

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第7期 Vol.32 No.7 **2012**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 7 期

2012 年 4 月 (半月刊)

目 次

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

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

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

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

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

稻纵卷叶螟绒茧蜂对寄主的搜索行为 周 慧,张 扬,吴伟坚 (2223)

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

苹果脱乙酰几丁质发酵液诱导苹果叶片对斑点落叶病的早期抗性反应.....
..... 王荣娟,姚允聪,戚亚平,等 (2239)

专论与综述

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

外来红树植物无瓣海桑引种及其生态影响 彭友贵,徐正春,刘敏超 (2259)

问题讨论

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

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

研究简报

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

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

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



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

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

DOI: 10.5846/stxb201110181549

王西存, 于毅, 周洪旭, 程在全, 张安盛, 门兴元, 李丽莉. 苹果绵蚜对不同苹果品种春梢生长期生理指标的影响. 生态学报, 2012, 32(7): 2075-2081.

Wang X C, Yu Y, Zhou H X, Cheng Z Q, Zhang A S, Men X Y, Li L L. Effects of *Eriosoma lanigerum* (Hausmann) on physiological indices of different apple cultivars. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(7): 2075-2081.

苹果绵蚜对不同苹果品种春梢生长期生理指标的影响

王西存^{1,2}, 于毅², 周洪旭^{1,*}, 程在全³, 张安盛², 门兴元², 李丽莉²

(1. 青岛农业大学农学与植物保护学院, 山东省植物病虫害综合防控重点实验室, 青岛 266109;

2. 山东省农业科学院植物保护研究所, 济南 250100; 3. 云南省农业科学院生物技术与种质资源研究所, 昆明 650223)

摘要: 为了筛选培育对苹果绵蚜(*Eriosoma lanigerum* Hausmann)的抗性品种, 实现持续有效治理苹果绵蚜的目的, 通过测定红富士、金帅、昭锦 108、秦冠、红将军等 5 种不同苹果品种春梢生长期被苹果绵蚜危害前后枝条内可溶性糖、蛋白质、游离氨基酸、总酚含量以及防御性酶的活性变化, 探讨苹果生理指标与抗蚜性的关系。结果表明, 被害后可溶性糖含量除红将军外均有所上升, 其中红富士上升达 13.7%; 蛋白质含量除红富士外均有所降低; 氨基酸含量均有所上升, 其中红将军变化明显, 变化率达 68.8%。酚类物质是一种重要的抗蚜物质, 红富士、昭锦 108、秦冠被害后总酚含量均升高, 其中昭锦 108、秦冠中总酚含量上升率约为红富士的 2 倍。红富士品种正常枝条内超氧化物歧化酶(Superoxide Dismutase, SOD)、多酚氧化酶(Polyphenol Oxidase, PPO)、过氧化物酶(Peroxidase, POD)以及过氧化氢酶(Catalase, CAT)活性均显著低于昭锦 108, 被害后各苹果枝条 SOD 活性均出现上升趋势, 除红将军的 PPO、POD 活性降低外, 其他品种均升高; 金帅、红富士的 CAT 活性上升明显, 分别为 110.8%、45.5%。植物的防御性酶与其抗虫性有密切关系, 苹果春梢生长期对苹果绵蚜的抗性苹果体内的可溶性糖、游离氨基酸、SOD、PPO、POD 以及 CAT 活性均有关, 而且不同苹果品种被害后生理指标的变化也与其抗蚜性有一定关系。

关键词: 苹果绵蚜; 苹果品种; 春梢; 生理指标; 抗性

Effects of *Eriosoma lanigerum* (Hausmann) on physiological indices of different apple cultivars

WANG Xicun^{1,2}, YU Yi², ZHOU Hongxu^{1,*}, CHENG Zaiquan³, ZHANG Ansheng², MEN Xingyuan², LI Lili²

1 College of Agronomy and Plant Protection, Key Laboratory of Integrated Crop Pest Management of Shandong Province, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China

2 Institute of Plant Protection, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China

3 Institute of Biotechnology and Germ Plasm Resources, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Yunnan 650223, China

Abstract: The woolly apple aphid, *Eriosoma lanigerum* Hausmann, is native to eastern North America. It threatens the survival of apple trees by infesting shoots and roots, ultimately resulting in decreased apple production. The woolly apple aphid has spread to most apple-growing regions of the world and is now an important pest in apple production areas. The following control methods have been tested: chemical control, biological control, agrotechnical control and host plant resistance. However, chemical control causes resistance, residue and resurgence (the “3R” problem), biological control is constrained by climate, and agrotechnical control wastes time and resources. Consequently, host plant resistance seems optimal because it is safe, effective and economically viable. Some studies have shown that physiological indices can indicate the insect resistance of a plant. To reveal the relationship between physiological indices in apples and resistance to

基金项目: 农业部现代苹果产业技术体系建设科研专项(nycyt-008); 农业公益性行业科研专项(201103026-5-2); “泰山学者”建设工程专项经费资助

收稿日期: 2011-10-18; 修订日期: 2012-02-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hxzhou@qau.edu.cn

woolly apple aphid, we studied changes in soluble sugar, protein, free amino acids, total phenolic compounds and defense enzymatic activities in five apple cultivars damaged by *E. lanigerum*. The five apple cultivars studied were Red Fuji, Golden Delicious, Zhaojin 108, Qinguan and Red General. Red Fuji is the most sensitive cultivar and Qinguan the most resistant. Golden Delicious, Zhaojin 108 and Red General demonstrate average resistance. To examine physiological indices, one-year-old injured branches from the lower parts of the trees were clipped and frozen with Drikold. Undamaged branches were treated using the same method as for the control group. Results showed that the soluble sugar contents increased in damaged branches, except in those of Red General trees. Soluble sugar contents in Red Fuji increased by 13.7%. Protein contents in the four cultivars besides Red Fuji decreased. Amino acid contents increased in all five cultivars, increasing by 68.8% in Red General. Total phenolic compound is an important defensive substance against aphids. The total phenolic compound was increased in Red Fuji, Zhaojin 108 and Qinguan after damage by woolly apple aphid, and the rate of change of total phenolic compound in Zhaojin 108 and Qinguan was about twice that of Red Fuji. The Superoxide Dismutase (SOD), Peroxidase (POD), Polyphenol Oxidase (PPO) and Catalase (CAT) activities in Red Fuji were markedly lower than that in Zhaojin 108. The SOD activity was increased in all five cultivars. Activities of PPO and POD were increased in all cultivars except Red General. The activity of CAT in Golden Delicious and Fuji increased by 110.8% and 45.5%, respectively. Plant resistance to pests is closely linked with the defensive enzymes exhibited by the plant. It is suggested that the contents of soluble sugar, amino acids and the activities of SOD, POD, PPO and CAT affect host selection by woolly apple aphids. Changes in physiological indices in different apple cultivars are associated with resistance to woolly apple aphid.

Key Words: woolly apple aphid; apple cultivars; spring shoots; physiological indices; insect resistance

苹果绵蚜 *Eriosoma lanigerum* Hausmann 属同翅目, 绵蚜科, 又名血色蚜虫、赤蚜、绵蚜, 是国内外重要有害生物之一^[1]。苹果绵蚜原产于美国东北部, 第一寄主是美国榆, 第二寄主为苹果属植物, 后随苗木的调运传入世界各苹果产区。苹果绵蚜既能危害苹果地上部分又能在地下部危害, 地上部分主要在粗皮、裂缝、剪锯口、新梢、叶腋处刺吸危害, 地下主要危害根部, 能够使得树势衰弱甚至造成幼苗枯死^[2]。苹果绵蚜刺吸危害果树后, 在被害处易形成肿瘤, 肿瘤部位木质部和韧皮部增生, 导管受到破坏, 影响枝条的水分和营养传输^[3], 进一步影响成花结果, 减产 4.1%—38.8%^[4], 对我国的苹果产业造成严重威胁。培育抗性品种是持久治理苹果绵蚜的一项有效措施, 国外研究报道了苹果绵蚜在 IPM (Integrate Pest Management) 苹果园中发生动态规律及其在不同苹果品种上的生长发育、繁殖、死亡和为害程度, 为苹果绵蚜的抗性治理提供了依据^[5-8]。在我国邓家祺等^[9]采用枝梢罩微笼和根部罩木箱的接种法测试苹果属 8 个品种 30 个品系, 选出了山荆子 jin67 免疫系, 林三冬等发现苹果对苹果绵蚜的抗性与枝梢的总酚含量与 α -氨基氮的含量之比具有一定的相关性^[10]。植物的抗虫性与植物体内防御性酶活性有关^[11], 苹果对苹果绵蚜的抗性可能也与苹果的防御性酶活性等物质有关, 研究植物被害前后, 营养成分、次生代谢物质以及防御性酶活性的变化规律, 对揭示害虫对不同寄主的选择性具有重要意义。因此本实验通过研究苹果绵蚜对不同苹果品种生理指标的影响, 明确生理指标与对苹果绵蚜抗性的关系, 从植物生理角度揭示苹果抗性品种的特征, 进而为抗性品种的选育以及苹果绵蚜的可持续治理提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

于 2011 年 5 月份苹果春梢生长期, 在云南省昭通市旧圃镇、洒渔乡、文屏镇和乐居乡选择秦冠、金帅、红富士、昭锦 108、红将军等 5 个不同品种 16a 的苹果园, 每个品种选取 10 棵树, 剪取树冠中下部被苹果绵蚜初期危害的 1 年生枝条, 每个枝条上有 3—5 个虫落^[12], 并选取未被危害的树剪取正常的枝条作为对照, 洗净后用保鲜膜包裹放入干冰盒中, 带回实验室剪短后立刻放进超低温冰箱中 -70 °C 保存。

试验区地处昭鲁坝区,年均气温 11.7 ℃。最冷月平均气温 2 ℃,最热月平均气温 19.8 ℃,年积温 3237—3477 ℃。年日照时数 1919—1980 h,无霜期 230—240 d,年均降雨量 740—800 mm。试验区内 5 个苹果品种均受到苹果绵蚜的危害,其中红富士受害率最高,金帅、昭锦 108、红将军次之,秦冠受害率最低。

1.2 实验方法

可溶性糖的测定采用蒽酮比色法:称取鲜样 0.5 g 剪碎混匀放入大试管中,加入 15.0 mL 蒸馏水,于沸水浴中加热 20 min,取出冷却过滤到 100 mL 容量瓶中,定溶至刻度。取待测样品提取液 1.0 mL 加蒽酮试剂 5.0 mL,快速摇动混匀后,在沸水浴中煮 10 min,取出冷却,在 620 nm 波长下,以蒸馏水代替提取液作为空白进行调零测定光密度。蛋白质含量测定采用 Folin-酚法:称取鲜样 0.5 g 放入研钵中加 2 mL 蒸馏水和少许石英砂研磨,磨成匀浆后用 6 mL 蒸馏水分次冲洗到离心管中,4000r/min 离心 10 min,取上清液并定容至 15 mL,将定容后提取液稀释 10 倍摇匀待测。取 1 mL 提取液加 5 mL Folin-酚试剂甲于室温静置 10 min,再加入 0.5 mL Folin-酚试剂乙,立即摇匀,室温保持 30 min 后于 500 nm 处比色,以蒸馏水代替提取液作为空白进行调零。氨基酸含量、SOD、CAT 活性测定采用邹琦的方法^[13],略有改动;总酚测定采用福林法^[14]略有改动;PPO、POD 活性测定采用郝建军的方法^[15],略有改动,以上每个测定各重复 4 次。

1.3 数据处理

数据处理采用 SPSS10.0 数据处理软件中的邓肯新复极差检测单因素方差分析和配对样本 T 检验。

2 结果与分析

2.1 不同苹果品种可溶性糖含量的差异

红富士苹果的正常枝条可溶性糖含量显著高于红将军、昭锦 108 以及秦冠的可溶性糖含量见表 1,被危害后红将军的可溶性糖含量显著下降,下降率为 15.6%,其他各品种均呈现上升趋势,红富士、秦冠显著上升,其中红富士上升幅度较大,达到 13.7%,显著高于红将军、昭锦 108 以及秦冠的可溶性糖含量,结果表明可溶性糖含量与苹果感蚜性呈正相关。

2.2 不同苹果品种间蛋白质和氨基酸含量的差异

春梢生长期,红富士正常枝条中蛋白质含量显著低于其他 4 个品种,而游离氨基酸含量显著高于红将军、金帅和昭锦 108;被危害后,红富士中蛋白质含量呈现显著上升趋势,上升率为 29.1%,其他 4 个品种

均出现下降趋势,下降率依次为红将军(18.7%)>金帅(18.3%)>秦冠(6.1%)>昭锦 108(1.1%),其中红将军和金帅与对照差异显著。游离氨基酸含量均上升(表 2),依次为红将军(68.8%)>昭锦 108(12.5%)>金帅(7.9%)>红富士(1.4%)>秦冠(1.0%),其中红将军和昭锦 108 显著上升。对照各品种对苹果绵蚜的感蚜性发现,春梢生长期较不易感的品种被危害后,游离氨基酸含量上升更明显。

春梢生长期不同苹果品种被苹果绵蚜危害后枝条内蛋白质与可溶性糖的比值呈现规律性变化,顺序依次为昭锦 108>红将军>秦冠>红富士>金帅。分析发现,除红富士枝条内蛋白质与可溶性糖比值上升外,其他均出现下降趋势。红富士中蛋白质/可溶性糖的值为 5.32,金帅为 5.35,其他品种均达到 5.50 以上,其中昭锦 108 的值高达 6.88。

2.3 不同苹果品种间总酚含量的差异

春梢生长期,红富士和金帅正常枝条中总酚含量显著高于秦冠、红将军和昭锦 108,不同苹果品种被苹果绵蚜危害后枝条内总酚含量变化有一定差异,金帅与红将军总酚含量分别下降 4.7% 和 5.8%,与对照差异显著,其他各品种均上升,上升率依次为:秦冠(28.1%)>昭锦 108(26.7%)>红富士(13.4%),被危害后秦冠与

表 1 被苹果绵蚜危害后不同品种可溶性糖含量变化

Table 1 Changes of soluble sugars in different apple cultivars damaged by *E. lanigerum*

品种 Cultivars	可溶性糖含量 Soluble sugars content/%		变化率/% Change rate
	正常 Uninjured	被害 Injured	
红富士	1.17±0.01 A c	1.33±0.02 B d	13.7
金帅	1.14±0.02 A bc	1.24±0.01 A c	8.8
秦冠	1.06±0.05 A a	1.16±0.03 B bc	9.4
昭锦 108	1.09±0.02 A ab	1.12±0.04 A b	2.8
红将军	1.09±0.01 B ab	0.92±0.02 A a	-15.6

表中数据表示平均数±标准误差,同列数据后的不同小写字母表示差异显著(Duncan's 新复极差测验, $P<0.05$),同行数据后的不同大写字母表示差异显著(配对样本 T 检验, $P<0.05$)

昭锦 108 总酚含量出现明显上升,变化率约为红富士的 2 倍(表 3)。

表 2 被苹果绵蚜危害后不同品种蛋白质、氨基酸含量变化
Table 2 Changes of protein and amino acid in different apple cultivars damaged by *E. lanigerum*

品种 Cultivars	蛋白质含量 Protein content/(mg/g 鲜重)		氨基酸含量 Amino acid content/(mg/g 鲜重)	
	正常 Uninjured	被害 Injured	正常 Uninjured	被害 Injured
红富士	55.18±1.81 A a	71.21±1.33 B c	0.74±0.01 A d	0.75±0.01 A b
金帅	80.06±1.41 B c	65.44±0.89 A b	0.38±0.01 A a	0.41±0.02 A a
秦冠	68.49±1.23 A b	64.29±1.54 A b	1.02±0.03 A e	1.03±0.03 A d
昭锦 108	77.95±1.46 A c	77.09±0.66 A d	0.64±0.01 A c	0.72±0.01 B b
红将军	66.05±2.76 B b	53.69±0.56 A a	0.48±0.01 A b	0.81±0.01 B c

2.4 不同苹果品种间超氧化物歧化酶(SOD)与多酚氧化酶(PPO)活性的差异

春梢生长期正常红富士枝条 SOD 活性最低,显著低于金帅、红将军和昭锦 108,被害后,SOD 活性均上升(表 4),但 5 个品种间差异不显著,秦冠上升率高达 23.1%,与对照差异显著。昭锦 108 正常枝条内 PPO 活性显著高于其他 4 个品种,被害后除了红将军 PPO 活性降低 30.1%,与对照差异显著外,其他品种 PPO 活性均升高(表 4),上升率为:秦冠(76.9%)>金帅(10.9%)>红富士(7.5%)>昭锦 108(2.4%),其中,秦冠和金帅的上升率分别为 76.9% 和 10.9%,与对照差异显著。结果表明,春梢生长期苹果枝条内 SOD 和 PPO 活性与其感蚜程度呈一定负相关。

表 3 被苹果绵蚜危害后不同苹果品种的总酚含量
Table 3 Changes of total phenolic compound in different apple cultivars damaged by *E. lanigerum*

品种 Cultivars	总酚含量/(mg/g 鲜重) Total phenolic compound content		变化率/% Change rate
	正常 Uninjured	被害 Injured	
红富	4.78±0.07 A c	5.42±0.06 B c	13.4
金帅	4.67±0.03 B c	4.45±0.08 A b	-4.7
秦冠	4.16±0.05 A b	5.33±0.07 B c	28.1
红将军	3.98±0.04 B a	3.75±0.06 A a	-5.8
昭锦 108	4.12±0.07 A ab	5.22±0.08 B c	26.7

表 4 苹果绵蚜危害后不同苹果品种内 SOD 与 PPO 活性变化
Table 4 Changes of SOD and PPO activities in different apple cultivars damaged by *E. lanigerum*

品种 Cultivars	SOD 活性 SOD activities/(U/g 鲜重)		PPO 活性 PPO activities/(U·g ⁻¹ 鲜重·min ⁻¹)	
	正常 Uninjured	被害 Injured	正常 Uninjured	被害 Injured
红富士	219.10±9.13 A a	243.74±8.09 A a	0.80±0.09 A a	0.86±0.08 A b
金帅	245.95±5.40 A bc	254.46±14.66 A a	0.55±0.02 A a	0.61±0.03 B a
秦冠	228.44±8.75 A ab	281.24±12.22 B a	0.65±0.05 A a	1.15±0.08 B c
红将军	237.43±8.47 A abc	254.38±7.12 A a	0.73±0.08 B a	0.51±0.03 A a
昭锦 108	253.00±1.93 A d	265.05±13.12 A a	2.91±0.15 A b	2.98±0.12 A d

2.5 不同苹果品种间过氧化物酶(POD)与过氧化氢酶(CAT)活性的差异

春梢生长期,昭锦 108 与红将军正常枝条内 POD 活性显著高于其他 3 个品种,被害后红富士和秦冠枝条内 POD 活性显著高于金帅和红将军,除了红将军 POD 活性稍有降低(4.7%)外,其他品种均上升(表 5),上升率为:红富士(146.1%)>秦冠(113.0%)>昭锦 108(28.7%)>金帅(15.2%),其中红富士、秦冠上升率分别为 146.1%、113.0%与对照差异显著。

红富士与金帅正常枝条内 CAT 活性显著低于其他 5 个品种,被害后,秦冠和昭锦 108 枝条内 CAT 活性显著下降,分别降低 29.7% 和 24.8%,其他 3 个品种均上升(表 5),上升率为:金帅(110.8%)>红富士(45.5%)>红将军(33.1%),均与对照显著差异。结果表明,春梢生长期苹果枝条内 POD 及 CAT 活性与其感蚜程度基本呈负相关。

表 5 苹果绵蚜危害后不同苹果品种内 POD 与 CAT 活性变化

Table 5 Changes of POD and CAT activities in different apple cultivars damaged by *E. lanigerum*

品种 Cultivars	POD 活性 The POD activities/(U·g ⁻¹ 鲜重·min ⁻¹)		CAT 活性 The CAT activities/(U/g 鲜重)	
	正常 Uninjured	被害 Injured	正常 Uninjured	被害 Injured
红富士	828.67±35.64 A a	2039.70±66.06 B c	10.63±0.44 A b	15.47±0.75 B a
金帅	882.58±30.56 A a	1016.77±87.16 A a	6.29±0.83 A a	13.26±0.28 B a
秦冠	881.09±45.48 A a	1877.11±84.49 B bc	33.11±1.33 B d	23.28±1.38 A c
红将军	1250.96±76.70 A b	1192.72±27.51 A a	14.16±0.41 A c	18.85±0.85 B b
昭锦 108	1387.57±102.44 A b	1785.40±85.22 A b	31.46±1.20 B d	23.67±1.39 A c

3 讨论

植物为昆虫提供营养成分,同时还能产生种类繁多的次生物质,包括萜类、酚类、生物碱、丹宁、糖苷等。它们有重要的生态意义,是植物形成化学防御的重要因素^[16]。Adkisson 发现,由于营养水平的差异影响棉花成熟期,进而使得棉铃虫 *Heliothis zea* 在成熟较晚棉花上的发生量比成熟较早的棉花多 2 倍^[17]。因而,营养水平和次生物质均能对植物的抗虫性产生影响。

3.1 糖与植物抗虫性

Hsiao^[18]认为植物中糖、氨基酸、脂类的含量都是影响马铃薯甲虫 *Leptinotarsa decemlineata* 和紫苜蓿象鼻虫 *Hypera postica* 选择寄主的因素,其中,植株体内可溶性糖是害虫糖类营养的重要来源,其含量对害虫的取食、产卵、繁殖、发育等有着重要影响。魏书艳等认为不同的寄主受绿盲蝽 *Lygus lucorum* 危害后体内可溶性糖含量呈现差异性变化,绿盲蝽偏好程度高的寄主受害后可溶性糖会显著增加^[19]。陈建新等认为,小麦可溶性糖含量与小麦抗蚜性呈正相关^[20]。以上研究证明,糖类对害虫的生长发育具有一定影响,进而影响植物的抗虫性。而且,不同抗性的寄主受害后可溶性糖变化有一定差异。本文中选择的 5 个苹果品种,红富士苹果对苹果绵蚜抗性差,是易感品种,金帅对苹果绵蚜抗性高于红富士^[8],田间调查发现昭锦 108、红将军、秦冠等 3 个品种对苹果绵蚜抗性高于金帅。结果表明,春梢生长期红富士、金帅正常枝条中糖含量显著高于其他 3 个品种,含糖量依次为:红富士>金帅>红将军>昭锦 108>秦冠。被苹果绵蚜危害后,除红将军外其他品种的可溶性糖含量均出现上升趋势,其中红富士、秦冠、红将军变化均达显著水平,与易感程度呈一定正相关。

3.2 氨基酸和蛋白质与植物抗虫性

氨基酸、蛋白质的含量影响着害虫的取食、生长、发育,进而影响害虫对寄主的选择性。Febvay 等研究发现,氨基酸是植物抗桃蚜的重要因素,而且糖/氨基酸的比值与对蚜虫的抗性呈正相关^[21]。魏书艳等研究发现被绿盲蝽危害后不同寄主体内蛋白质含量均下降,下降率与绿盲蝽偏好程度呈正相关^[19]。Auclair 和 Cartier 研究豌豆种植株中的氨基酸对豌豆蚜 *Acyrtosiphon pisum* 抗性的关系,证明抗虫品种中氨基酸总含量较感蚜品种低^[22]。因而,不同寄主体内氨基酸和蛋白质的含量,以及受害后的变化均有所不同。本研究发现,红富士正常枝条内蛋白质含量最低,游离氨基酸含量较高。被害后苹果枝条中游离氨基酸含量均上升,其中红将军、昭锦 108 变化达显著水平。红富士蛋白质含量显著上升,其他均下降,其中金帅、红将军蛋白质含量出现明显下降。此外,枝条内蛋白质/糖的比例由被害前的 4.72—7.16 变为被害后的 5.35—6.88,差距变小,可能更适合苹果绵蚜的生长繁殖。

3.3 酚与植物抗虫性

植物次生代谢物质是植物的抗性基础。Edwards 等认为多酚、单宁、芥子油等植物次生代谢物质,是植物体内的化学防御基础^[23]。孟玲等发现棉花中酚含量与棉蚜的适应性呈负相关^[24];Gupta 和 Miles 研究表明,苹果树对苹果绵蚜的敏感性与组织中酚类化合物和氨基氮的比值呈负相关^[25]。本文表明,红富士和金帅正常枝条中总酚含量显著高于秦冠、红将军和昭锦 108,被害后各品种枝条内总酚含量增减不一,较不易感的秦冠与昭锦 108 出现明显上升,变化率分别达 28.1% 与 26.7%,约为红富士的 2 倍。这说明春梢生长期 5 种苹果枝条内总酚的含量没有明显影响苹果绵蚜对寄主的选择。可能是不同时期防御因子所起的作用不同,也可

能是在与寄主植物长期进化过程中,苹果绵蚜已经适应了苹果枝条酚类物质的变化。

3.4 防御性酶与植物抗虫性

植物的防御性酶与植物的抗虫性有密切关系。研究表明,PPO 可促进伤口的愈合^[26];POD 可清除生物体内产生的 H_2O_2 ;抗坏血酸过氧化物酶(AsA-POD)是叶绿体分解 H_2O_2 的关键酶^[27];过氧化物酶(POD)还能协同超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)清除活性氧对作物细胞的危害^[28]。黄伟等研究表明,苜蓿被蚜虫危害后 SOD、POD 和 CAT 活性上升^[29];谭永安等也证明,棉花被绿盲蝽危害后 SOD、POD 和 CAT 酶活性呈现动态变化^[28]。因此,植物的防御性酶能够清除有害物质,对植物抗虫性起重要作用。本文结果表明,正常红富士枝条 SOD 活性最低,显著低于金帅、红将军和昭锦 108,昭锦 108 正常枝条内 PPO 活性显著高于其他 4 个品种。昭锦 108 与红将军正常枝条内 POD 活性显著高于其他 3 个品种,红富士与金帅正常枝条内 CAT 活性显著低于其他 5 个品种。被害后各苹果枝条 SOD 活性均出现上升趋势,其中较不易感的秦冠更加敏感,上升率达 23.1%;被害后,除红将军外,其他 4 个品种的 PPO、POD 活性均升高,秦冠的上升率分别为 76.9% 和 113.0%,均达显著水平;被害后各品种 CAT 活性增减不一,易感的金帅、红富士上升明显,分别为 110.8%、45.5%,红将军也显著上升,秦冠、昭锦 108 则均明显下降,分别降低 29.7% 和 24.8%,这可能由于酶在不同寄主体内所处的地位不同所致。红将军被害后 PPO、POD 活性降低,但 CAT 活性升高,CAT 在红将军抗蚜性方面可能起重要作用;SOD、PPO、POD 可能在秦冠抗虫中起主要作用。综合分析,这四种酶与苹果对苹果绵蚜的抗性呈一定正相关。

植物的营养物质、次生代谢物质含量以及防御性酶的活性都与植物的抗逆性有关系。本文通过对春梢生长期 5 种苹果的相关实验发现,各品种正常枝条中生理指标有所差异,被害后变化也不同。综合分析发现,可溶性糖含量与苹果绵蚜的选择性呈正相关;防御性酶活性与苹果绵蚜的选择性呈一定负相关。总之,苹果春梢生长期抗性不同的苹果品种体内的可溶性糖、游离氨基酸、SOD、PPO、POD 以及 CAT 活性不同,而且被害后生理指标的变化也存在差异。然而,寄主对害虫的抗性差异是多方面的,除了生理上的差异外,还受形态、生长物候期等方面的影响,植物表面蜡质影响植食性昆虫对寄主植物的选择、取食和产卵^[30],植物在组织结构上对害虫的防卫作用有时甚至大于化学因素^[31]。所以,除了研究测定生长季节苹果绵蚜的发生与苹果树生理生化的内在联系与变化外,还应结合树体的形态、结构等方面的研究,进而全面综合地探究苹果树对苹果绵蚜的抗性机理。

References:

- [1] Zhao S F. The occurrence and Synthetical Prevention of the woolly apple aphid. *Plant Quarantine*, 2006, 20(5): 325-326.
- [2] Brown M W, Schmitt J J. Population dynamics of woolly apple aphid (Homoptera: Aphididae) in West Virginia apple orchards. *Environmental Entomology*, 1994, 23(5): 1182-1188.
- [3] Brown M W, Glenn D M, Wisniewski M E. Functional and anatomical disruption of apple roots by the woolly apple aphid (Homoptera: Aphididae). *Journal of Economic Entomology*, 1991, 84(6): 1823-1826.
- [4] Li D L, Xu G L, Wang P, Ma Z G, Dong Z D. Studies on biological character of Woolly Apple Aphid (*Eriosoma lanigerum* Hausm.). *Shanxi Fruits*, 2005, (3): 4-5.
- [5] Asante S K. Seasonal occurrence, development and reproductive biology of the different morphs of *Eriosoma lanigerum* (Hausmann) (Homoptera: Aphididae) in the Northern Tablelands of New South Wales. *Australian Journal of Entomology*, 1994, 33(4): 337-344.
- [6] Asante S K. Seasonal abundance of woolly apple aphid, *Eriosoma lanigerum* (Hausmann) and its important natural enemies in Armidale, Northern New South Wales. *Plant Protection Quarterly*, 1999, 14(1): 16-23.
- [7] Nicholas A H, Spooner-Hart R N, Vickers R A. Abundance and natural control of the woolly aphid *Eriosoma lanigerum* in an Australian apple orchard IPM program. *BioControl*, 2005, 50(2): 271-291.
- [8] Ateyyat M A, Al-Antary T M. Susceptibility of nine apple cultivars to woolly apple aphid, *Eriosoma lanigerum* (Homoptera: Aphididae) in Jordan. *International Journal of Pest Management*. 2009, 55(1): 79-84.
- [9] Deng J Q, Rui G S, Guan Y T, Yu Y Q, Zhang D M, Hong J Y. The selection of an apple stock line, Siberian crabapple JIN 67, immune from woolly apple aphid. *Acta Phytophylacica Sinica*, 1993, 20(3): 217-221.
- [10] Lin S D, Chen G, Feng K, Deng J Q. The relationship between the contents in apple branch and the resistance to *Eriosoma lanigerum* (Hausmann). *Entomological Knowledge*, 1995, 32(1): 26-27.

- [11] Sun D X, Shang X W, Shi G Y, Li C S, Liu J. Effect of four kinds of enzymes on resistance to aphid of spring wheat. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2006, 41(5): 45-49.
- [12] Shen A D, Li X D, Gong S X, Zhao X Q, Tan T. Occurrence situation and damage of woolly apple aphid in Zhaotong city. *Plant Quarantine*, 2006, 20(2): 117-118.
- [13] Zou Q. *The Experimental Guide for Plant Biochemistry*. Beijing: Chinese Agricultural Press, 1995: 59-99.
- [14] Han F G, Liu X Z, Jiao G Z. The use of Folin method for determining the total phenols content in tobacco leaves. *Acta Agriculturae Universitatis Henanensis*, 1993, 27(1): 95-98.
- [15] Hao J J, Kang Z L, Yu Y. *Plant Physiology Experiment Technology*. Beijing: Chemical Industry Press, 2006: 100-102.
- [16] Qin J D. The adaptations and co-evolution between insects and host plants. *Bulletin of Biology*, 1996, 31(1): 1-3.
- [17] Adkisson P L. The influence of fertilizer applications on population of *Heliothis zea* (Boddie) and certain insect predators. *Journal of Economic Entomology*, 1958, 51(6): 757-759.
- [18] Hsiao T H. Chemical basis of host selection and plant resistance in oligophagous insects. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1969, 12(5): 777-788.
- [19] Wei S Y, Xiao L B, Tan Y A, Zhao H X, Bai L X. Changes of physiological indices of host plants infested by *Lygus lucorum* Meyer-Dür (Hemiptera: Miridae). *Acta Phytophylacica Sinica*, 2010, 37(4): 359-364.
- [20] Chen J X, Song D L, Cai C Q, Cheng D F, Tian Z. Biochemical studies on wheat resistance to the grain aphid, *Rhopalosiphum padi*(L.). *Acta Entomologica Sinica*, 1997, 40(SI): 186-189.
- [21] Febvay G, Bonnin J, Rahbé Y, Bournoville R, Delrot S, Bonnemain J L. Resistance of different lucerne cultivars to the pea aphid *Acyrtosiphon pisum*: influence of phloem composition on aphid fecundity. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1988, 48(2): 127-134.
- [22] Auclair J L, Cartier J J. Pea aphid: rearing on a chemically defined diet. *Science*, 1963, 142(3595): 1068-1069.
- [23] Edwards P J, Wratten S D, Greenwood S. Palatability of British trees to insects: constitutive and induced defences. *Oecologia*, 1986, 69(2): 316-319.
- [24] Meng L, Li B P, Wang W Q, Yu N L. Studies on the resistance and mechanism of different cotton varieties to *Aphis gossypii* Glover in Xinjiang. *China Cotton*, 1999, 26(2): 8-10.
- [25] Gupta G C S, Miles P W. Studies on the susceptibility of varieties of apple to the feeding of two strains of Woolly Aphis (Homoptera) and relation to the chemical content of the tissues of the host. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1975, 26(1): 157-168.
- [26] Kowalski S P, Eannetta N T, Hirzel A T, Steffens J C. Purification and characterization of polyphenol oxidase from glandular trichomes of *Solanum berthaultii*. *Plant Physiology*, 1992, 100(2): 677-684.
- [27] Nakano Y, Asadak K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology*, 1981, 22(5): 867-880.
- [28] Tan Y A, Bai L X, Xiao L B, Wei S Y, Zhao H X. Herbivore stress by *Lygus lucorum* inducing protective enzyme activity and MDA content on different cotton varieties. *Cotton Science*, 2010, 22(5): 479-485.
- [29] Huang W, Jia Z K, Han Q F. Effects of herbivore stress by *Aphis medicaginis* Koch on the contents of MDA and activities of protective enzymes in different alfalfa varieties. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(6): 2177-2183.
- [30] Eigenbrode S D, Espelie K E. Effects of plant epicuticular lipids on insect Herbivores. *Annual Review of Entomology*, 1995, 40(1): 171-194.
- [31] Qin J D. Studies on insect-plant relationships: recent trends and prospect. *Acta Zoologica Sinica*, 1995, 41(1): 454-455.

参考文献:

- [1] 赵时峰. 苹果绵蚜的发生与综防技术. *植物检疫*, 2006, 20(5): 325-326.
- [4] 李大乱, 徐国良, 王鹏, 马振国, 董中东. 苹果绵蚜生物学特性研究. *山西果树*, 2005, (3): 4-5.
- [9] 邓家祺, 芮光绳, 关玉田, 于英群, 张栋民, 洪建源. 抗苹果绵蚜的苹果砧木免疫系-山荆子 JIN67. *植物保护学报*, 1993, 20(3): 217-221.
- [10] 林三冬, 陈钢, 冯凯, 邓家祺. 苹果枝梢化学成分与抗苹果绵蚜性的关系. *昆虫知识*, 1995, 32(1): 26-27.
- [11] 孙多鑫, 尚勋武, 师桂英, 李昌盛, 刘娟. 四种酶与春小麦抗蚜性的相关性研究. *甘肃农业大学学报*, 2006, 41(5): 45-49.
- [12] 湛爱东, 李讯东, 龚声信, 赵雪晴, 谭挺. 苹果绵蚜在昭通市的发生情况. *植物检疫*, 2006, 20(2): 117-118.
- [13] 邹琦. *植物生理生化实验指导*. 北京: 中国农业出版社, 1995: 59-99.
- [14] 韩富根, 刘学芝, 焦桂珍. 用福林法测定烟叶中总酚含量的探讨. *河南农业大学学报*, 1993, 27(1): 95-98.
- [15] 郝建军, 康宗利, 于洋. *植物生理学实验技术*. 北京: 化学工业出版社, 2006: 100-102.
- [16] 钦俊德. 昆虫与寄主植物的适应性及协调进化. *生物学通报*, 1996, 31(1): 1-3.
- [19] 魏书艳, 肖留斌, 谭永安, 赵洪霞, 柏立新. 不同寄主受绿盲蚜危害后生理代谢指标的变化. *植物保护学报*, 2010, 37(4): 359-364.
- [20] 陈建新, 宋敦伦, 采长群, 程登发, 田喆. 小麦抗禾缢管蚜的生化研究. *昆虫学报*, 1997, 40(增刊): 186-189.
- [24] 孟玲, 李保平, 王文全, 喻宁莉. 新疆棉花栽培品种对棉蚜抗性及其机制的研究. *中国棉花*, 1999, 26(2): 8-10.
- [28] 谭永安, 柏立新, 肖留斌, 魏书艳, 赵洪霞. 绿盲蚜危害对棉花防御性酶活性及丙二醛含量的诱导. *棉花学报*, 2010, 22(5): 479-485.
- [29] 黄伟, 贾志宽, 韩清芳. 蚜虫 (*Aphis medicaginis* Koch) 危害胁迫对不同苜蓿品种体内丙二醛含量及防御性酶活性的影响. *生态学报*, 2007, 27(6): 2177-2183.
- [31] 钦俊德. 昆虫与植物关系的研究进展和前景. *动物学报*, 1995, 41(1): 454-455.

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

CONTENTS

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

《生态学报》2012 年征订启事

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

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

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

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

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

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

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 7 期 (2012 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 7 2012

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071	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