

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

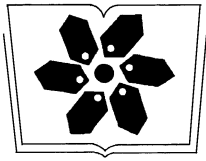
(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 3 期
Vol.31 No.3
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 3 期 2011 年 2 月 (半月刊)

目 次

景观生态学原理在城市土地利用分类中的应用	李伟峰, 欧阳志云, 肖 焱 (593)
中国特有濒危植物夏蜡梅的交配系统	赵宏波, 周莉花, 郝日明, 等 (602)
昆仑山北坡不同海拔塔里木沙拐枣的光合生理生态特性	朱军涛, 李向义, 张希明, 等 (611)
天山云杉天然林不同林层的空间格局和空间关联性	李明辉, 何风华, 潘存德 (620)
大气 CO ₂ 浓度升高对 B 型烟粉虱大小、酶活及其寄主的选择性影响	王学霞, 王国红, 戈 峰 (629)
桃小食心虫越冬幼虫过冷却能力及体内生化物质动态	王 鹏, 凌 飞, 于 毅, 等 (638)
象山港不同养殖类型海域大型底栖动物群落比较研究	廖一波, 寿 鹿, 曾江宁, 等 (646)
北部湾宝刀鱼的摄食生态	颜云榕, 杨厚超, 卢伙胜, 等 (654)
黄河三角洲自然保护区东方白鹤的巢址利用	段玉宝, 田秀华, 朱书玉, 等 (666)
贺兰山野化牦牛冬春季食性	姚志诚, 刘振生, 王兆铨, 等 (673)
杉木生长及土壤特性对土壤呼吸速率的影响	王 丹, 王 兵, 戴 伟, 等 (680)
中国干旱半干旱区潜在植被演替	李 飞, 赵 军, 赵传燕, 等 (689)
夜间增温和施肥对川西亚高山针叶林两种树苗根际效应的影响	卫云燕, 尹华军, 刘 庆, 等 (698)
洱海流域 44 种湿地植物的氮磷含量特征	鲁 静, 周虹霞, 田广宇, 等 (709)
杠柳幼苗对不同强度干旱胁迫的生长与生理响应	安玉艳, 梁宗锁, 郝文芳 (716)
柠条细根的空间分布特征及其季节动态	史建伟, 王孟本, 陈建文, 等 (726)
NaCl 和 Na ₂ SO ₄ 胁迫下两种刺槐叶肉细胞叶绿体超微结构	孟凡娟, 庞洪影, 王建中, 等 (734)
设施番茄果实生长与环境因子的关系	程智慧, 陈学进, 赖琳玲, 等 (742)
嫁接茄子根系分泌物变化及其对黄萎菌的影响	周宝利, 刘 娜, 叶雪凌, 等 (749)
华北地区冬小麦干旱风险区划	吴东丽, 王春乙, 薛红喜, 等 (760)
干旱胁迫条件下冷型小麦灌浆结实期的农田热量平衡	严菊芳, 张嵩午, 刘党校 (770)
秸秆不同还田量对宁南旱区土壤水分、玉米生长及光合特性的影响	高 飞, 贾志宽, 路文涛, 等 (777)
盐胁迫下不同基因型冬小麦渗透及离子的毒害效应	徐 猛, 马巧荣, 张继涛, 等 (784)
阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液对土壤氮及相关微生物的影响	母 容, 潘开文, 王进闯, 等 (793)
岷江上游油松与云杉人工林土壤微生物生物量及其影响因素	江元明, 庞学勇, 包维楷 (801)
荒漠沙蒿根围 AM 真菌和 DSE 的空间分布	贺学礼, 王银银, 赵丽莉, 等 (812)
百菌清对落叶松人工防护林土壤微生物群落的影响	邵元元, 王志英, 邹 莉, 等 (819)
居住区植物绿量与其气温调控效应的关系	李英汉, 王俊坚, 李贵才, 等 (830)
近 33 年白洋淀景观动态变化	庄长伟, 欧阳志云, 徐卫华, 等 (839)
舟山群岛旅游交通生态足迹评估	肖建红, 于庆东, 刘 康, 等 (849)
¹⁵ N 交叉标记有机与无机肥料氮的转化与残留	彭佩钦, 仇少君, 侯红波, 等 (858)
沉积物老化过程中 DOC 含量变化对菲吸附-解吸的影响	焦立新, 孟 伟, 郑丙辉, 等 (866)
湖南石门、冷水江、浏阳 3 个矿区的苧麻重金属含量及累积特征	余 玮, 揭雨成, 邢虎成, 等 (874)
问题讨论	
近 55a 来河西走廊荒漠绿洲区季节变化特征及其对胡杨年生长期的影响	刘普幸, 张克新 (882)
利用 HYSPLIT 模型分析麦蚜远距离迁飞前向轨迹	郁振兴, 武予清, 蒋月丽, 等 (889)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 302 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-02

阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液对土壤氮及相关微生物的影响

母 容¹, 潘开文^{1,*}, 王进闯¹, 陈其兵²

(1. 中国科学院成都生物研究所 生态恢复重点实验室, 成都 610041; 2. 四川农业大学风景园林学院, 成都 611100)

摘要:通过室内培养法,研究了不同浓度的阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液对土壤氮素、与氮素转化相关的微生物和酶的影响。结果表明,10⁻⁴ mol/L 阿魏酸和对羟基苯甲酸使土壤铵态氮降低了 11.18% 和 10.87%,硝态氮降低了 6.33% 和 3.95%; 10⁻³ mol/L 阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液分别使可溶性有机氮降低了 6.59%、10.16% 和 10.39%。阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液抑制了氨化细菌、硝化细菌和反硝化细菌的生长,削弱了土壤脲酶与蛋白酶的活性。与对照相比,10⁻⁴ mol/L 混合液降低了 26.04% 的氨化细菌、30.79% 的硝化细菌和 16.74% 的反硝化细菌。10⁻³ mol/L 阿魏酸减少了 3.33% 的土壤脲酶和 20.87% 的蛋白酶活性;10⁻³ mol/L 对羟基苯甲酸降低了土壤脲酶 6.63%,蛋白酶 22.94%;10⁻³ mol/L 混合液减少了土壤脲酶 7.47% 和蛋白酶 23.79%。混合液对土壤氮素转化的抑制作用最强,表明阿魏酸和对羟基苯甲酸存在协同作用。阿魏酸和对羟基苯甲酸等酚酸类化合物通过抑制土壤氮素转化微生物及其酶活性,从而影响土壤氮素转化。

关键词:阿魏酸;对羟基苯甲酸;土壤 N 素;抑制作用;协同作用

Effects of ferulic acid, p-hydroxybenzoic acid and their mixture on mineral nitrogen and relative microbial function groups in forest soils

MU Rong¹, PAN Kaiwen^{1,*}, WANG Jinchuang¹, CHEN Qibing²

1 ECORES Laboratory, Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China

2 College of Landscape Architecture, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611100, China

Abstract: Phenolic compounds is an important class of plant secondary metabolites, whose molecular structure contains at least one hydroxyl connected directly to the benzene ring on the aromatic compounds. Phenolic compounds in the soils from the decomposition of plant parts and their residues play an important role in soil nitrogen (N) transformations by altering soil microbial activity. Previous studies of effects of phenolic compounds on soil N transformations and relative microbial activities have focused on macromolecular phenolic compounds such as tannic acids. However, the effects of lower molecular weight phenolic compounds such as ferulic acid and p-hydroxybenzoic acid on soil N transformations are not well understood. In this paper, concentrations of 10⁻⁴ mol/L and 10⁻³ mol/L of ferulic acid, p-hydroxybenzoic acid and their mixture were respectively added to forest soils for investigating the effects of phenolic compounds on soil mineral N, microbes and enzyme activity within one month incubation under room temperature.

The results showed that concentrations of NH₄⁺-N, NO₃⁻-N and dissolved organic N (DON) were lower in the soils amended with different phenolic acids than those without any such amendment. NH₄⁺-N was respectively reduced by 11.2% and 10.9% in the soils with the addition of 10⁻⁴ mol/L ferulic acid and p-hydroxybenzoic acid. The addition of these ferulic acid and p-hydroxybenzoic acid lowered the soil NO₃⁻-N by 6.3% and 4.0%. The addition of 10⁻³ mol/L ferulic acid, p-hydroxybenzoic and the mixture decreased DON by 6.6%, 10.2% and 10.4%, respectively. Ammonifiers, nitrifiers,

基金项目:国家“十一五”科技攻关项目子课题资助项目(2006BAC01A15);中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX2-XB2-02-01-03)

收稿日期:2009-12-20; **修订日期:**2010-06-13

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: pankw@cib.ac.cn.

denitrifiers and microbial enzymes in the soils were inhibited by the addition of these phenolic compounds. The quantities of ammonifiers, nitrifiers and denitrifiers were lowered by 26.0%, 30.8% and 16.7% respectively in the soils amended with the mixture addition in comparison with the control. These suggested that hydroxyl groups in phenolic compounds could be a major functional group inhibiting activities of ammonifiers, nitrifiers and denitrifiers in the soils. Ferulic acid, p-hydroxybenzoic acid and their mixture greatly decreased the activities of urease and protease. The activities of urease and protease were reduced by 3.3% and 20.9% respectively with the addition of 10^{-3} mol/L ferulic acid, and reduced by 6.6% and 22.9% with the addition of 10^{-3} mol/L p-hydroxybenzoic. The mixture of 10^{-3} mol/L inhibited the activity of urease by 7.5% and that of protease by 23.8%. Phenolic compounds entering into the soils could lead to the imbalance between intracellular microbial enzymes and extracellular enzymes and change in conformation of these enzymes. The mixture of ferulic acid and p-hydroxybenzoic acid having the greatest inhibition indicated that there was a synergistic effect on soil N transformations between ferulic acid and p-hydroxybenzoic acid. This study suggests that phenolic acids such as ferulic acid and p-hydroxybenzoic acid released from the plant litters, could inhibit microbial functional groups (ammonifiers, nitrifiers and denitrifiers) and enzyme activity (urease and protease) related to the N transformations in the soils, and thereby lower the available N in the soils for plants growth, which could be one of the major detrimental factors for the continuous cropping systems.

Key Words: ferulic acid; p-hydroxybenzoic acid; soil nitrogen; inhibition; synergistic effect

酚酸类化合物是广泛存在于植物中的一类重要的次生代谢产物,具有十分重要的生理和生态功能,如抵御不良环境^[1-5]、作为生态系统管理指示指标^[6]以及扮演化感物质角色^[7-9]等。

土壤中的酚酸类物质来自植物及其残体分解。它对土壤养分循环尤其对由微生物调控的氮循环过程的影响已受到了广泛的关注^[10-13]。它能增加土壤微生物活性,从而提高土壤氮的固定^[14-15];也可抑制土壤微生物活性^[16],进而抑制土壤氮素矿化^[17]。酚酸类物质对土壤氮循环及其相关微生物的影响过程十分复杂,这与酚酸类物质的种类、结构以及土壤微生物的生理生态学特性有关^[11],但相关研究十分薄弱。

有关酚酸类物质对土壤氮的影响研究主要集中在高分子量的酚酸类化合物(如单宁酸),包括对土壤可溶性氮^[11,18]和氮素转化^[14,19]的影响;而对低分子量的常见酚酸如对羟基苯甲酸、阿魏酸、香草酸、丁香酸和香豆酸等^[9]的研究则主要集中在促进土壤呼吸和微生物量^[20-21],影响土壤真菌、放线菌、氨化细菌等微生物的生长,改变土壤微生物群落结构^[22-24],降低土壤有机氮^[25]和有效氮^[21,26]含量,影响土壤氮转化酶的活性^[24,27]以及酚羟基抑制土壤氮硝化^[28]等方面。酚酸化合物对土壤氮素及其微生物和酶活性的影响研究还不多见,深入研究进入土壤中的酚酸化合物的动态及其对土壤氮素转化的作用机理,有助于对土壤氮的健康管理,从而提高土壤质量与生物生产力^[11]。

本文以阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液为例,研究其对土壤无机氮素(铵态氮、硝态氮、矿质氮)以及可溶性有机氮的影响,并通过研究其对与土壤氮素转化相关的微生物类群(氨化细菌、硝化细菌、反硝化细菌)的数量以及转化酶(脲酶、蛋白酶)活性的影响来揭示其对土壤无机氮和可溶性有机氮的影响机理。

1 材料与方法

1.1 实验材料

试验盆高 10cm、直径 12cm。试验用土取自茂县生态站(E103°51'04"—56°51',N31°41'10"—44°53')22 年生桦山松与油松人工混交林 0—20cm 表层土,海拔 1600—1780m,年均温 8.9℃,年积温 1 690.8℃,年降水量 900mm,年蒸发量 795.8mm,属暖温带气候。土壤为淋溶褐土,厚度 10—30cm,pH 5.8—6.0。将所取土壤在去除石砾、动植物残体等杂质后,过 2mm 筛,混合均匀,并随机取部分样品按照我国部颁标准测定方法测定土壤理化性质(表 1)。供试的酚酸类物质为阿魏酸、对羟基苯甲酸。

表 1 土壤理化性质
Table 1 Soil physical and chemical properties

pH	OM /(%)	TN /(g/kg)	NH ₄ ⁺ -N /(mg/kg)	NO ₃ ⁻ -N /(mg/kg)	C/N
5.6	14.53	7.49	10.28	38.69	11.42

OM: 有机质 Organic matter; TN: 总氮 Total nitrogen; NH₄⁺ -N: 铵态氮 Ammonium nitrogen; MNO₃⁻ -N: 硝态氮 Nitrate nitrogen; C/N: 碳氮比
The ratio of carbon to nitrogen

1.2 酚酸类物质处理液配制

称取一定量的阿魏酸(A)、对羟基苯甲酸(B),用蒸馏水配制成 10⁻⁴和 10⁻³mol/L 酚酸处理液,分别表述为 A1、A2 和 B1、B2,两种浓度的阿魏酸和对羟基苯甲酸混合液(H)则按两种酚酸化合物等浓度等体积混合而成,表述为 H1 和 H2。

1.3 培养方法

将采来的土样去掉植物细根及杂质并过 2mm 筛,混和均匀,然后装盆(盆口直径为 12cm,深度为 10 cm),每盆盛土 200g(鲜土,含水率 54.56%),同时用不同浓度的阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液处理,处理浓度分别为 0、10⁻⁴mol/L 和 10⁻³mol/L,即 CK、A1、A2、B1、B2、H1、H2。实验处理 28 盆土壤,共 7 个处理,每个处理重复 4 次。每盆施加 10mL 处理液,每周施加 1 次,恒温 25℃培养 30d,根据盆内土壤的湿度适当浇水。培养结束后,测定盆内土壤铵态氮、硝态氮、可溶性有机氮、有机质,氨化细菌、硝化细菌、反硝化细菌,土壤脲酶和蛋白酶等指标。

1.4 测定方法

1.4.1 土壤理化性质

土壤含水量(质量法,GB 7883187);pH 值(水浸,GB 7859187);铵态氮含量(氯化钾浸提-靛酚蓝比色法)^[29];硝态氮含量用紫外分光光度法测定^[30];铵态氮和硝态氮之和为无机氮的含量;可溶性有机氮用 TOC 分析仪测定^[31]。

1.4.2 N 素转化微生物

氨化细菌采用牛肉膏蛋白胨氨化培养基平板法,硝化细菌和反硝化细菌均采用稀释培养测数法(MPN 法)^[32]测定。

1.4.3 N 素转化酶活性

脲酶和蛋白酶分别采用比色法与茚三酮比色法测定^[33]。

1.5 数据处理

采用 SPSS 12.0 软件进行单因素方差分析和 LSD 检验。

2 结果

2.1 土壤无机氮、可溶性有机氮及有机质

阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液显著降低了土壤铵态氮含量($P < 0.05$),并随着浓度的增加,抑制作用增强。与对照相比,10⁻⁴mol/L 阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液分别显著减少了 11.18%、10.87% 和 12.67% 的土壤铵态氮($P < 0.05$);10⁻³mol/L 阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液也分别显著削弱了 14.23%、17.31% 和 26.08% 的铵态氮,降低效应与酚酸浓度同步消长(表 2)。

阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液显著降低了土壤硝态氮($P < 0.05$),其中,10⁻⁴mol/L 和 10⁻³mol/L 混合液对土壤硝态氮的抑制作用最强($P < 0.05$),分别减少了 6.63% 和 14.70%。10⁻⁴mol/L 和 10⁻³mol/L 阿魏酸显著减少了 6.33% 和 13.10% 的硝态氮($P < 0.05$)。10⁻³mol/L 对羟基苯甲酸也显著降低了 14.42% 的土壤硝态氮($P < 0.05$)。

酚酸对无机氮含量的抑制效应不如铵态氮与硝态氮的明显,仅 10⁻³mol/L 的阿魏酸、对羟基苯甲酸和混合液显著抑制了其含量($P < 0.05$),抑制率为 8.40%、10.20% 和 12.44%。

阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液对有机质含量的抑制效应不显著。 10^{-3} mol/L 阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液显著削弱了土壤可溶性有机氮含量($P < 0.05$), 其中, 混合液的抑制效应最强, 抑制率为 10.39%; 阿魏酸和对羟基苯甲酸分别减少了 6.59% 和 10.16% 的可溶性有机氮(表 2)

表 2 阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液对土壤 N 素和有机质含量的影响

Table 2 Effects of ferulic acid, p-hydroxybenzoic acid and their mixture on the contents of nitrogen and organic matter in the soil

处理 Treatment	$\text{NH}_4^+ \text{-N}$ /(mg/kg)	$\text{NO}_3^- \text{-N}$ /(mg/kg)	$\text{NH}_4^+ \text{-N} + \text{NO}_3^- \text{-N}$ /(mg/kg)	DON / (mg/kg) dissolved organic nitrogen	OM/%
CK (Control)	9.17 $\pm$ 0.34a	33.34 $\pm$ 0.96a	42.51 $\pm$ 1.16a	59.07 $\pm$ 0.70a	14.86 $\pm$ 0.17a
A1 (10^{-4} mol/L FA)	8.14 $\pm$ 0.30b	31.22 $\pm$ 0.52b	39.36 $\pm$ 0.84a	57.22 $\pm$ 1.91ab	14.78 $\pm$ 0.25a
A2 (10^{-3} mol/L FA)	7.86 $\pm$ 0.45b	28.97 $\pm$ 0.27c	36.83 $\pm$ 0.94b	55.18 $\pm$ 0.92b	14.73 $\pm$ 0.26a
B1 (10^{-4} mol/L p-HBA)	8.17 $\pm$ 0.37b	32.02 $\pm$ 1.00a	40.19 $\pm$ 1.77ab	56.71 $\pm$ 1.41ab	14.64 $\pm$ 0.12a
B2 (10^{-3} mol/L p-HBA)	7.58 $\pm$ 0.43b	28.53 $\pm$ 1.03b	36.11 $\pm$ 1.72b	53.07 $\pm$ 1.43b	14.60 $\pm$ 0.13a
H1 (10^{-4} mol/L Mixture)	8.00 $\pm$ 0.27b	31.13 $\pm$ 0.28b	39.13 $\pm$ 0.51a	56.69 $\pm$ 0.36b	14.77 $\pm$ 0.15a
H2 (10^{-3} mol/L Mixture)	6.78 $\pm$ 0.40b	28.43 $\pm$ 0.21c	35.21 $\pm$ 0.75b	52.94 $\pm$ 0.42c	14.64 $\pm$ 0.07a

表中数值为平均值 $\pm$ SE, 数值后的字母表示进行 LSD 多重比较时在 $\alpha = 0.05$ 水平上的差异显著性, 同一列中具不同字母表示差异显著/下同

2.2 土壤微生物数量

阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液对土壤 N 素转化微生物类群的影响明显(表 3)。与对照相比, 10^{-3} mol/L 的阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液显著抑制了土壤氨化细菌的数量, 其中, 混合液的抑制作用最强, 抑制率为 29.20%; 阿魏酸和对羟基苯甲酸分别减少了 17.36% 和 21.39% 的氨化细菌。此外, 10^{-4} mol/L 混合液显著降低了 26.04% 的氨化细菌($P < 0.05$)。酚酸还减少了土壤中的硝化与反硝化细菌的数量, 尤其对硝化细菌的削弱效应最为显著。 10^{-3} mol/L 混合液对土壤硝化细菌和反硝化细菌的抑制作用最强, 抑制率分别是 38.82% 和 46.96%。

表 3 阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合物对土壤微生物数量的影响

Table 3 Effects of ferulic acid, p-hydroxybenzoic acid and their mixture on microbes

处理 Treatment	氨化细菌 Ammonifier /(10^6 CFU/g $\pm$)	硝化细菌 Nitrifier /(10^3 CFU/g $\pm$)	反硝化细菌 Denitrifier /(10^4 CFU/g $\pm$)
CK (Control)	13.26 $\pm$ 0.84a	9.97 $\pm$ 0.34a	4.60 $\pm$ 0.75a
A1 (10^{-4} mol/L FA)	12.08 $\pm$ 0.33a	6.96 $\pm$ 0.45b	3.87 $\pm$ 0.81ab
A2 (10^{-3} mol/L FA)	10.96 $\pm$ 0.62b	6.22 $\pm$ 0.70b	2.49 $\pm$ 0.56b
B1 (10^{-4} mol/L p-HBA)	14.67 $\pm$ 0.61a	6.97 $\pm$ 0.31b	3.87 $\pm$ 0.92ab
B2 (10^{-3} mol/L p-HBA)	10.42 $\pm$ 0.76b	6.15 $\pm$ 0.61c	3.07 $\pm$ 0.31b
H1 (10^{-4} mol/L Mixture)	9.81 $\pm$ 0.69b	6.90 $\pm$ 0.73b	3.83 $\pm$ 0.42ab
H2 (10^{-3} mol/L Mixture)	9.39 $\pm$ 0.72b	6.10 $\pm$ 0.34c	2.44 $\pm$ 0.67b

2.3 土壤酶活性

与对照相比, 10^{-3} mol/L 的阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液显著降低了脲酶活性($P < 0.05$), 降低率为 3.33%、6.63% 和 7.47%, 10^{-4} mol/L 对羟基苯甲酸也显著抑制了 4.56% 的脲酶活性($P < 0.05$)(图 1)。酚酸类化合物抑制了土壤蛋白酶活性, 其中, 10^{-4} mol/L 和 10^{-3} mol/L 混合液对蛋白酶的抑制作用最强, 抑制率分别为 17.01% 和 23.79%, 10^{-4} mol/L 和 10^{-3} mol/L 阿魏酸显著降低了 15.91% 和 20.87% 的蛋白酶($P < 0.05$), 10^{-4} mol/L 和 10^{-3} mol/L 对羟基苯甲酸也显著减少 9.94% 和 22.94% 的蛋白酶活性($P < 0.05$)(图 1)。

3 讨论

3.1 阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液对土壤 N 素转化微生物的影响

本文施入的阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液若折算为碳, 则相当于施加了总量为 2.60—37.09 $\mu\text{g/g}$ (土

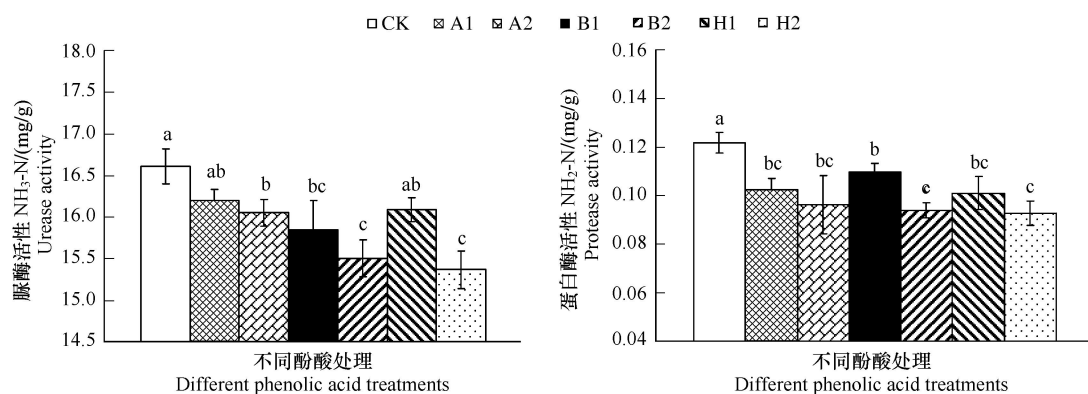


图1 酚酸对土壤脲酶和蛋白酶活性的影响

Fig. 1 Effects of phenolic acids on the activities of urease and protease in soil

CK: 对照 Control; A: 阿魏酸 Ferulic acid (FA); B: 对羟基苯甲酸 p-hydroxybenzoic acid (p-HBA); H: 混合液 Mixtrue; 1: 10^{-4} mol/L; 2: 10^{-3} mol/L

壤)的碳进入培养土。添加入土壤中的阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液可作为微生物碳源,从而促进土壤微生物的生长^[14-15]。结果表明添加的阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液显著抑制了土壤氨化细菌、硝化细菌和反硝化细菌的生长(表3),这是因为酚羟基对土壤中的硝化微生物具有毒性作用,是抑制土壤硝化微生物的主要作用基团^[28]。本文结果显示,酚羟基可能对氨化细菌和反硝化细菌也具有毒性作用。

阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液对土壤氨化细菌、硝化细菌和反硝化细菌的抑制作用强弱与酚酸类化合物的浓度有关,酚酸类化合物的浓度越大,则抑制强度就越大,反之,则相反(表3)。混合液按照等体积等浓度配制,就本文中的单个酚酸物质而言,其浓度减半,理论上推测,抑制强度应减弱;但是与单个酚酸具有相同浓度的混合液却有更强的抑制效应(表3),表明多个酚酸类物质的协同抑制强度高于单个酚酸物质的抑制强度^[34-36]。

阿魏酸和对羟基苯甲酸对土壤氨化细菌、硝化细菌与反硝化细菌的抑制效应间的差异很小,反映了两种酚酸类物质都具有相似的抑制效应;但两种物质在同浓度下对硝化细菌的抑制效应是有显著差异的(如表3中的A2和B2),这是因为尽管酚羟基对氮素转化菌群具有毒性作用,但酚羧基或酚乙烯基可在一定程度上抵消酚羟基的抑制作用^[28],从而导致不同的酚酸类物质对土壤氮素转化微生物的影响程度不同^[14-16]。

3.2 阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液对土壤N素转化酶的影响

阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液之间对蛋白酶和脲酶的抑制效应有差异(图1),表明酚酸对土壤酶的作用效应与酚酸和酶的种类有关^[27]。不同浓度的阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液抑制了蛋白酶和脲酶活性,随着酚酸浓度的增加,抑制作用增强,其中, 10^{-3} mol/L混合液具有最强的抑制效应(图1)。这是因为酚酸类物质进入土壤后,导致土壤微生物胞内酶、胞外酶比例失调或改变酶的构象,同时,酚酸物质可直接作用于土壤酶,从而影响土壤酶活性^[24,27]。土壤酶主要来自土壤微生物,酚酸抑制了氨化细菌、硝化细菌和反硝化细菌的生长(表3),也导致土壤脲酶和蛋白酶活性降低。

袁光林施加比本文浓度更高的阿魏酸到土壤中,发现阿魏酸促进了土壤脲酶活性^[27],其受试土壤养分水平较低、pH值较高(pH 6.5),进入土壤的酚酸很快在微生物作用下转化为其他物质而作为微生物的碳源,促进了微生物生长和繁殖,进而刺激了土壤脲酶活性^[27]。本文结果与之不同,表现为抑制(图1),这是因为土壤脲酶活性在接近中性(pH 6.5—7)的环境中最高^[33],本文的土壤为酸性环境(pH 5.6),酚酸物质在酸性土壤中更易抑制土壤脲酶活性^[37]。

马云华等先用浓度为160 μ g/g的苯甲醛、阿魏酸、香草醛和对羟基苯甲酸4种物质的混合液处理土壤,后栽黄瓜幼苗,发现随酚酸类物质浓度的增加,土壤脲酶与蛋白酶先升高后降低^[24]。植物根系分泌物可作为酶的直接来源,也可被微生物吸收与利用,刺激微生物生长,从而提高微生物酶活性;本实验因缺乏根系分泌物

的影响作用,所以,酚酸类物质抑制了土壤脲酶和蛋白酶(图1)。

可见,酚酸类物质对土壤酶的作用效应十分复杂,除与酚酸类物质和酶的种类、施用浓度有关外^[24,27],还与土壤理化性质以及所种植的植物的生物生态学特性有关^[38]。

3.3 阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液对土壤氮组分的影响

从不溶解的有机氮转化为溶解的有机氮是氮矿化的最初和限速步骤。因此,可溶性有机氮是氮循环的重要底物^[39],也是微生物生长的重要氮源^[40],研究土壤 DON 的变化有助于更好地理解土壤氮循环^[41]。阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液降低了土壤 DON 含量,这与 Inderjit 等发现儿茶酚、对羟基苯甲酸等酚类物质降低了土壤有机氮含量^[25]的结果相同。土壤 DON 是土壤有机氮的重要组分,酚酸物质通过影响土壤有机氮而影响了土壤 DON 含量。氨化细菌将土壤有机氮转化为铵态氮;铵态氮在硝化细菌的作用下,转化为亚硝态氮或硝态氮;亚硝态氮和硝态氮在反硝化细菌的作用下转化为气态氮;铵态氮、亚硝态氮和硝态氮在硝化细菌、反硝化细菌的作用下,可发生逆向转化^[17,42]。脲酶和蛋白酶是催化土壤氮素转化过程中的重要酶^[33];因此,只要参与氮素转化的土壤微生物功能菌群与酶活性受到抑制,土壤氮转化过程就会受到影响。阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液显著抑制了参与氮素转化的土壤酶活性、微生物功能菌及供其生长的可溶性有机氮源(图1、表2和表3),所以,导致了土壤无机氮含量显著降低(表2),这与陈龙池和吕卫光报道的添加对羟基苯甲酸减少土壤有效氮含量的结果是一致的^[21,26]。

C/N 是描述土壤质量的一个重要指标,低的 C/N 有利于土壤 N 矿化^[42]。本文施加的酚酸类物质虽然提高了 C/N,但提高的幅度非常小,可忽略不计,这表明土壤矿质氮的降低不是因为土壤 C/N 的变化所引起,而是因为酚酸类化合物对土壤微生物、酶活性产生抑制作用(表3和图1)进而紊乱土壤氮的正常矿化所致(表1)。

3.4 酚酸类化合物是导致作物连作障碍的重要化感物质

由于阿魏酸、对羟基苯甲酸等低分子量的酚酸类物质广泛分布于土壤中,所以,这些物质是否是化感物质尚存在争论^[43]。

植物通过挥发、淋溶、根系分泌、凋落物及其残体分解等方式向土壤添加酚酸类化合物,尤其凋落物在分解过程中产生脉冲式的酚酸类化合物,如花椒凋落物在分解第10 d,释放酚酸量最大(2.77 mg/g)^[44],从而导致土壤酚酸含量脉冲式增加。自然状态下几种常见水溶性酚酸在土壤中的含量为0.1—30 $\mu\text{g/g}$,少数高达60—100 $\mu\text{g/g}$ ^[45]。土壤酚酸物质含量与作物或森林类型以及连作茬次有关,如阿魏酸和对羟基苯甲酸在二代杨树林根际土壤中高达6.5和152 $\mu\text{g/g}$ ^[23],在黄瓜连作9年的日光温室土壤中,阿魏酸和对羟基苯甲酸为33.12和9.59 $\mu\text{g/g}$ ^[24]。本实验添加入土壤的酚酸浓度为1.07—15.01 $\mu\text{g/g}$,远小于连作过程中土壤积累的酚酸类化合物的浓度,但施入土壤的低浓度酚酸物质仍然抑制了土壤氮转化及相关微生物与酶活性。可见,连作土壤中积累的酚酸会抑制土壤氮素转化,减少土壤对满足植物生长所需要的氮的供应,从而抑制作物生长,导致连作障碍。同时,本研究表明阿魏酸和对羟基苯甲酸等酚酸类化合物具有化感活性,能影响土壤氮素转化微生物和酶活性,进而抑制土壤氮素转化及其有效性。

References:

- [1] Rivero R M, Ruiz J M, García P C, López-Lefebvre L R, Sánchez E, Romero L. Resistance to cold and heat stress: accumulation of phenolic compounds in tomato and watermelon plants. *Plant Science*, 2001, 160(2): 315-321.
- [2] Bgidez A G, Gómez P, Del Río J A, Ortuño A. Antifungal capacity of major phenolic compounds of *Olea europaea* L. against *Phytophthora megasperma* Drechsler and *Cylindrocarpum destructans* (Zinssm.) Scholten. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 2006, 69(4/6): 224-229.
- [3] Posmyk M M, Kontek R, Janas K M. Antioxidant enzymes activity and phenolic compounds content in red cabbage seedlings exposed to copper stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2009, 72(2): 596-602.
- [4] Wang C, Xu G Y, Ge C C, Mao Z Q. Progress on the phenolic acid substances and plant soil sickness. *Northern Horticulture*, 2009, (3): 134-137.

- [5] Saviranta N M M, Julkunen-Tiitto R, Oksanen E, Karjalainen R O. Leaf phenolic compounds in red clover (*Trifolium pratense* L.) induced by exposure to moderately elevated ozone. *Environmental Pollution*, 2010, 158(2): 440-446.
- [6] Cannac M, Pasqualini V, Barboni T, Morandini F, Ferrat L. Phenolic compounds of *Pinus laricio* needles: A bioindicator of the effects of prescribed burning in function of season. *Science of the Total Environment*, 2009, 407(15): 4542-4548.
- [7] Kaur H, Inderjit, Kaushik S. Cellular evidence of allelopathic interference of benzoic acid to mustard (*Brassica juncea* L.) seedling growth. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2005, 43(1): 77-81.
- [8] Lu W G, Zhang C L, Yuan F, Peng Y. Mechanism of allelochemicals inhibiting continuous cropping cucumber growth. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35(1): 106-109.
- [9] Chou C H, Leu L L. Allelopathic substances and activities of *Delonix regia* Raf. *Journal of Chemical Ecology*, 1992, (18): 353-367.
- [10] Gianfreda L, Iamarino G, Scelza R, Rao M A. Oxidative catalysts for the transformation of phenolic pollutants: a brief review. *Biocatalysis and Biotransformation*, 2006, 24(3): 177-187.
- [11] Halvorson J J, Gonzalez J M, Hagerman A E, Smith J L. Sorption of tannin and related phenolic compounds and effects on soluble-N in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41(9): 2002-2010.
- [12] Hättenschwiler S, Vitousek P M. The role of polyphenols in terrestrial ecosystem nutrient cycling. *Trends in Ecology and Evolution*, 2000, 15(16): 238-243.
- [13] Kraus T E C, Dahlgren R A, Zasoski R J. Tannins in nutrient dynamics of forest ecosystems-a review. *Plant and Soil*, 2003, 256(1): 41-66.
- [14] Kraus T E C, Zasoski R J, Dahlgren R A, Horwath W R, Preston C M. Carbon and nitrogen dynamics in a forest soil amended with purified tannins from different plant species. *Soil Biology and Biochemistry*, 2004, 36(2): 309-321.
- [15] Castells E, Penuelas J, Valentine D W. Effects of plant leachates from four boreal understorey species on soil N mineralization, and white spruce (*Picea glauca*) germination and seedling growth. *Annals of Botany*, 2005, 95(7): 1247-1252.
- [16] Joannis G D, Bradley R L, Preston C M, Munson A D. Soil enzyme inhibition by condensed litter tannins may drive ecosystem structure and processes: the case of *Kalmia angustifolia*. *New Phytologist*, 2007, 175(3): 535-546.
- [17] Pan K W, Xu Z H, Blumfield T J, Tutua S, Lu M X. Application of ($^{15}\text{NH}_4$) $_2\text{SO}_4$ to study N dynamics in hoop pine plantation and adjacent native forest of subtropical Australia: the effects of injection depth and litter addition. *Journal of Soils and Sediments*, 2009, 9(6): 515-525.
- [18] Halvorson J J, Gonzalez J M. Tannic acid reduces recovery of water-soluble carbon and nitrogen from soil and affects the composition of Bradford-reactive soil protein. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40(1): 186-197.
- [19] Kanerva S, Kitunen V, Kiikkilä O, Loponen J, Smolander A. Response of soil C and N transformations to tannin fractions originating from Scots pine and Norway spruce needles. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, 38(6): 1364-1374.
- [20] Sparling G P, Ord B G, Vaughan D. Changes in microbial biomass and activity in soils amended with phenolic acids. *Soil Biology and Biochemistry*, 1981, 13(6): 455-460.
- [21] Lu W G, Shen Q R, Yu T Y, Zhu H T. The effect of added phenolic acids on soil enzyme activities and nutrients. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2006, 12(6): 845-849.
- [22] Blum U, Shafer S R. Microbial populations and phenolic acids in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 1988, 20(6): 793-800.
- [23] Tan X M, Wang H T, Kong L G, Wang Y P. Accumulation of phenolic acids in soil of a continuous cropping Poplar plantation and their effects on soil microbes. *Journal of Shandong University: Natural Science edition*, 2008, 43(1): 14-19.
- [24] Ma Y H, Wang X F, Wei M, Qi Y F, Li T L. Accumulation of phenolic acids in continuously cropped cucumber soil and their effects on soil microbes and enzyme activities. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(11): 2149-2153.
- [25] Inderjit, Mallik A U. Effect of phenolic compounds on selected soil properties. *Forest Ecology and Management*, 1997, 92(1/3): 11-18.
- [26] Chen L C, Liao L P, Wang S L, Huang Z Q. Effect of exotic toxin on the nutrition of woodland soil. *Chinese Journal of Ecology*, 2002, 21(1): 19-22.
- [27] Yuan G L, Ma R X, Liu X F, Sun S E. Effects of allelochemicals on uricase activity. *Environmental Science*, 1998, 19(2): 55-57.
- [28] Wu E, Liu X Y, Zhu X R. The effects of groups in phenolic compounds on inhibition of nitrification in soil. *Environmental Chemistry*, 1999, 18(5): 398-403.
- [29] Sun H L, Liu G S. Soil physical and chemical analysis & description of soil profiles//Sun H L, Liu G S, eds. *Standards Methods for Observation and Analysis in Chinese Ecosystem Research Network*. Beijing: Standards Press of China, 1996: 34-35.
- [30] Lao J C. *Handbook of Soil Agricultural Chemistry Analysis*. Beijing: Agriculture Press, 1988: 266-281.
- [31] Jones D L, Willett V B. Experimental evaluation of methods to quantify dissolved organic nitrogen (DON) and dissolved organic carbon (DOC) in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, 38(5): 991-999.
- [32] Xu G H, Zheng H Y. *The Handbook of Analyse Means to Edaphon*. Beijing: Agriculture Publishing House, 1986: 110-118.

- [33] Guan S Y. Soil Enzyme and Study Method. Beijing: Agricultural Press, 1986: 274-305.
- [34] Chen L C, Liao L P, Wang S L, Huang Z Q, Gao H. Effect of phenolics on ^{15}N nutrient absorption and distribution of *cunninghamia lanceolat*. *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, 26(5): 525-532.
- [35] Blum U. Allelopathic interactions involving phenolic acids. *The Society of Nematologists*, 1996, 28(3): 259-267.
- [36] Gerig T M, Blum U. Effects of mixtures of four phenolic acids on leaf area expansion of cucumber seedlings grown in Portsmouth B1 soil materials. *Journal of Chemical Ecology*, 1991, 17(1): 29-40.
- [37] Wu F Z, Zhao F Y, Ma F M. Phenolic acid substances and allelopathymechanisms. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2001, 32(4): 402-407.
- [38] Huang G B, Chai Q, Huang P. Review on influence factors of plant allelopathy. *Acta Pratacul Turae Sinica*, 2005, 14(2): 16-22.
- [39] Jones D L, Shannon D, Murphy D V, Farrar J. Role of dissolved organic nitrogen (DON) in soil N cycling in grassland soils. *Soil Biology Biochemistry*, 2004, 36(5): 749-756.
- [40] Kalbitz K, Solinger S, Park J H, Michalzik B, Matzner E. Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: a review. *Soil Science*, 2000, 165(4): 277-304.
- [41] Li W, Pan K W, Wu N, Wang J C, Han C M, Liang X L. Effects of mixing pine and broadleaved tree/shrub litter on decomposition and N dynamics in laboratory microcosms. *Ecological Research*, 2009, 24(4): 761-769.
- [42] Pan K W, Xu Z H, Blumfield T, Totua S, Lu M X. *In situ* mineral ^{15}N dynamics and fate of added $^{15}\text{NH}_4^+$ in hoop pine plantation and adjacent native forest in subtropical Australia. *Journal of Soil Sediments*, 2008, 8(6): 398-405.
- [43] Kong C H. Problems needed attention on plant allelopathy research. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1998, 9(3): 332-336.
- [44] Liang X L, Pan K W, Wang J C. Releasing dynamics of phenolic acid during *Zanthoxylum bungeanum* litter decomposition and effects of its aqueous extract on soil chemical properties. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(10): 4676-4684.
- [45] Li C H, Li M H, He S J, Chen X H. Studies on phenolic content and variation in soils of chinese-fir and broad-leaved stands. *Scientia Silvae Sinicae*, 2002, 38(12): 9-14.

参考文献:

- [4] 王闯, 徐公义, 葛长城, 毛志泉. 酚酸类物质和植物连作障碍的研究进展. *北方园艺*, 2009, (3): 134-137.
- [8] 吕卫光, 张春兰, 袁飞, 彭宇. 化感物质抑制连作黄瓜生长的作用机理. *中国农业科学*, 2002, 35(1): 106-109.
- [21] 吕卫光, 沈其荣, 余廷园, 诸海涛. 酚酸化合物对土壤酶活性和土壤养分的影响. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(6): 845-849.
- [23] 谭秀梅, 王华田, 孔令刚, 王延平. 杨树人工林连作土壤中酚酸积累规律及对土壤微生物的影响. *山东大学学报(理学版)*, 2008, 43(1): 14-19.
- [24] 马云华, 王秀峰, 魏珉, 亓延凤, 李天来. 黄瓜连作土壤酚酸类物质积累对土壤微生物和酶活性的影响. *应用生态学报*, 2005, 16(11): 2149-2153.
- [26] 陈龙池, 廖利平, 汪思龙, 黄志群. 外源毒素对林地土壤养分的影响. *生态学杂志*, 2002, 21(1): 19-22.
- [27] 袁光林, 马瑞霞, 刘秀芬, 孙思恩. 化感物质对土壤脲酶活性的影响. *环境科学*, 1998, 19(2): 55-57.
- [28] 吴萼, 刘晓艳, 祝心如. 酚酸类化合物各基团对土壤中氮的硝化作用的影响. *环境化学*, 1999, 18(5): 398-403.
- [29] 孙鸿烈, 刘光崧主编. 土壤理化分析与剖面描述-中国生态系统研究网络观测与分析标准方法. 北京: 中国标准出版社, 1996: 34-35.
- [30] 劳家桢. 土壤农化分析手册. 北京: 农业出版社, 1988: 266-281.
- [32] 许光辉, 郑洪元. 土壤微生物分析方法手册. 北京: 农业出版社, 1986: 110-118.
- [33] 关松荫. 土壤酶及其研究法. 北京: 农业出版社, 1986: 274-305.
- [34] 陈龙池, 廖利平, 汪思龙, 黄志群, 高洪. 酚类物质对杉木幼苗 ^{15}N 养分吸收、分配的影响. *植物生态学报*, 2002, 26(5): 525-532.
- [37] 吴凤芝, 赵凤艳, 马凤鸣. 酚酸物质及其化感作用. *东北农业大学学报*, 2001, 32(4): 402-407.
- [38] 黄高宝, 柴强, 黄鹏. 植物化感作用影响因素的再认识. *草业学报*, 2005, 14(2): 16-22.
- [43] 孔垂华. 植物化感作用研究中应注意的问题. *应用生态学报*, 1998, 9(3): 332-336.
- [44] 梁晓兰, 潘开文, 王进闯. 花椒凋落物分解过程中酚酸的释放动态及其浸提液对土壤化学性质的影响. *生态学报*, 2008, 28(10): 4676-4684.
- [45] 李传涵, 李明鹤, 何绍江, 陈秀华. 杉木林和阔叶林土壤酚含量及其变化的研究. *林业科学*, 2002, 38(12): 9-14.

CONTENTS

Applying landscape ecological concepts in urban land use classification	LI Weifeng, OUYANG Zhiyun, XIAO Yi (593)
Mating system of <i>Sinocalycanthus chinensis</i> (Cheng et S. Y. Chang) Cheng et S. Y. Chang, an endangered, indigenous species in China	ZHAO Hongbo, ZHOU Lihua, HAO Riming, et al (602)
Photosynthetically and ecophysiological characteristics of <i>Calligonum roborowasikii</i> in different altitudes on the northern slope of Kunlun Mountain	ZHU Juntao, LI Xiangyi, ZHANG Ximing, et al (611)
Spatial distribution pattern of different strata and spatial associations of different strata in the Schrenk Spruce Forest, northwest China	LI Minghui, HE Fenghua, PAN Cunde (620)
Effect of elevated CO ₂ on the body size, enzyme activity and host selection behavior of <i>Bemisia tabaci</i> biotype B	WANG Xuexia, WANG Guohong, GE Feng (629)
The dynamics of super-cooling ability and biochemical substances in the overwintering <i>Carposina niponensis</i> Walsingham (Lepidoptera: Carposinidae) larvae	WANG Peng, LING Fei, YU Yi, et al (638)
A comparative study of macrobenthic community under different mariculture types in Xiangshan Bay, China	LIAO Yibo, SHOU Lu, ZENG Jiangning, et al (646)
Feeding ecology of dorab wolf-herring, <i>Chirocentrus dorab</i> from the Beibu Gulf	YAN Yunrong, YANG Houchao, LU Huosheng, et al (654)
Make use of nest-site of oriental white stork in the Yellow River Estuary Nature Reserve	DUAN Yubao, TIAN Xiuhua, ZHU Shuyu, et al (666)
Winter and spring diet composition of feral yak in Helan Mountains, China	YAO Zhicheng, LIU Zhensheng, WANG Zhaoding, et al (673)
Effects of tree growth and soil properties on soil respiration rate in Chinese fir plantations	WANG Dan, WANG Bing, DAI Wei, et al (680)
Succession of potential vegetation in arid and semi-arid area of China	LI Fei, ZHAO Jun, ZHAO Chuanyan, ZHANG Xiaoqiang (689)
Responses on rhizosphere effect of two subalpine coniferous species to night-time warming and nitrogen fertilization in western Sichuan, China	WEI Yunyan, YIN Huaqun, LIU Qing, et al (698)
Nitrogen and phosphorus contents in 44 wetland species from the Lake Erhai Basin	LU Jing, ZHOU Hongxia, TIAN Guangyu, et al (709)
Growth and physiological responses of the <i>Periploca sepium</i> Bunge seedlings to drought stress	AN Yuyan, LIANG Zongsuo, HAO Wenfang (716)
The spatial distribution and seasonal dynamics of fine roots in a mature <i>Caragana korshinskii</i> plantation	SHI Jianwei, WANG Mengben, CHEN Jianwen, et al (726)
The ultrastructure of chloroplast in mesophyll cell on two robinias under NaCl and Na ₂ SO ₄ stress	MENG Fanjuan, PANG Hongying, WANG Jianzhong, et al (734)
Relationship between tomato fruit growth and environmental factors under protected facility cultivation	CHENG Zhihui, CHEN Xuejin, LAI Linling, et al (742)
Effect of grafting eggplant on root exudates and disease resistance under <i>Verticillium dahliae</i> stress	ZHOU Baoli, LIU Na, YE Xueling, et al (749)
The drought risk zoning of winter wheat in North China	WU Dongli, WANG Chunyi, XUE Hongxi, et al (760)
Heat balance of cold type wheat field at grain-filling stage under drought stress condition	YAN Jufang, ZHANG Songwu, LIU Dangxiao (770)
Effects of different straw returning treatments on soil water, maize growth and photosynthetic characteristics in the semi-arid area of Southern Ningxia	GAO Fei, JIA Zhikuan, LU Wentao, et al (777)
Osmotic and ionic stress effects of high NaCl concentration on seedlings of four wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) genotypes	XU Meng, MA Qiaorong, ZHANG Jitao, et al (784)
Effects of ferulic acid, p-hydroxybenzoic acid and their mixture on mineral nitrogen and relative microbial function groups in forest soils	MU Rong, PAN Kaiwen, WANG Jinchuang, et al (793)
Soil microbial biomass and the influencing factors under <i>Pinus tabulaeformis</i> and <i>Picea asperata</i> plantations in the upper Min-jiang River	JIANG Yuanming, PANG Xueyong, BAO Weikai (801)
Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi and dark septate endophytes in the rhizosphere of <i>Artemisia sphaerocephala</i> from Inner Mongolia desert	HE Xueli, WANG Yinyin, ZHAO Lili, et al (812)
Effect of chlorothalonil on soil microbial communities of <i>Larix</i> artificial shelter-forest	SHAO Yuanyuan, WANG Zhiying, ZOU Li, et al (819)
Research of the vegetation's cooling effect in city's residential quarter	LI Yinghan, WANG Junjian, LI Guicai, et al (830)
Landscape dynamics of Baiyangdian Lake from 1974 to 2007	ZHUANG Changwei, OUYANG Zhiyun, XU Weihua, et al (839)
Evaluation of tourism transport ecological footprint in Zhoushan islands	XIAO Jianhong, YU Qingdong, LIU Kang, et al (849)
Nitrogen transformation and its residue in pot experiments amended with organic and inorganic ¹⁵ N cross labeled fertilizers	PENG Peiqin, QIU Shaojun, HOU Hongbo, et al (858)
Effects of dissolve organic carbon (DOC) contents on sorption and desorption of phenanthrene on sediments during ageing	JIAO Lixin, MENG Wei, ZHENG Binghui, et al (866)
Heavy metal concentrations and bioaccumulation of ramie (<i>Boehmeria nivea</i>) growing on 3 mining areas in Shimen, Lengshuijiang and Liuyang of Hunan Province	SHE Wei, JIE Yucheng, XING Hucheng, et al (874)
Discussion	
Climate characteristic of seasonal variation and its influence on annual growth period of <i>populus euphratica</i> Oliv in Hexi Corridor in recent 55 years	LIU Puxing, ZHANG Kexin (882)
Forward trajectory analysis of wheat aphids during long-distance migration using HYSPLIT model	YU Zhenxing, WU Yuqing, JIANG Yueli, et al (889)

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 3 期 (2011 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 3 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		

