

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

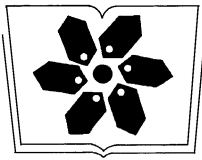
Acta Ecologica Sinica



第31卷 第23期 Vol.31 No.23 **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 23 期

2011 年 12 月 (半月刊)

目 次

不同海拔高度高寒草甸光能利用效率的遥感模拟·····	付 刚,周宇庭,沈振西,等 (6989)
天山雪岭云杉大气花粉含量对气温变化的响应·····	潘燕芳,阎 顺,穆桂金,等 (6999)
春季季风转换期间孟加拉湾的初级生产力·····	刘华雪,柯志新,宋星宇,等 (7007)
降水量对川西北高寒草甸牦牛粪分解速率的影响 ·····	吴新卫,李国勇,孙书存 (7013)
基于 SOFM 网络对黄土高原森林生态系统的养分循环分类研究·····	陈 凯,刘增文,李 俊,等 (7022)
不同油松种源光合和荧光参数对水分胁迫的响应特征 ·····	王 琰,陈建文,狄晓艳 (7031)
盐生境下硅对坪用高羊茅生物学特性的影响 ·····	刘慧霞,郭兴华,郭正刚 (7039)
高温胁迫对不同种源希蒙得木叶片生理特性的影响·····	黄激激,张念念,胡庭兴,等 (7047)
黄土高原水土保持林对土壤水分的影响 ·····	张建军,李慧敏,徐佳佳 (7056)
青杨雌雄群体沿海拔梯度的分布特征·····	王志峰,胥 晓,李霄峰,等 (7067)
大亚湾西北部春季大型底栖动物群落特征·····	杜飞雁,林 钦,贾晓平,等 (7075)
湛江港湾浮游桡足类群落结构的季节变化和影响因素·····	张才学,龚玉艳,王学锋,等 (7086)
台湾海峡鲈鱼种群遗传结构·····	张丽艳,苏永全,王航俊,等 (7097)
洱海入湖河流弥苴河下游氮磷季节性变化特征及主要影响因素·····	于 超,储金宇,白晓华,等 (7104)
转基因鱼试验湖泊铜锈环棱螺种群动态及次级生产力·····	熊 晶,谢志才,蒋小明,等 (7112)
河口湿地植物活体-枯落物-土壤的碳氮磷生态化学计量特征 ·····	王维奇,徐玲琳,曾从盛,等 (7119)
EDTA 对铅锌尾矿改良土壤上玉米生长及铅锌累积特征的影响 ·····	王红新,胡 锋,许信旺,等 (7125)
不同包膜控释尿素对农田土壤氮挥发的影响·····	卢艳艳,宋付朋 (7133)
垄作栽培对高产田夏玉米光合特性及产量的影响·····	马 丽,李潮海,付 景,等 (7141)
DCE 不同施用时间对小麦生长期 N ₂ O 排放的影响 ·····	纪 洋,余 佳,马 静,等 (7151)
氮肥、钙肥和盐处理在冬小麦融冻胁迫适应中的生理调控作用 ·····	刘建芳,周瑞莲,赵 梅,等 (7161)
东北有机及常规大豆对环境影响的生命周期评价 ·····	罗 燕,乔玉辉,吴文良 (7170)
土壤施硒对烤烟生理指标的影响·····	许自成,邵惠芳,孙曙光,等 (7179)
不同种植方式对花生田间小气候效应和产量的影响·····	宋 伟,赵长星,王月福,等 (7188)
西花蓟马的快速冷驯化及其生态学代价·····	李鸿波,史 亮,王建军,等 (7196)
温度对麦长管蚜体色变化的影响·····	邓明明,高欢欢,李 丹,等 (7203)
不同番茄材料对 B 型烟粉虱个体发育和繁殖能力的影响 ·····	高建昌,郭广君,国艳梅,等 (7211)
基于生态系统受扰动程度评价的白洋淀生态需水研究·····	陈 贺,杨 盈,于世伟,等 (7218)
两种典型养鸡模式的能值分析 ·····	胡秋红,张力小,王长波 (7227)
四种十八碳脂肪酸抑藻时-效关系分析的数学模型设计 ·····	何宗祥,张庭廷 (7235)
流沙湾海草床重金属富集特征·····	许战州,朱艾嘉,蔡伟叙,等 (7244)
基于 QuickBird 的城市建筑景观格局梯度分析 ·····	张培峰,胡远满,熊在平,等 (7251)
景观空间异质性及城市化关联——以江苏省沿江地区为例·····	车前进,曹有挥,于 露,等 (7261)
基于 CVM 的太湖湿地生态功能恢复居民支付能力与支付意愿相关研究·····	于文金,谢 剑,邹欣庆 (7271)
专论与综述	
北冰洋海域微食物环研究进展·····	何剑锋,崔世开,张 芳,等 (7279)
城市绿地的生态环境效应研究进展·····	苏泳娴,黄光庆,陈修治,等 (7287)
城市地表灰尘中重金属的来源、暴露特征及其环境效应 ·····	方凤满,林跃胜,王海东,等 (7301)
研究简报	
三峡库区杉木马尾松混交林土壤 C、N 空间特征 ·····	林英华,汪来发,田晓堃,等 (7311)
广州小斑螟发生与环境因子的关系·····	刘文爱,范航清 (7320)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 336 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 39 * 2011-12



封面图说:黄河的宁夏段属于中国的半荒漠地区,这里气候干燥、降水极少(250mm 以下)、植被缺乏、物理风化强烈、风力作用强劲、其蒸发量超过降水量数十倍。人们从黄河中提水引水灌溉土地,就近形成了荒漠中的绿洲。有水就有生命,有水就有绿色。这种独特的条件形成了人与沙较量的生态关系——不是人逼沙退就是沙逼人退。

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

许自成, 邵惠芳, 孙曙光, 郑聪, 汪键, 闫铁军. 土壤施硒对烤烟生理指标的影响. 生态学报, 2011, 31(23): 7179-7187.

Xu Z C, Shao H F, Sun S G, Zheng C, Wang J, Yan T J. Effects of selenium added to soil on physiological indexes in flue-cured tobacco. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(23): 7179-7187.

土壤施硒对烤烟生理指标的影响

许自成¹, 邵惠芳¹, 孙曙光², 郑 聪^{1,3}, 汪 键², 闫铁军²

(1. 河南农业大学烟草学院, 郑州 450002; 2. 湖北中烟工业公司, 武汉 430051;

3. 福建省武夷山烟草分公司, 武夷山 354300)

摘要:以烤烟品种 K326 盆栽试验为基础, 研究了不同浓度 Se 对烤烟生长过程中生理特性、烤烟叶片硒含量及硒积累速率的影响。结果表明: 低浓度 Se (≤ 8 mg/kg) 对烤烟叶片中叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素 a + b 和类胡萝卜素含量有促进作用, 可提高烤烟叶片中 SOD、POD 活性; 高浓度硒 (≥ 12 mg/kg) 降低了烤烟叶片 SOD、POD 活性, 烟株生长受到抑制甚至死亡。在适宜的硒浓度范围内, 烤烟 MDA 含量有所降低, 缓解了膜脂的过氧化程度; POD 活性随着生育期的延长而提高; 烤烟生长前期的 SOD 活性高于后期; 烤烟生长中期的 MDA 含量明显低于前期和后期。随着土壤中硒含量的增加, 烤烟叶片中的硒含量逐渐递增, 而硒在烤烟叶片中的积累速率呈现出先增高后降低的趋势。

关键词: 硒; 烤烟; 生理特性; 土壤

Effects of selenium added to soil on physiological indexes in flue-cured tobacco

XU Zicheng¹, SHAO Huifang¹, SUN Shuguang², ZHENG Cong^{1,3}, WANG Jian², YAN Tiejun²

1 College of Tobacco Science, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China

2 China Tobacco Hubei Industrial Corporation, Wuhan 430051, China

3 Wuyishan Tobacco Company of Fujian, Wuyishan Fujian 354300, China

Abstract: Selenium is an essential trace element for humans. It plays important roles in eliminating peroxide, thereby protecting cells from damage and delaying aging. Se also has significant effects on crop growth and quality; appropriate amounts of Se can enhance resistance, increase crop yields, and improve many quality attributes of crops. When supplied at the right concentrations, Se not only increases the growth and quality of flue-cured tobacco (*Nicotiana tobacum*), but also decreases the amount and toxicity of harmful substances in tobacco smoke, especially tar. Therefore, Se-rich tobacco may alleviate the harmful effects of smoking on the body by suppressing tumors. The aim of these experiments was to produce Se-rich tobacco leaves, which have the potential to improve the safety of tobacco raw materials. We tested the effects of Se on flue-cured tobacco (variety K326) grown in pots. Se was added to soil at seven different concentrations; 0, 2, 5, 8, 12, 16, and 24 mg Se/kg soil. We evaluated the physiological properties, Se content, and Se accumulation rate of tobacco during the growing stage. The results showed that increasing concentrations of Se in the soil were associated with greater growth inhibition or even death of tobacco plants. At concentrations of Se less than 8 mg/kg soil, the survival rates of tobacco were 100%. In contrast, at Se concentrations of 12, 16, and 24 mg/kg soil, the survival rate of tobacco plants was 81.25, 75, and 56.25%, respectively. At low concentrations (< 12 mg Se/kg soil), Se promoted tobacco growth and resulted in greater accumulation of above- and below-ground dry matter, compared with those of the control ($P < 0.05$). At higher concentrations (> 16 mg Se/kg soil), Se resulted in decreased dry matter compared with the control ($P < 0.05$). These results demonstrated that Se satisfies the Bertrand biological dose law, in that low concentrations promoted plant

基金项目: 湖北省科技攻关项目 (2006AA201C73)

收稿日期: 2010-10-27; 修订日期: 2011-07-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zcxu@sohu.com

growth while high concentrations had an inhibitory effect. Low concentrations of Se (≤ 8 mg Se/kg soil) were associated with increased concentrations of chlorophyll a, chlorophyll b, chlorophyll a+b, and carotenoids in flue-cured tobacco leaves, and increased activities of superoxide dismutase (SOD) and peroxidase (POD). Higher concentrations of Se (≥ 12 mg Se/kg soil) decreased SOD and POD activities, which could lead to inhibition of tobacco growth or even plant death. In an appropriate range of Se concentrations, the concentration of malondialdehyde (MDA; a breakdown product of lipid peroxidation) decreased with increasing soil concentrations of Se, indicating that Se alleviated membrane peroxidation. In addition, POD activity increased and SOD activity decreased during the growth period, and the MDA content was lower in the middle growth stage than in the earlier and later growth stages. The Se content in flue-cured tobacco leaves increased with increasing concentrations of Se in the soil. The rate of Se accumulation increased at the early growth stage and then decreased. The maximum Se accumulation rate was observed at a concentration range of 5—12 mg Se/kg soil. Moreover, there were strong correlations between Se content in flue-cured tobacco and most other physical indexes.

Key Words: selenium; flue-cured tobacco; physiological properties; soil

自 1973 年硒被联合国卫生组织认定为人体必需的微量元素之一以后,关于硒的研究越来越受到关注。据报道,硒是动物和人体谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)成分及其家族活性部位的辅基,具有清除过氧化物、防止细胞损伤、延缓细胞衰老的作用^[1]。硒对作物生长发育及品质具有重要影响,适量的硒能增强作物的抗性,提高产量,并有效改善作物品质^[2-3]。

烟草是一种叶用经济作物,其生长除了需要大量的氮、磷和钾元素以外,还需要一些微量元素如硒、锌、铜、锰、铁等。研究表明:适量的硒不仅能促进烤烟生长,提高烟叶的质量,还能降低烟气中有害物质尤其是焦油的含量和毒性,抑制肿瘤的产生,减轻吸烟对人体健康的危害^[4]。有关硒对烤烟作用的研究,主要集中在烤烟对硒的吸收及其对生长发育的影响,硒对烤烟的生理生化方面的研究报道较少^[5-6]。本试验以烤烟为材料,采用土壤添加不同浓度硒的盆栽试验方法,对烤烟生长过程中不同时期的生理特性的影响进行比较分析,旨在为生产富硒烟叶以提高烤烟原料的安全性提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

供试土壤类型为褐土,质地为砂壤土,土壤全硒量为 0.16 $\mu\text{g/g}$,有机质为 2.02%,碱解氮为 64.3 mg/kg,速效磷为 17.5 mg/kg,速效钾为 159.5 mg/kg,pH 值为 7.21,阳离子交换量 CEC 为 18.4 cmol/kg。供试烤烟品种为 K326。盆栽试验采用内径 40 cm、高 35 cm 的塑料盆,每盆装土 20.0 kg。试验用硒为分析纯亚硒酸钠。

试验共设计 7 个处理,Se 浓度分别为 T1(0 mg/kg,对照)、T2(2 mg/kg)、T3(5 mg/kg)、T4(8 mg/kg)、T5(12 mg/kg)、T6(16 mg/kg)、T7(24 mg/kg),即每盆分别施用硒肥 0、0.04、0.10、0.16、0.24、0.32、0.48 mg/kg。每个处理各种 16 株(盆)。每盆施纯 N 6.0 g,各处理 N:P₂O₅:K₂O 比例一致,均为 1:2:2.5。其中氮肥作为基肥施入 2/3,25d 后再以追肥的形式施入另外 1/3。

1.2 样品采集及指标测定方法

1.2.1 样品采集

分别在烤烟移栽后的第 30、45、60、75 天,随机取各处理烟株的第 6 片叶(自上而下),立即放入低温冰箱中待用。

1.2.2 指标测定方法

叶绿素含量测定参照朱广廉等^[7]的方法进行;SOD 活性测定参照王爱国^[8]的方法进行;POD 活性采用愈创木酚法^[9]测定;丙二醛(MDA)含量测定采用硫代巴比妥酸加热显色法,单位表示为 $\mu\text{mol/g}$ 鲜重;Se 含量采用 DAN 荧光分光光度法^[10]测定。

1.2.3 统计分析方法

试验数据处理采用 SPSS17.0 统计软件分析。

2 结果与分析

2.1 不同施硒量对烤烟存活率的影响

低浓度的硒能促进烤烟生长,而高浓度硒则会抑制烤烟生长,甚至会造成死亡^[11]。施入硒肥 7d 后进行调查(表 1),结果表明:随着硒浓度的增加,烤烟出现了不同程度的死亡现象,当土壤硒浓度 ≤ 8 mg/kg 时,各处理烟株存活率均为 100%;当土壤硒浓度 ≥ 12 mg/kg 时,各处理烟株存活率分别是 81.25%、75%、56.25%,表明烟株生长出现了抑制和死亡。

表 1 施硒对烤烟存活率的影响

Table 1 Effects of selenium on the survival rate of flue-cured tobacco

处理 Treatments	硒浓度 Concentration of Se/(mg/kg)	每盆硒含量 Content of Se per pot/g	存活株数 Survival plants	存活率 Survival rate/%
T1	0	0.000	16	100.00
T2	2	0.087	16	100.00
T3	5	0.219	16	100.00
T4	8	0.350	16	100.00
T5	12	0.523	13	81.25
T6	16	0.701	12	75.00
T7	24	1.051	9	56.25

2.2 不同施硒量对烤烟生物量的影响

在烤烟生长的不同时期进行调查(表 2)表明:低浓度硒对烤烟生长有促进作用,当土壤硒浓度在 12 mg/kg 以下时,烤烟地上部和地下部的干物质积累,与对照相比均有所增加($P<0.05$);当土壤硒浓度 ≥ 16 mg/kg 时,不同时期地上部和地下部的干物质质量均较对照有所下降($P<0.05$)。当土壤硒浓度为 8 mg/kg 时,每个时期地上部的干物质积累量达到最大值,与对照相比分别增加了 35.68%、26.18%、50.95%、41.05%;地下部干重在第 30、60 和 75 天时达到了最大值,与对照相比分别增加了 73.44%、10.55%、26.73%。

表 2 硒对烤烟地上部生物量的影响/g

Table 2 Influence of Se on overground part biomass of flue-cured tobacco

硒浓度/(mg/kg) Concentration of Se	移栽后天数 Days after transplanting/d							
	30		45		60		75	
	鲜重 FW *	干重 DW **	鲜重 FW	干重 DW	鲜重 FW	干重 DW	鲜重 FW	干重 DW
0	15.65e	2.70d	84.23e	11.88cd	265.10d	23.32d	787.24d	80.31d
2	17.35d	2.92c	86.25d	12.00c	344.87b	29.58b	946.38b	105.00b
5	18.25c	3.01c	100.51b	13.22b	346.26b	29.23b	928.01c	98.74c
8	23.35a	4.02a	112.21a	14.99a	367.44a	35.10a	956.55a	113.28a
12	20.15b	3.51b	96.25c	10.78d	303.73c	26.43c	951.35ab	111.08a
16	12.15f	2.26e	71.67f	7.67e	150.38e	14.76e	696.99e	73.46e
24	7.62g	1.06f	65.56g	7.50e	111.02f	10.87f	327.70f	37.34f

* Fresh weight; ** Dry weight

2.3 不同施硒量对烤烟叶绿素和类胡萝卜素含量的影响

由表 4 和表 5 可以看出,在整个生长过程中,叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素 a+b 以及类胡萝卜素含量均随着土壤中硒浓度的增加表现出先升高后降低的趋势,说明在适宜的浓度范围内,微量元素硒能够促进烤烟生长过程中叶绿素和类胡萝卜素含量的增加。当土壤硒浓度为 8 mg/kg 时,叶绿素 a 的含量在不同时期与对照相比分别增加了 5.54%、28.75%、31.99%、6.57%,叶绿素 b 的含量分别增加了 26.75%、54.14%、41.16%、4.01%,叶绿素 a+b 的含量分别增加了 14.75%、35.73%、34.54%、5.86%,胡萝卜素含量分别增加了

159.9%、138.02%、41.16%、19.41%；当土壤硒浓度 ≥ 16 mg/kg 的时候,各时期的叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素 a+b 和类胡萝卜素含量开始下降;当土壤硒浓度达到 24 mg/kg 时,烤烟叶片中叶绿素和类胡萝卜素含量与对照的差异达到 5% 显著水平。

表 3 硒对烤烟地下部生物量的影响/g

Table 3 Influence of Se on underground part biomass of flue-cured tobacco

硒浓度/(mg/kg) Concentration of Se	移栽后天数 Days after transplanting/d							
	30		45		60		75	
	鲜重 FW	干重 DW	鲜重 FW	干重 DW	鲜重 FW	干重 DW	鲜重 FW	干重 DW
0	3.11e	0.64d	12.92e	2.33c	43.76d	7.87c	85.80b	16.76c
2	3.33d	0.68d	19.41b	2.70b	54.85b	8.17b	91.47a	18.80b
5	3.51c	0.73c	21.49a	3.70a	53.03b	8.03bc	90.70a	18.75b
8	5.49a	1.11a	16.89c	2.64b	61.05a	8.70a	92.17a	21.24a
12	4.92b	1.00b	14.80d	1.92d	47.40c	8.04bc	87.44b	17.04c
16	2.71f	0.51e	8.43f	1.58e	23.59e	5.28d	75.99c	12.12d
24	1.73g	0.36f	8.57f	1.59e	19.33f	4.33e	31.95c	6.77e

表 4 硒对烤烟叶绿素和类胡萝卜素含量的影响/(mg/kg 鲜重)

Table 4 Influence of Se on chlorophyll and carotenoid content in flue-cured tobacco leaves

硒浓度 Concentration of Se /(mg/kg)	移栽后天数 Days after transplanting/d							
	30				45			
	叶绿素 a Chl a	叶绿素 b Chl b	叶绿素 a+b Chl a+b	类胡萝卜素 Carotenoid	叶绿素 a Chl a	叶绿素 b Chl b	叶绿素 a+b Chl a+b	类胡萝卜素 Carotenoid
0	0.821b	0.637d	1.458c	0.068de	0.814d	0.311c	1.125d	0.124d
2	0.838ab	0.760b	1.598b	0.073d	0.882c	0.354bc	1.236c	0.144c
5	0.862a	0.720c	1.582b	0.152b	0.963b	0.368b	1.331b	0.222b
8	0.866a	0.807a	1.673a	0.177a	1.048a	0.479a	1.527a	0.295a
12	0.828b	0.746bc	1.573b	0.110c	0.855c	0.405b	1.260c	0.146c
16	0.751d	0.632d	1.382d	0.058e	0.732e	0.247d	0.979e	0.118d
24	0.785c	0.606d	1.391d	0.058e	0.687f	0.248d	0.935e	0.092e

表 5 不同施硒量对烤烟叶绿素和类胡萝卜素含量的影响/(mg/kg 鲜重)

Table 5 Influence of Se on chlorophyll and carotenoid content in flue-cured tobacco leaves

硒浓度 Concentration of Se /(mg/kg)	移栽后天数 Days after transplanting/d							
	60				75			
	叶绿素 a Chl a	叶绿素 b Chl b	叶绿素 a+b Chl a+b	类胡萝卜素 Carotenoid	叶绿素 a Chl a	叶绿素 b Chl b	叶绿素 a+b Chl a+b	类胡萝卜素 Carotenoid
0	0.934b	0.366bc	1.300c	0.136c	1.163c	0.457c	1.620d	0.170d
2	0.998b	0.368bc	1.366c	0.152b	1.171c	0.491ab	1.662c	0.176cd
5	1.045b	0.384b	1.429c	0.155b	1.207b	0.474bc	1.681c	0.222a
8	1.233a	0.517a	1.749a	0.173a	1.239b	0.475b	1.715b	0.203b
12	1.209a	0.381b	1.591b	0.162b	1.289a	0.500a	1.789a	0.187c
16	0.773c	0.303d	1.075d	0.113d	0.949d	0.412d	1.361e	0.168d
24	0.785c	0.338c	1.123d	0.120d	0.949d	0.392e	1.341e	0.146e

2.4 不同施硒量对烤烟逆境生理指标的影响

2.4.1 不同时期 POD 活性比较

POD 是广泛存在于植物体内的一种活性较高的保护酶,它对于维持植株体内活性氧代谢平衡,清除过量活性氧,保持细胞膜稳定性起重要作用^[12]。由图 1 可知,当土壤硒浓度 ≤ 8 mg/kg 时,每个时期的 POD 活性都随着硒浓度的增加而升高,且在第 30 天和第 60 天的时候每个处理均与对照形成了显著差异,而第 45 天

和第 75 天的时候,只有 T4 处理与对照间的差异在 5% 水平上达到显著;当土壤硒浓度 >8 mg/kg 时,每个时期不同处理的 POD 活性随着硒浓度的增加而降低,但 T5 在每个时期里与对照的差异达到了显著水平;移栽后第 60 天和第 75 天 POD 活性的变化幅度明显大于第 30 天和第 45 天。在不同时期的比较中,除了 T5 处理外,其余每个处理的 POD 活性均是第 75 天 $>$ 第 60 天 $>$ 第 45 天 $>$ 第 30 天,说明烤烟 POD 活性随着生长期的延长而增加。

2.4.2 不同时期 SOD 活性比较

当植物所处的生存环境发生变化时,体内 SOD 活性都发生相应的变化,对生物体内的正常代谢起到保护作用^[12]。由图 2 可以看出,当土壤硒浓度 ≤ 8 mg/kg 时,4 个时期的 SOD 活性随着 Se 浓度的增加而升高,且均与对照形成显著差异,这与 POD 活性变化趋势一致;当土壤硒浓度 >8 mg/kg 时,4 个时期的 SOD 活性随着 Se 浓度的增加而降低,除了第 60 天的 T7 处理外,其余 4 个时期的每个处理均与对照之间的差异达到显著水平。在不同时期的比较中,T1、T2、T3、T4 和 T65 个处理的 SOD 活性均表现为:第 45 天 $>$ 第 30 天 $>$ 第 75 天 $>$ 第 60 天,T5 和 T72 个处理则表现为:第 45 天 $>$ 第 30 天 $>$ 第 60 天 $>$ 第 75 天,在不同时期之间的差异性比较中,只有第 3 时期和第 4 时期之间的差异未达到显著水平,其余各个时期之间的差异均达到显著水平。

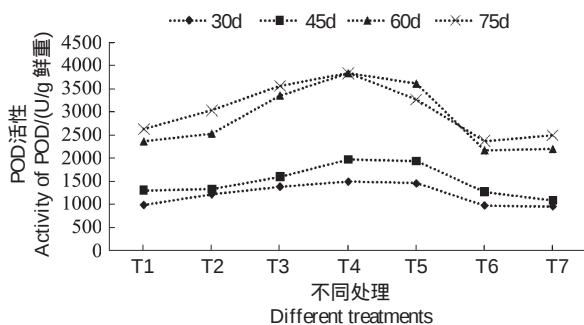


图 1 不同时期各个处理 POD 活性的比较

Fig. 1 POD activity of treatments in different periods

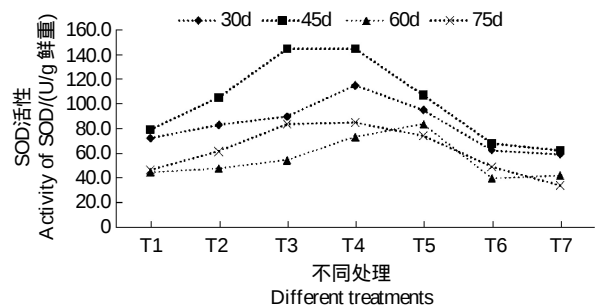


图 2 不同时期各个处理 SOD 活性的比较

Fig. 2 SOD activity of treatments in different periods

2.4.3 不同时期 MDA 含量比较

丙二醛是膜脂氧化的最终分解产物,从膜上产生的位置上释放后,与蛋白质、核酸起反应并修饰其特征;使纤维素分子间的桥键松弛,或抑制蛋白质的合成。MDA 的积累可能会对膜和细胞造成一定的伤害^[13]。由图 3 可以看出,烤烟整个生长过程中 MDA 含量随着硒浓度的升高出现了先降低后升高的趋势,说明土壤中适量的硒能够减缓烤烟叶片的膜脂过氧化作用。当土壤硒浓度 ≤ 8 mg/kg 时,同一时期不同处理的 MDA 含量与对照相比较均有所降低,但前两个时期的各个处理与对照之间的差异未能达到显著水平,后两个时期的各个处理与对照差异均达到了显著水平;当土壤硒浓度 $>$

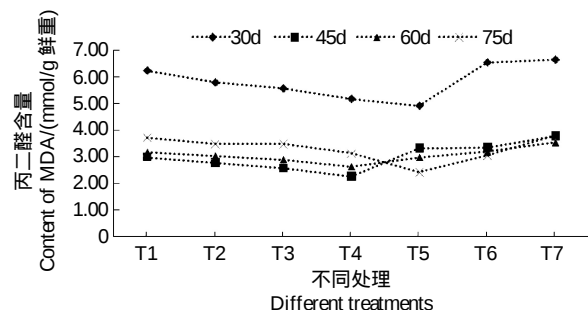


图 3 不同时期各个试验处理 MDA 含量的比较

Fig. 3 MDA content of each experiment treatment in different periods

8 mg/kg 时,MDA 含量在第 30 天时明显高于其他 3 个时期,且与其它 3 个时期的差异达到了 5% 显著水平,其余 3 个时期两两之间的差异均未能达到显著水平。不同时期相比较,只有 T5 处理的 MDA 含量是:第 30 天 $>$ 第 45 天 $>$ 第 60 天 $>$ 第 75 天,其余处理均表现为:第 30 天 $>$ 第 75 天 $>$ 第 60 天 $>$ 第 45 天,并且烤烟生长的后 3 个时期均与第一个时期差异显著 ($P<0.05$)。

2.5 烟叶硒含量在生育期内的动态变化

从图 4 可以看出,随着土壤硒浓度的增加,烤烟叶片中硒含量呈现逐渐递增的趋势,说明烤烟能充分吸收施入土壤中的硒,因此,通过土壤施硒来提高烤烟叶片含硒量是有效的。不同施硒处理烤烟叶片中硒含量的积累在 4 个时期内的变化成“V”型,第 60 天前,烤烟叶片中的硒含量随着生育期的延长而逐渐增加,第 60 天后,烤烟叶片中的含硒量随着生育期的延长而有所降低。同一时期不同处理相比较,不同施硒处理烤烟叶片中的硒含量均与对照形成了显著差异($P<0.01$),并且不同施硒处理间的差异均达到了极显著水平。通过烤烟烟叶中硒含量的积累速率可以看出(图 5),随着生育期的延长,烤烟叶片中硒含量的积累速率逐渐加快,这符合烤烟吸收营养元素的一般规律,即烤烟移栽后 7—11 周,对营养元素的吸收达到最大值。当土壤中的硒含量 ≤ 12 mg/kg(T5 处理)时,随着土壤中硒含量的增加,每个时期烤烟叶片硒含量的积累速率也逐渐加快;当土壤中的硒含量 >12 mg/kg 后,烤烟叶片中硒的积累速率则随着土壤中硒含量的增加而降低。

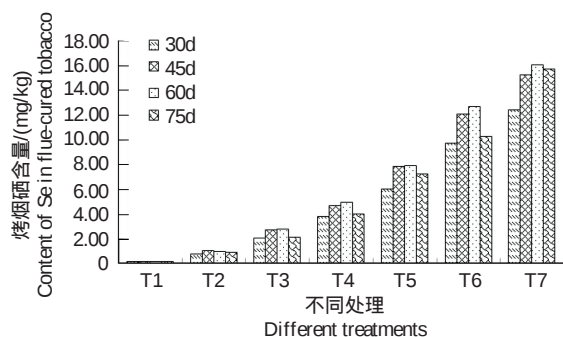


图 4 不同生育期内烤烟硒含量的变化

Fig. 4 Changes of Se content in flue-cured tobacco during different periods

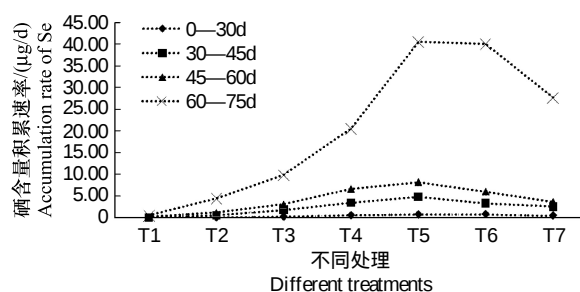


图 5 不同生育期内烤烟硒含量积累速率的变化

Fig. 5 Changes of Se accumulation rate in flue-cured tobacco during different periods

2.6 烤烟硒与生理指标的相关性分析

将烤烟叶片中硒含量与烤烟生物量及各项生理指标进行相关分析(表 6),结果表明:烤烟叶片中 Se 含量与地上部、地下部生物量均呈显著或极显著的负相关。烤烟叶片中的叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素 a+b 与硒含量均存在密切的关系,叶绿素 a 在各个时期与硒含量都存在极显著的负相关,叶绿素 b 和叶绿素 a+b 在烤烟移栽后的前 60 天均与硒含量呈显著的负相关($P<0.05$),而在移栽后第 75 天与硒含量呈极显著负相关($P<0.01$);类胡萝卜素与烤烟叶片中的硒含量无相关性;POD 活性和 SOD 活性在各个时期均与烤烟叶片中的

表 6 烤烟硒与生物量及有关生理指标的相关性分析

Table 6 Correlation analysis between selenium and biomass as well as physiological indexes of flue-cured tobacco

指标 Index	30d	45d	60d	75d
地上鲜重 FW of overground part	-0.657 *	-0.695 **	-0.825 **	-0.806 **
地上干重 DW of overground part	-0.637 *	-0.799 **	-0.777 **	-0.715 **
地下鲜重 FW of underground part	-0.423 *	-0.764 **	-0.825 **	-0.862 **
地下干重 DW of underground part	-0.452 *	-0.733 **	-0.873 **	-0.868 **
叶绿素 a Chl a	-0.725 **	-0.649 **	-0.692 **	-0.701 **
叶绿素 b Chl b	-0.518 *	-0.513 *	-0.593 *	-0.758 **
叶绿素 a+b Chl a+b	-0.621 *	-0.606 *	-0.484 *	-0.720 **
类胡萝卜素 Carotenoid	-0.353	-0.343	-0.292	-0.288
丙二醛 MDA	0.544 *	0.755 **	0.689 **	0.630 **
超氧化物歧化酶 SOD	-0.721 **	-0.656 **	-0.776 *	-0.714 **
过氧化物酶 POD	-0.782 **	-0.685 **	-0.706 **	-0.877 **

硒含量呈现极显著的负相关,各个时期相比较,任意两个时期的 POD 和 SOD 活性均存在极显著的正相关;丙二醛含量在第 30 天的时候与硒含量的相关性达到了显著水平($P<0.05$),而在其它 3 个时期均达到了极显著水平,说明微量元素硒在烤烟生长中期对防止体内膜脂过氧化作用起到了一定作用。

3 小结与讨论

(1)在适宜的土壤硒浓度范围内,烤烟未出现死亡的现象;当土壤硒浓度 $>8\text{ mg/kg}$ 时,T5、T6、T7 均有烟株出现不同程度的死亡,和对照相比存活率分别降低了 18.75%、25.00% 和 43.75%。已有关于硒与烤烟生态毒理效应的研究^[14]表明:当硒浓度 $>8\text{ mg/kg}$ 时烤烟生长受到抑制,而本研究在土壤硒浓度等于 8 mg/kg 时尚能正常生长,尚未出现死亡和生长抑制现象,这可能是与土壤含硒量、供试烤烟品种材料及其他生态条件等因素有关。

(2)硒符合必需元素对生物体效应的 Bertrand 生物剂量规律,即低浓度时,对植物的生长有促进效应,过量则对植物构成毒害^[15]。对缺硒地区的大量农作物和牧草上进行的施硒试验结果表明,硒肥可以提高作物的含硒量,在一定剂量内对植物生长无不良影响,且有增产作用^[16]。本研究结果表明,当土壤硒浓度在 12 mg/kg 以下时,烤烟地上部和地下部干物质的积累量均显著高于对照;当土壤硒浓度 $\geq 16\text{ mg/kg}$ 时,不同时期地上部和地下部干物质质量均显著低于对照,这与已有研究^[14]结果基本一致。在其它作物上,通过盆栽试验研究硒在水稻中的积累和分布规律以及对水稻产量的影响^[17],结果表明土壤硒浓度低于 30 mg/kg 时,对水稻的生长有促进作用,增产 10%—14%;高于 30 mg/kg 时,水稻生长开始受到不良影响,产量下降。采用盆栽试验研究硒对小麦的生态毒理效应^[18]结果也表明:土壤硒浓度在 10 mg/kg 以下对小麦有增产作用。适宜的硒浓度在不同作物、不同试验条件下有出入,可能是不同的作物其生理代谢机理以及硒在代谢过程中的作用位点不一致,同时,作物对无机硒的吸收还受土壤质地等因素的制约,如黄腐酸会抑制作物对亚硒酸钠的吸收。

(3)作物受低浓度硒影响时,叶绿素呈上升趋势,高浓度硒则可使作物叶绿素含量降低^[12,18-20]。本研究表明:在适宜的浓度范围内,微量元素硒能够促进烤烟生长过程中叶绿素和类胡萝卜素含量的增加;当土壤硒浓度 $\geq 16\text{ mg/kg}$ 时,各时期的叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素 a+b 和类胡萝卜素含量开始下降,当土壤硒浓度达到 24 mg/kg 时,烟叶中叶绿素和类胡萝卜素含量与对照相比显著下降($P<0.05$),出现“黄化”现象,这与报道的重金属元素能引起植物的“黄化症”相一致^[18]。

(4)当植物在衰老或者在逆境下受到伤害时,体内的超氧阴离子自由基就会增多,出现膜脂过氧化现象,同时伴随着活性氧代谢加强而使 H_2O_2 发生积累,并使细胞膜受到损害。SOD 普遍存在于动植物体内,是一种清除超氧阴离子自由基的酶;MDA 是膜脂过氧化的最终分解产物,其含量变化反映细胞膜脂过氧化水平;POD 可以清除 H_2O_2 ,是植物体内主要的酶促防御系统之一。因此 SOD、MDA 和 POD 可以作为评定植物抗逆性的生理指标^[21]。已有研究表明,微量元素硒能增强烤烟的抗逆性^[14]。本研究结果表明:烤烟在不同时期的 POD 和 SOD 活性均随着土壤硒浓度的升高出现了先上升后下降的趋势,并且每个时期烤烟硒含量与 POD、SOD 活性之间存在负相关关系,每个时期硒含量与酶活性之间的相关均达到显著水平,说明适当的硒含量能增强烤烟的抗逆性,这与已有关于水稻^[18]和油菜^[5]方面的报道基本一致,表明硒在作物生长发育过程中参与的代谢作用位点存在一致性。采用水培和土壤盆栽试验研究硒对水稻的生态毒理效应^[10,18]表明,微量元素硒与植株体内 MDA 含量存在密切的关系。本研究结果表明:当硒浓度 $\leq 8\text{ mg/kg}$ 时,各个处理的 MDA 含量随着硒浓度的升高而降低,当土壤硒浓度 $>8\text{ mg/kg}$ 时,MDA 含量又随之升高,说明过低或过高的硒浓度都不适宜烤烟生长,而适宜的硒浓度在一定程度上能缓解烤烟膜脂的过氧化。从相关的文献来看,硒对作物抗氧化、抗逆性和对作物品质产量提高起到了积极作用,但硒对能量代谢影响的机理还需进一步加强。

(5)一般认为,提高烟叶中的含硒量是必要的^[22],外源施入硒肥能提高烤烟体内的硒含量^[23]。本研究认为通过土壤施硒来提高烤烟叶片含硒量是有效的,随着土壤中硒含量的增加,烤烟叶片中的硒含量呈现逐渐增加的趋势,并且每个处理与对照之间的差异均达到了显著水平($P<0.01$),不同施硒处理间的差异也达到了显著水平。一般烤烟在移栽后 7—11 周吸收营养元素的速率最快^[24]。本研究表明随着生育期的延长,各处

理烤烟中硒的积累速率在移栽后第 75 天达到最大值;随着土壤中硒含量的增加,烤烟中硒的积累速率呈现先升高后降低的趋势,当土壤中硒含量在 5—12 mg/kg 范围内,硒的积累速率最快。

References:

- [1] Schwarz K, Foltz C M. Selenium as an integral part of factor 3 against dietary necrotic liver degeneration. *Journal of the American Chemical Society*, 1957, 70(32): 92-93.
- [2] Rotruck J T, Pope A L, Ganther H E, Swanson A B, Hafeman D G, Hoekstra W G. Selenium: Biochemical role as a component of glutathione peroxidase. *Science*, 1973, 179(4073): 588-590.
- [3] Awasthi Y C, Beutler E, Srivastava S K. Purification and properties of human erythrocyte glutathione peroxidases. *The Journal of Biological Chemistry*, 1975, 250: 5144-5149.
- [4] Li Q J, Yang C L. Advance in Effect of Selenium on the Ingredients in Tobacco Leaf and the Nocuous Components in Smoke. *China Tobacco Science*, 2007, 28(2): 10-13.
- [5] Xue T L, Hou S F, Tan J A, Liu G Z. Antioxygenation of Se in higher plants. *Chinese Science Bulletin*, 1993, 38(3): 274-277.
- [6] Guo J C, Yin S P. The effect of Se on the activity of GPx and GSH content in higher plants. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 1998, 18(4): 533-537.
- [7] Zhu G L, Zhong H W, Zhang A Q. *Experiment of Plant Physiology*. Beijing: Beijing University Press, 1990.
- [8] Wang A G, Luo G H. Quantitative relationship between superoxide radical and hydroxylamine reaction in plants. *Plant Physiology Communications*, 1990, 26(6): 55-57.
- [9] Zhou Q. *The Experimental Guide for Plant Biochemistry*. Beijing: China Agricultural Press, 1995.
- [10] Pan W J, Huang J G, Jiang C Y, Tang Y J. Se accumulation in flue-cured tobacco related to soil and climate. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2006, 12(2): 260-265.
- [11] Qiao A M, Lin X J. Relationship between selenium and plant. *Journal of Zhongkai Agrotechnical College*, 2003, 16(3): 67-73.
- [12] Zhang L H, Li P J, Li X M, Meng X L, Xu C B. Effects of cadmium stress on the growth and physiological characteristics of wheat seedlings. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(4): 25-28.
- [13] Ren A Z, Gao Y B, Li S. Response of some protective enzymes in *Brassica chinensis* seedlings to Pb^{2+} , Cd^{2+} and Cr^{6+} stresses. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(4): 79-81.
- [14] Gao J H, Zhang X H. Research on Effects of Ecotoxicology and Critical Indicator of Flue-cured Tobacco from Selenium. *Yunnan Environmental Science*, 2006, 25(4): 12-14.
- [15] Yi H Y, Hao Y H, Yu H B, Ma J Z. Effect of Se fertilizer on Se content and yield of millet in low selenium area. *Chinese Journal of Soil Science*, 1992, 2(1): 15-15.
- [16] Cheng B R, Ju S X, Yue S Q, Sheng S J, Hao R Z, Yin Z H, Ji H Y. Selenium food and selenium levels in the human body. *China Environmental Science*, 1982, 2(5): 28-31.
- [17] Zhou Y P. The accumulation and distribution of selenium in rice. *Journal of Shihezi University*, 1994, 12(1/2): 27-31.
- [18] Lin K F, Xu X Q, Jin X, Cuo Z L H, Xiang Y L. Eco-toxicological effects of selenium and its critical value on *Oryza sativa*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(4): 678-682.
- [19] Zhou J H, Wang Y R. Physiological Studies on Poisoning Effects of Cd and Cr on Rice (*Oryza sativa* L.) Seedlings Through Inhibition of Si Nutrition. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 1995, 5(1): 11-15.
- [20] Zhao F Y, Zhai L X, Chen Q, Zhang M Q, Lei F L. Effect under combined treatment of cadmium and lead on their distribution of plants and physiological indications. *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica*, 2002, 22(3): 24-28.
- [21] Zhang Z L, Zhai W J. *The Experimental Guide for Plant Physiology*. 3rd ed. Beijing: Higher Education Press, 2003.
- [22] Yuan L, Huang J G, Chen X K. The research of selenium on tobacco. *Tobacco Science & Technology*, 1994, (6): 33-35.
- [23] Yang L F, Ding R X. Effects of selenium application on selenium content and distribution in flue-cured tobacco grown on Se-low soils. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2000, 23(1): 47-50.
- [24] Liu G S. *Tobacco Cultivation*. Beijing: China Agricultural Press, 2003.

参考文献:

- [4] 李前进, 杨春龙. 硒对烟叶化学成分和烟气中有害成分的影响研究进展. *中国烟草科学*, 2007, 28(2): 10-13.
- [5] 薛泰麟, 侯少范, 谭见安, 刘更另. 硒在高等植物体内的抗氧化作用 I. 硒对过氧化作用的抑制效应及酶促机制的探讨. *科学通报*,

- 1993, 38(3): 274-277.
- [6] 郭静成, 尹顺平. 硒对高等植物中谷胱甘肽过氧化物酶活性及谷胱甘肽含量的影响. 西北植物学报, 1998, 18(4): 533-537.
- [7] 朱广廉, 钟海文, 张爱琴. 植物生理学实验. 北京: 北京大学出版社, 1990.
- [8] 王爱国, 罗广华. 植物的超氧物自由基与羟胺反应的定量关系. 植物生理学通讯, 1990, 26(6): 55-57.
- [9] 邹琦. 植物生理生化实验指导. 北京: 中国农业出版社, 1995.
- [10] 潘文杰, 黄建国, 姜超英, 唐远驹. 烤烟硒积累及其与土壤和气候的关系. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(2): 260-265.
- [11] 乔爱民, 林雪娟. 硒与植物的关系. 仲恺农业技术学院学报, 2003, 16(3): 67-73.
- [12] 张利红, 李培军, 李雪梅, 孟雪莲, 徐成斌. 镉胁迫对小麦幼苗生长及生理特性的影响. 生态学杂志, 2005, 24(4): 25-28.
- [13] 任安芝, 高玉葆, 刘爽. 青菜幼苗体内几种保护酶的活性对 Pb、Cd、Cr 胁迫的反应研究. 应用生态学报, 2002, 13(4): 79-81.
- [14] 高家合, 张晓海. 硒对烤烟的生态毒理效应及临界指标研究. 云南环境科学, 2006, 25(4): 12-14.
- [15] 伊虎英, 郝玉环, 鱼宏斌, 马建中. 硒肥对低硒区谷子籽粒含硒量及产量的影响. 土壤通报, 1992, 2(1): 15-15.
- [16] 程伯容, 鞠山见, 岳淑婧, 盛士骏, 赫荣臻, 尹昭汉, 季鸿云. 硒粮与人体硒水平——山东邹县老林大队粮食作物喷施亚硒酸钠提高人体硒水平的研究. 中国环境科学, 1982, 2(5): 28-31.
- [17] 周遗品. 硒在水稻中的积累和分布研究. 石河子农学院学报, 1994, 12(1/2): 27-31.
- [18] 林匡飞, 徐小清, 金霞, 邵志慧, 项雅玲. 硒对水稻的生态毒理效应及临界指标研究. 应用生态学报, 2005, 16(4): 678-682.
- [19] 周建华, 王永锐. 硅营养缓解水稻幼苗 Cd、Cr 毒害的生理研究. 应用与环境生物学报, 1995, 5(1): 11-15.
- [20] 赵菲佚, 翟禄新, 陈荃, 张明泉, 曾福礼. Cd、Pb 复合处理下 2 种离子在植物体内的分布及其对植物生理指标的影响. 西北植物学报, 2002, 22(3): 24-28.
- [21] 张志良, 瞿伟菁. 植物生理学实验指导 (第三版). 北京: 高等教育出版社, 2003.
- [22] 袁玲, 黄建国, 陈西凯. 烟草施用亚硒酸钠的研究. 烟草科技, 1994, (6): 33-35.
- [23] 杨兰芳, 丁瑞兴. 低硒土壤施硒对烤烟硒含量及其体内分布的含量. 南京农业大学学报, 2000, 23(1): 47-50.
- [24] 刘国顺. 烟草栽培学. 北京: 中国农业出版社, 2003.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 23 December, 2011 (Semimonthly)
CONTENTS

Satellite-based modelling light use efficiency of alpine meadow along an altitudinal gradient	FU Gang, ZHOU Yuting, SHEN Zhenxi, et al (6989)
Changes in the concentrations of airborne <i>Picea schrenkiana</i> pollen in response to temperature changes in the Tianshan Mountain area	PAN Yanfang, YAN Shun, MU Guijin, et al (6999)
Primary production in the Bay of Bengal during spring intermonsoon period	LIU Huaxue, KE Zhixin, SONG Xingyu, et al (7007)
Effect of rainfall regimes on the decomposition rate of yak dung in an alpine meadow of northwest Sichuan Province, China	WU Xinwei, LI Guoyong, SUN Shucun (7013)
SOFM-based nutrient cycling classification of forest ecosystems in the Loess Plateau	CHEN Kai, LIU Zengwen, LI Jun, et al (7022)
Characterization of the responses of photosynthetic and chlorophyll fluorescence parameters to water stress in seedlings of six provenances of Chinese Pine (<i>Pinus tabulaeformis</i> Carr.)	WANG Yan, CHEN Jianwen, et al (7031)
Effect of silicon supply on Tall Fescue (<i>Festuca arundinacea</i>) growth under the salinization conditions	LIU Huixia, GUO Xinghua, GUO Zhenggang (7039)
Effects of high-temperature stress on physiological characteristics of leaves of <i>Simmondsia Chinensis</i> seedlings from different provenances	HUANG Weiwei, ZHANG Niannian, HU Tingxing, et al (7047)
Soil moisture dynamics of water and soil conservation forest on the Loess Plateau	ZHANG Jianjun, LI Huimin, XU Jiajia (7056)
The distribution of male and female <i>Populus cathayana</i> populations along an altitudinal gradient	WANG Zhifeng, XU Xiao, LI Xiaofeng, et al (7067)
Analysis on the characteristics of macrobenthic community in the North-west Daya Bay of South China Bay in spring	DU Feiyan, LIN Qin, JIA Xiaoping, et al (7075)
The effects of season and environmental factors on community structure of planktonic copepods in Zhanjiang Bay, China	ZHANG Caixue, GONG Yuyan, WANG Xuefeng, et al (7086)
Population genetic structure of <i>Pneumatophorus japonicus</i> in the Taiwan Strait	ZHANG Liyan, SU Yongquan, WANG Hangjun, et al (7097)
Seasonal variation of nitrogen and phosphorus in Miju River and Lake Erhai and influencing factors	YU Chao, CHU Jinyu, BAI Xiaohua, et al (7104)
Population dynamics and production of <i>Bellamya aeruginosa</i> (Reeve) (Mollusca: Viviparidae) in artificial lake for transgenic fish, Wuhan	XIONG Jing, XIE Zhicai, JIANG Xiaoming, et al (7112)
Carbon, nitrogen and phosphorus ecological stoichiometric ratios among live plant-litter-soil systems in estuarine wetland	WANG Weiqi, XU Linglin, ZENG Congsheng, et al (7119)
Effects of EDTA on growth and lead-zinc accumulation in maize seedlings grown in amendment substrates containing lead-zinc tailings and soil	WANG Hongxin, HU Feng, XU Xinwang, et al (7125)
Effects of different coated controlled-release urea on soil ammonia volatilization in farmland	LU Yanyan, SONG Fupeng (7133)
Effects of ridge planting on the photosynthetic characteristics and yield of summer maize in high-yield field	MA Li, LI Chaohai, FU Jing, et al (7141)
Effect of timing of DCD application on nitrous oxide emission during wheat growing period	JI Yang, YU Jia, MA Jing, et al (7151)
The role of the fertilizing with nitrogen, calcium and sodium chloride in winter wheat leaves adaptation to freezing-thaw stress	LIU Jianfang, ZHOU Ruilian, ZHAO Mei, et al (7161)
Environment impact assessment of organic and conventional soybean production with LCA method in China Northeast Plain	LUO Yan, QIAO Yuhui, WU Wenliang (7170)
Effects of selenium added to soil on physiological indexes in flue-cured tobacco	XU Zicheng, SHAO Huifang, SUN Shuguang, et al (7179)
Influence of different planting patterns on field microclimate effect and yield of peanut (<i>Arachis hypogaea</i> L.)	SONG Wei, ZHAO Changxing, WANG Yuefu, et al (7188)
Rapid cold hardening of Western flower thrips, <i>Frankliniella occidentalis</i> , and its ecological cost	LI Hongbo, SHI Liang, WANG Jianjun, et al (7196)

- Effects of temperature on body color in *Sitobion avenae* (F.) DENG Mingming, GAO Huanhuan, LI Dan, et al (7203)
- Development and reproduction of *Bemisia tabaci* biotype B on wild and cultivated tomato accessions
..... GAO Jianchang, GUO Guangjun, GUO Yanmei, et al (7211)
- Study on ecological water demand based on assessment of ecosystem disturbance degree in the Baiyangdian Wetland
..... CHEN He, YANG Ying, YU Shiwei, et al (7218)
- Emergy-based analysis of two chicken farming systems: a perspective of organic production model in China
..... HU Qiuhong, ZHANG Lixiao, WANG Changbo (7227)
- Mathematical model design of time-effect relationship analysis about the inhibition of four eighteen-carbon fatty acids on toxic
Microcystis aeruginosa HE Zongxiang, ZHANG Tingting (7235)
- Enrichment of heavy metals in the seagrass bed of Liusha Bay XU Zhanzhou, ZHU Aijia, CAI Weixu, et al (7244)
- A gradient analysis of urban architecture landscape pattern based on QuickBird imagery
..... ZHANG Peifeng, HU Yuanman, XIONG Zaiping, et al (7251)
- Landscape spatial heterogeneity is associated with urbanization: an example from Yangtze River in Jiangsu Province
..... CHE Qianjin, CAO Youhui, YU Lu, et al (7261)
- CVM for Taihu Lake based on ecological functions of wetlands restoration, and ability to pay and willingness to pay studies
..... YU Wenjin, XIE Jian, ZOU Xinqing (7271)
- Review and Monograph**
- Progress in research on the marine microbial loop in the Arctic Ocean HE Jianfeng, CUI Shikai, ZHANG Fang, et al (7279)
- Research progress in the eco-environmental effects of urban green spaces
..... SU Yongxian, HUANG Guangqing, CHEN Xiuzhi, et al (7287)
- Source, exposure characteristics and its environmental effect of heavy metals in urban surface dust
..... FANG Fengman, LIN Yuesheng, WANG Haidong, et al (7301)
- Scientific Note**
- Spatial structures of soilcarbon and nitrogen of China fir and Masson pine mixed forest in the Three Gorger Reservoir Areas
..... LIN Yinghua, WANG Laifa, TIAN Xiaokun, et al (7311)
- The relationship between *Oligochroa cantonella* Caradja and environmental factors LIU Wenai, FAN Hangqing (7320)

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 23 期 (2011 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 23 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@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.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