的相关关系<sup>[15]</sup>.我们的研究表明,水田生长的水稻中的 Cu 积累与土壤中 Cu 的浓度有关,其原因可能是水的存在利于水稻对 Cu 的吸收;另外,也和土壤中提取态 Cu 较高有关.

### 3.4 土壤酶活性

土壤酶在土壤系统的物质和能量转运过程中起着不可忽视的作用,蔗糖酶活性可以反映土壤中碳的转化和吸收强度;脲酶和氨的产生有关;过氧化氢酶能分解过氧化氢.它们对重金属十分敏感,因此可作为土壤污染的指标之一.土壤过氧化氢酶、脲酶和蔗糖酶活性见表 4.

表 4 土壤酶活性

Table 4 Soil enzyme activities

	1	2	3	4	5	6	CK
蔗糖酶 Sucrase	5.08	6.12	6.21	5.67	6.81	6.20	6.14
脲酶 Urease	8.60	11.20	11.8	16.40	17.8	19.8	24.8
过氧化氢酶 Catalase	1.07	1.31	1.39	1.37	1.34	1.14	1.24

我们对它们进行了  $t$  检验,脲酶的  $t$  值为 5.911,  $P < 0.01$ . 可见污灌区脲酶活性和对照具有显著差异,对重金属污染敏感,而蔗糖酶和过氧化氢酶与对照差异不显著.脲酶活性与土壤中 Cu、Zn 全量和提取态含量的相关分析表明,其和 Cu 的全量和提取态含量均呈极显著负相关,相关系数分别为  $-0.926 (P < 0.01)$  和  $-0.949 (P < 0.01)$ ;脲酶和 Zn 的相关性不明显.这说明脲酶对 Cu 的污染非常敏感,特别是对提取态 Cu,其活性大小能够反映土壤的 Cu 污染程度.这一结果与史长青<sup>[10]</sup>的研究结果一致.土壤酶活性改变可能发生在多个环节上,污染物直接作用于酶分子本身,改变酶的构象,使酶的活性中心受抑制;污染物干扰了土壤微生物的种类组成、生物量和活性,从而改变了土壤微生物分泌、释放和修饰酶的强度;污染物影响到作物的代谢活力,使根分泌、释放酶的能力受影响;污染物改变了土壤中某些化感物质的浓度和活性,而化感物质对土壤酶活性有影响<sup>[18]</sup>等等.本研究中 Cu 污染使脲酶活性显著改变,这种改变究竟发生在哪一个或几个环

节上还需要进一步研究.

另外,重金属对土壤酶活性的影响因土壤类型、重金属种类、浓度以及土壤酶的种类而异<sup>[4]</sup>.如何寻找一个敏感的、普适的指标,而无需对土壤的多个参数进行测定和对多种处理进行比较,既是土壤酶学研究的主要努力方向之一,也是土壤重金属污染监测的重要课题.

## 4 结 论

4.1 冶炼厂污水灌溉造成了附近农田的 Cu、Zn 污染,其中 Cu 的污染较严重,并一定程度地导致了土壤的酸化.

4.2 水稻对 Cu 的累积是根 > 茎叶 > 米,对 Zn 的累积是茎叶 > 根 > 米;相比较而言,水稻对 Cu、Zn 的转运能力是 Zn > Cu. 根作为一种屏障使 Cu 难于向上部迁移,使地上部分免受其害;水稻茎、叶和土壤中 Cu 的浓度密切相关;应该注意的是各样点米中 Cu 含量的超标现象.

4.3 本文的研究结果显示脲酶对重金属 Cu 污染敏感,其活性大小与土壤中 Cu 的全量和提取态含量相关性显著,可用来指示农田土壤是否受到 Cu 污染以及污染的相对程度.

## 参考文献

- 1 Chen H-M(陈怀满), Chen N-C(陈能场), Chen Y-X(陈英旭), et al. 1996. Heavy Metal Pollution in Soil-Plant System. Beijing: Science Press. 182~192, 288~292(in Chinese)
- 2 Guan S-Y(关松荫). 1987. Soil Enzymology and Its Research Methods. Beijing: Agricultural Press. 1~46, 274~340(in Chinese)
- 3 He W-X(和文祥), Chen H-M(陈会明), Feng G-Y(冯贵颖), et al. 2000. Study on enzyme index in soil polluted by mercury, chromium and arsenic. *Acta Sci Circ* (环境科学学报), 20(3): 338~343(in Chinese)
- 4 He W-X(和文祥), Zhu M-E(朱铭毅), Zhang Y-P(张一平). 2000. Recent advance in relationship of soil enzymes and heavy metals. *Soil Environ Sci* (土壤与环境), 9(2): 139~142(in Chinese)
- 5 He W-X(和文祥), Ma A-S(马爱生), Wu Y-J(武永军), et al. 2004. Effect of arsenic on soil urease activity. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 15(5): 895~898(in Chinese)
- 6 Jia J-W(贾继文), Nie J-H(聂俊华), Li X-H(李絮花), et al. 2001. Study on the relationship between the soil physical-chemical properties and soil enzymatic activity of plastic greenhouse. *J Shandong Agric Univ* (Nat Sci) (山东农业大学学报·自然科学版), 32(4): 427~432(in Chinese)
- 7 Li B-W(李博文), Liu Q-S(刘树庆). 2000. Relations between enzymatic activities and contents of Cadmium, Zinc and Lead in meadow cinnamon soil of heavy metal compound pollution. *J Jilin Agric Sci* (吉林农业科学), 25(1): 38~41(in Chinese)
- 8 Nanjing Agricultural College. 1980. Soil Agric-Chemical Analysis. Beijing: Agricultural Press. 104~227(in Chinese)
- 9 Nanjing Institute of Soil Science, Academia Sinica. 1978. Soil Physical-Chemical Analysis. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press. 68~361(in Chinese)
- 10 Shi C-Q(史长青). 1995. Effect of heavy metal pollution on paddy

- soil enzyme activities. *Chin J Soil Sci* (土壤通报), 26(1): 34~35 (in Chinese)
- 11 Teng Y(滕应), Huang C-Y(黄昌勇), Long J(龙键), et al. 2003. Studies on soil enzymatic activities in areas contaminated by tailings from Cu mine. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 14(11): 1976~1980(in Chinese)
- 12 Verstraete W, Voets JP. 1977. Soil microbial and biochemical characteristics in relation to soil management and fertility. *Soil Biol Biochem*, 9: 253~258
- 13 Wang X(王新), Wu Y-Y(吴燕玉). 1998. Study on absorptive property of different crops to the compound pollution of heavy metals. *Agro-Environ Prot* (农业环境保护), 17(5): 193~196(in Chinese)
- 14 Wang Y-B(王友保), Zhang L(张莉), Liu D-Y(刘登义). 2003. Relationship among soil enzyme activities, vegetation state, and soil chemical properties of coal cinder yard. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 14(1): 110~112(in Chinese)
- 15 Wang X-R(王晓蓉). 1998. Environmental Chemistry. Nanjing: Nanjing University Press. 225(in Chinese)
- 16 Xu J-L(许嘉琳), Yang J-R(杨居荣). 1995. Heavy Metals in Land Ecosystem. Beijing: China Environmental Science Press. 157~206 (in Chinese)
- 17 Yin J(尹君), Gao R-T(高如泰), Liu W-J(刘文菊), et al. 1999. Soil enzymatic activities and Cd pollution assessment in soil. *Agro-Environ Prot* (农业环境保护), 18(3): 130~132(in Chinese)
- 18 Yuan G-L(袁光林), Ma R-X(马瑞霞), Liu X-F(刘绣芬), et al. 1998. Effects of allelochemicals on uricase activity. *Environ Sci* (环境科学), 19(2): 55~57(in Chinese)
- 19 Zhang N-M(张乃明). 1999. The present situation and prospect of research on heavy metal pollution in soil-plant systems. *Adv Environ Sci* (环境科学进展), 8(4): 30~33(in Chinese)
- 20 Zhou L-K(周礼恺), Zhang Z-M(张志明), Cao C-J(曹承锦), et al. 1985. Heavy metal pollution and enzymatic activity of soil. *Acta Sci Circ* (环境科学学报), 5(2): 176~183(in Chinese)
- 21 Zhou Q-X(周启星). 1995. Ecology of Combined Pollution. Beijing: China Environmental Science Press. 5~6(in Chinese)
- 22 Zu Y-Q(祖艳群), Li Y(李元). 2003. Phytoremediation technology of soil polluted by heavy metals. *Yunnan Environ Sci* (云南环境科学), 22(supp.): 58~61(in Chinese)

**作者简介** 王广林,男,1970年生,在职硕士生,现主要从事环境污染生态学的研究,已发表论文4篇. E-mail: lgw93@sina.com

## 欢迎订阅 2005《南京林业大学学报(自然科学版)》

CN32-1161/S ISSN1000-2006 国内外公开发行 邮发代号:28-16

《南京林业大学学报(自然科学版)》由南京林业大学主办,创刊于1958年,是以林业为主的综合类学术期刊.本刊坚持的一贯宗旨是鼓励学术创新,推动科技成果转化,促进学术交流和发

**主要内容** 生物学、森林地学、林学基础理论、森林培育与经营管理、森林资源与环境、森林与自然保护、水土保持与荒漠化防治、木材工业与技术科学、林业机械与电子工程、林产化学与工业、园林植物与风景园林、林业经济与管理、森林工程、土木工程等以及有关边缘学科的研究成果.另设置专栏集中报道重点项目、基金项目及重大课题的研究成果.

**刊物地位** 国家科技部中国科技论文统计源期刊;中国科学引文数据库来源期刊;中国学术期刊综合评价数据库来源期刊;中国自然科学核心期刊;《中国学术期刊(光盘版)》首批入编期刊、万方数据(China info)系统入编科技期刊群.被国际国内著名检索刊物如《CA》、《FA》、《FPA》、《中国林业文摘》、《中国生物学文摘》、《竹类文摘》等数据库收录.

1992年以来,《南京林业大学学报(自然科学版)》先后获得全国优秀科技期刊三等奖、全国高校优秀学术期刊一等奖、江苏省优秀自然科学学报一等奖等多项荣誉,2001年入选“中国期刊方阵”,2002年入选“江苏期刊方阵”,并获优秀期刊称号.

**读者范围** 大中专院校师生,科研院所研究人员.

本刊为双月刊,单月末出版.大16开本,每期定价6元,全年36元.

全国各地邮局均可订阅,邮发代号:28-16;国外总发行:中国国际图书贸易总公司(北京399信箱),发行代号:Q 552

也可通过全国非邮发中心联合征订服务部办理订阅手续:天津市大寺泉集北里别墅17号300381

如有需要近年过刊的读者请直接与本刊编辑部联系:210037南京市龙蟠路南京林业大学学报编辑部

电话:025-5428247 E-mail: xuebao@njfu.edu.cn