

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 10 期 Vol.32 No.10 **2012**

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 32 卷 第 10 期

2012 年 5 月 (半月刊)

目次

| | |
|---|---------------------------|
| 基于系统动力学的城市住区形态变迁对城市代谢效率的影响..... | 李旋旗,花利忠 (2965) |
| 居住-就业距离对交通碳排放的影响 | 童抗抗,马克明 (2975) |
| 经济学视角下的流域生态补偿制度——基于一个污染赔偿的算例 | 刘涛,吴钢,付晓 (2985) |
| 旅游开发对上海滨海湿地植被的影响..... | 刘世栋,高峻 (2992) |
| 汶川地震对大熊猫主食竹——拐棍竹竹笋生长发育的影响..... | 廖丽欢,徐雨,冉江洪,等 (3001) |
| 江西省森林碳蓄积过程及碳源/汇的时空格局..... | 黄麟,邵全琴,刘纪远 (3010) |
| 伊洛河流域草本植物群落物种多样性..... | 陈杰,郭屹立,卢训令,等 (3021) |
| 新疆绿洲农田不同连作年限棉花根际土壤微生物群落多样性..... | 顾美英,徐万里,茆军,等 (3031) |
| 荒漠柠条锦鸡儿 AM 真菌多样性..... | 贺学礼,陈杰,郭辉娟,等 (3041) |
| 彰武松、樟子松光合生产与蒸腾耗水特性 | 孟鹏,李玉灵,尤国春,等 (3050) |
| 中亚热带常绿阔叶林粗木质残体呼吸季节动态及影响因素..... | 刘强,杨智杰,贺旭东,等 (3061) |
| 盐土和沙土对新疆常见一年生盐生植物生长和体内矿质组成的影响 | 张科,田长彦,李春俭 (3069) |
| 长白山北坡林线灌木草本植物与岳桦的动态关系..... | 王晓东,刘惠清 (3077) |
| 不同生态条件对烤烟形态及相关生理指标的影响..... | 颜侃,陈宗瑜 (3087) |
| 基于因子分析的首蓿叶片叶绿素高光谱反演研究 | 肖艳芳,官辉力,周德民 (3098) |
| 三峡库区消落带水淹初期土壤种子库月份动态..... | 王晓荣,程瑞梅,唐万鹏,等 (3107) |
| 三种利用方式对羊草草原土壤氨氧化细菌群落结构的影响..... | 邹雨坤,张静妮,陈秀蓉,等 (3118) |
| 西洋参根残体对自身生长的双重作用 | 焦晓林,杜静,高微微 (3128) |
| 不同程度南方菟丝子寄生对入侵植物三叶鬼针草生长的影响 | 张静,闫明,李钧敏 (3136) |
| 山东省部分水岸带土壤重金属含量及污染评价..... | 张菊,陈诗越,邓焕广,等 (3144) |
| 太湖蓝藻死亡腐烂产物对狐尾藻和水质的影响..... | 刘丽贞,秦伯强,朱广伟,等 (3154) |
| 不同生态恢复阶段无瓣海桑人工林湿地中大型底栖动物群落的演替..... | 唐以杰,方展强,钟燕婷,等 (3160) |
| 江西鄱阳湖流域中华秋沙鸭越冬期间的集群特征..... | 邵明勤,曾宾宾,尚小龙,等 (3170) |
| 秦岭森林鼠类对华山松种子捕食及其扩散的影响 | 常罡,王开锋,王智 (3177) |
| 内蒙古草原小毛足鼠的活动性、代谢特征和体温的似昼夜节律 | 王鲁平,周顺,孙国强 (3182) |
| 温度和紫外辐射胁迫对西藏飞蝗抗氧化系统的影响..... | 李庆,吴蕾,杨刚,等 (3189) |
| “双季稻-鸭”共生生态系统 C 循环 | 张帆,高旺盛,隋鹏,等 (3198) |
| 水稻籽粒灌浆过程中蛋白质表达特性及其对氮肥运筹的响应..... | 张志兴,陈军,李忠,等 (3209) |
| 专论与综述 | |
| 海水富营养化对海洋细菌影响的研究进展 | 张瑜斌,章洁香,孙省利 (3225) |
| 海洋酸化效应对海水鱼类的综合影响评述..... | 刘洪军,张振东,官曙光,等 (3233) |
| 入侵种薇甘菊防治措施及策略评估..... | 李鸣光,鲁尔贝,郭强,等 (3240) |
| 研究简报 | |
| 渭干河-库车河三角洲绿洲土地利用/覆被时空变化遥感研究 | 孙倩,塔西甫拉提·特依拜,张飞,等 (3252) |
| 2009 年冬季东海浮游植物群集 | 郭术津,孙军,戴民汉,等 (3266) |
| 新疆野生多伞阿魏生境土壤理化性质和土壤微生物..... | 付勇,庄丽,王仲科,等 (3279) |
| 塔里木盆地塔里木沙拐枣群落特征 | 古丽努尔·沙比尔哈孜,潘伯荣,段士民 (3288) |
| 矿区生态产业共生系统的稳定性..... | 孙博,王广成 (3296) |
| 期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 338 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 36 * 2012-05 | |



封面图说: 哈巴雪山和金沙江——“三江并流”自然景观位于青藏高原南延部分的横断山脉纵谷地区,由怒江、澜沧江、金沙江及其流域内的山脉组成。它地处东亚、南亚和青藏高原三大地理区域的交汇处,是世界上罕见的高山地貌及其演化的代表地区,也是世界上生物物种最丰富的地区之一。哈巴雪山在金沙江左岸,与玉龙雪山隔江相望。图片反映的是金沙江的云南香格里拉段,远处为哈巴雪山。哈巴雪山主峰海拔 5396 m,而最低江面海拔仅为 1550 m,山脚与山顶的气温差达 22.8℃,巨大的海拔差异形成了明显的高山垂直性气候。

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

DOI: 10.5846/stxb201111011642

焦晓林, 杜静, 高微微. 西洋参根残体对自身生长的双重作用. 生态学报, 2012, 32(10): 3128-3135.

Jiao X L., Du J., Gao W. W. Autotoxicity and promoting: dual effects of root litter on American ginseng growth. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(10): 3128-3135.

西洋参根残体对自身生长的双重作用

焦晓林, 杜 静, 高微微*

(中国医学科学院北京协和医学院药用植物研究所, 北京 100193)

摘要:无论在自然生态环境还是在人工农田环境下, 植株残体进入土壤后都会对土壤的物理化学性质以及后茬植物的生长产生重要影响。西洋参(*Panax quinquefolium* L.) 为人参属多年生名贵药材, 在栽培生产中存在严重的连作障碍问题。为了探明秋后残留在土壤中的须根降解产物对来年植株生长的影响, 以及收获后残留在田间的根茬对连作西洋参生长的作用, 以 3 年生西洋参苗为研究对象, 采用室内水培试验以及田间盆栽试验, 通过添加西洋参根的粉碎物模拟根残体, 测定其对西洋参生长的影响。水培试验中全营养液中分别添加 0.02、0.1、0.5 mg/mL 西洋参根粉碎物, 处理后每隔 5d 测定植株叶片展开情况、株高、冠幅等生长指标。盆栽试验在土壤中添加 0.1 mg/g 根粉碎物, 于栽种后 1—2 月测定西洋参叶片展开情况、株高、冠幅等生长指标; 水培及盆栽试验均于展叶期、现蕾期、结果期测定地上部及地下部生物量。采用高效液相色谱法(HPLC)测定根围土壤中 8 种酚酸类化合物的含量。试验结果表明, 水培溶液中添加 0.02—0.5 mg/mL 根残体, 可显著抑制西洋参自身地上部分生长, 推迟展叶期, 结果期生物量降低 14.9%—45.0%; 对地下部分的影响主要表现为在展叶期显著促进须根生长($P < 0.05$)。与水培试验相比, 盆栽土壤中添加 0.1 mg/g 根残体同样导致西洋参展叶期推迟; 不同的是处理组的地上、地下部及须根的平均生物量均高于对照。另外, 添加根残体后盆栽西洋参根围土壤中丁香酸、香草醛、*p*-香豆酸、阿魏酸等酚酸类感物质含量下降 49.1%—81.4%, 但作为逆境信号物质的水杨酸含量升高 59.9%。以上结果可以确认根残体对西洋参早期生长具有自毒和促进的双重作用, 表现为抑制地上部分生长, 导致生物量显著下降; 同时在生长早期促进须根生长。但在田间环境下, 自毒作用可能受根残体降解速度以及土壤对降解产物吸附的影响有所减弱, 使促进作用更为明显。

关键词:西洋参; 根残体; 自毒作用; 促进生根; 根围酚酸

Autotoxicity and promoting: dual effects of root litter on American ginseng growth

JIAO Xiaolin, DU Jing, GAO Weiwei*

Institute of Medicinal Plant Development, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Beijing 100193, China

Abstract: Both in the natural ecological system and in agricultural system, plant debris in soil may significantly influence the physical and chemical features of soil that consequently affect the plant growth. American ginseng (*Panax quinquefolium* L.), a member of *Panax* genus, as a highly valuable perennial herb for its medicinal properties, was cultivated with serious continuous cropping problem in cultivating places. The objectives of the study were to determine the effects of degraded annually-maintained root tissues in soil on plant growth and the influence of the postharvest root debris left in soil on the development of continuous American ginseng system. This study used the 3-year old American ginseng seedlings planted in solution and in soil mixed with ground root pieces as simulated root litter to determine their effects on plant growth. Then the effects of root litter on the growth of American ginseng were measured in the hydroponic and field cultural condition respectively. Based on previous studies, this study used nutrient solution amended with 0.02 mg, 0.1 mg, 0.5 mg

基金项目:国家自然科学基金项目(30873380); 国家科技部“十一五”科技支撑计划项目(2006BAI09B03)

收稿日期:2011-11-01; **修订日期:**2011-02-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wwgao411@sina.com

American ginseng root debris per mL of solution. The plant growth data were collected every 5 days starting from mixing root debris in the solution including expansion of leaves, plant height, canopy growth and etc. The biomass of above and under ground parts were measured at seedling leaf expansion, blooming and fruit set stages. Potted soil was added with 0.1 mg root debris pieces per gram of soil. The measurements of leaf expansion, plant height, canopy growth and etc were conducted every month after planting date. The biomass of above and under ground parts at leaf expansion, blooming and fruit set stages were measured. American ginseng bulk soil samples were collected 30 days after planting date, their phenolic allelochemical contents were determined using high performance liquid chromatography (HPLC). The results showed that in the nutrient solution mixed with 0.02—0.5 mg/mL root debris, the growth of above-ground part of American ginseng were inhibited, leaf expansion was delayed, and the biomass was significantly reduced by 14.9%—45.0% in fruit set stages. The growth of root system was promoted also in such solutions ($P < 0.05$) only during the leaf expansion period. Comparatively, for the potted plants, soil mixed with 0.1 mg/g of root debris also delayed the leaf expansion, plant biomass in both above and under ground parts were all greater than those of the non-debris control. Besides, the results also showed that some phenolic allelochemical contents in the American ginseng bulk soil, such as syringic acid, vanillin, *p*-coumaric acid, ferulic acid, were decreased by 49.1%—81.4%. However, the salicylic acid content in the treated soil, a stress-induced signal substance in many plants, was increased by 59.9% compared to the control group. In this study, we concluded that the American ginseng root debris had both effects on the inhibiting the growth of above-ground plants and promoting growth of American ginseng roots. This inhibiting effect consequently resulted in a significant decrease in biomass production. However, in the field soil, the degradation rate and the soil adsorption of the root decomposition might reduce the autotoxicity of roots, leading to the effects on growth promotion more significant.

Key Words: *Panax quinquefolium* L.; root litter; autotoxicity; promotion of root growth; rhizospheric phenolic acids

凋落的植物残体在所处环境中分解是生态系统中碳、氮等营养元素循环的重要过程^[1],然而越来越多的研究表明,同时存在于植株残体内的植物次生代谢产物则能够在植物群落以及种群内产生化感作用^[2],从而导致自然植物群落的结构变化以及农作物的连作障碍^[3-4]。鉴于根残体在化感/自毒方面的重要作用^[5-6],选择了生产上连作障碍严重的名贵药材西洋参为研究对象,探讨根残体对西洋参自身生长及根际生态的作用。

西洋参(*Panax quinquefolium* L.)为五加科人参属多年生栽培药材,在田间生产中连作障碍十分严重,重茬栽种西洋参在第2年以后存苗率降至30%以下^[7]。西洋参原产北美洲,我国适宜栽培西洋参地区仅限于吉林、辽宁、河北、山东等省的少数地区,西洋参生长要求荫蔽的环境,对农田栽培技术的要求及种植成本均较高,连作障碍大大制约了西洋参产业的可持续发展。西洋参栽培周期一般为4a,须根具有季节性脱落的习性,生长的4a中植株密度逐年降低;另外,在收获过程中往往采收不彻底,田间参根残留的现象也极为普遍,这些残留在土壤中根残体对西洋参自身生长的影响尚不清楚。本课题组前期研究发现西洋参须根提取物及根内存在的酚酸类化合物具有抑制其自身胚根生长的作用^[8-9],考虑到多种化感物质可以通过相互之间的作用提高作用强度^[10],进入土壤的根残体对西洋参的作用尚待明确。针对以上研究背景,本实验设计了西洋参根粉碎物模拟田间残茬,将其添加到西洋参栽培基质中,通过水培试验排除田间复杂因素的干扰,以明确根残体对西洋参生长的直接作用;同时通过盆栽试验探讨实际生产中土壤对这种作用的影响。另外,通过测定西洋参根围土壤中具有化感活性的8种酚酸类化合物的变化,来分析根残体对根围生态的作用。

1 材料与方法

1.1 植物材料

供试的2年生西洋参苗于2009年4月采于北京市延庆区古城镇西洋参生产基地,采回后1—3d内进行试验,选取长度、直径和重量接近的参根随机分为4组,用SPSS13.0软件对根重进行方差分析,表明各处理组间根重无显著差异,用于试验;根残茬模拟物选用健康4年生西洋参根,50℃干燥后,粉碎过40目筛。

1.2 仪器和试剂

高效液相色谱仪(美国 Waters 公司,600-486-717 型)、色谱柱 YMC-Pack(日本 YMC 公司,250 mm×4.6 mm,5 μ m)、电子天平(瑞士 Mettler Toledo 公司,AL204 型,1/10 000)。

丁香酸、香草醛、*p*-香豆酸、阿魏酸、水杨酸、对羟基苯甲酸、香草酸、肉桂酸(英国 alfa aesar 公司,分析纯),冰乙酸(北京化学试剂公司,分析纯),甲醇(德国 Merck 公司,色谱纯)。

1.3 实验方法

1.3.1 水培实验

水培试验用 1000 mL 陶瓷罐温室培养,2 年生西洋参于蒸馏水中适应培养 10d 后,进行处理。根据前期田间调查结果,收获后西洋参根在土壤的残留量为 8—16 g/m²,位置一般为地表下 10 cm 左右,按照常用耕地土壤容重 1.0—1.3 g/cm³ 计算,面积为 1m² 厚度为 10 cm 的土壤重量为 100—134 kg,计算得出西洋参根在田间土壤的残留量为 0.06—0.16 mg/g,本实验采用中间值 0.1 mg/g 作为西洋参根在田间的自然残留量。按照常规最大田间持水量 25% 计算,水培营养液中每毫升培养液中含 0.4 mg 根残体,考虑到水培实验中化感物质与根际接触更直接,实验浓度采用低于田间的实际浓度,水培实验设计 0.02—0.5 mg/mL 的根粉碎物添加量。据此试验设 4 个处理组:(1)全营养液中添加 0.02 mg/mL 西洋参根粉碎物;(2)全营养液中添加 0.1 mg/mL 西洋参根粉碎物;(3)全营养液中添加 0.5 mg/mL 西洋参根粉碎物;(4)对照为全营养液。全营养液组成:硝酸钾 0.0025 mol/L,硫酸铵 0.0025 mol/L,氯化钙 0.003 mol/L,磷酸二氢钾 0.002 mol/L,硫酸镁 0.002 mol/L。每个处理设 5 个培养罐平行操作,每罐 4 株植株。温度控制在 20—25℃,每天通气约 8 h。

1.3.2 盆栽试验

试验在中国医学科学院药用植物研究所(北京)西洋参试验地进行,试验地搭设透光率为 25%—30% 荫棚。选用直径 40 cm、高 50 cm 的花盆进行盆栽,每盆装土 10 kg。土壤基础肥力为碱解氮 64.01 mg/kg,速效磷 35.45 mg/kg,速效钾 181.97 mg/kg,有机质 1.49%,全磷 0.0804%,全氮 0.0922%,pH 为 6.85。处理组按 0.1 mg/g 的比例将西洋参根粉碎物均匀混入土壤中,对照组不添加。每个处理设 6 盆重复,每盆 5 株植株。

1.3.3 西洋参生长指标的测定

水培实验于添加处理后每隔 5d 测定各处理组每株西洋参植株的叶片展开情况(用展叶率表示,展叶率=展开叶片数/总叶片数)、株高、冠幅(为植株地上部分水平直径的平均值)等生长指标;并于生长 10d(展叶期)、20d(现蕾期)和 30d(结果期)时从每个培养罐中随机取 1 株,测定地上部分植株、全部根及新生须根生物量。盆栽实验于栽种后 1—2 个月测定每株西洋参叶片展开情况、株高、冠幅等生长指标;并于生长 30d(展叶期)、60d(现蕾期)和 90d(结果期)时从每盆随机取 1 株植株,测定地上部、地下部和新生须根的生物量。

1.3.4 土壤中酚酸含量测定

盆栽西洋参于 30d 时取根围土壤,取土时将西洋参从土壤中挖出,取距根表面 10 mm 以内的松土作为根围土,将同一处理土样混匀后分作 4 份,作为 4 个重复。参照 He 方法^[8]风干后过 50 目筛,置 50℃ 烘干至恒重。精密称量约 20 g 土壤样品,于锥形瓶中加入 2 mol/L NaOH 溶液 150 mL,160 r/min 摇床振荡提取 18 h。提取液于 3000 r/min 离心 10 min,取上清液 100 mL,用浓盐酸调整 pH 至 2.0。依次加入 70 mL 乙酸乙酯萃取 5 次,合并乙酸乙酯萃取液于 50℃ 蒸干,残渣用 80% 甲醇溶解并定容至 5 mL,0.45 μ m 微孔滤膜滤过,取 15 μ L 注入高效液相色谱仪测定。色谱柱选用 YMC-Pack ODS-A C18 柱(日本 YMC 公司产,250 mm×4.6 mm,5 μ m),流动相为甲醇(A)-1.8% 冰乙酸水溶液(B),0 min(20% A)→60 min(100% A)梯度洗脱;检测波长 280 nm;柱温 30℃;流速 0.8 mL/min。将对照品制成系列浓度的标准溶液,注入液相色谱仪得出各酚酸峰面积,以液相色谱峰面积为 *Y*,样品进样量为 *X*,得到各酚酸标准曲线方程如表 1 所示。

1.4 数据处理

利用 SPSS13.0 软件进行方差分析和多重比较;用 Excel 软件作图。

表 1 8 种酚酸的标准曲线方程及加样回收率

Table 1 Equations of standard curve and recoveries of the eight phenolic acids

| 标准品 Standard substances | 标准曲线方程 Equations of standard curve | R^2 | 线性范围 Linear ranges / μg | 加样回收率 Recoveries/% $\bar{x}\pm\text{SD}, n=6$ |
|----------------------------|---------------------------------------|--------|--|---|
| 对羟基苯甲酸 | $Y=1310886X-15694$ | 0.9993 | 0.02472—1.236 | 94.86 \pm 4.31 |
| 香草酸 | $Y=1525457X-4500$ | 0.9992 | 0.01044—0.5220 | 90.47 \pm 4.38 |
| 丁香酸 | $Y=2697275X-13212$ | 0.9992 | 0.009990—0.4995 | 90.89 \pm 3.63 |
| 香草醛 | $Y=4230887X-34571$ | 0.9990 | 0.01512—0.7560 | 90.09 \pm 4.08 |
| <i>p</i> -香豆酸 | $Y=5234244X-33952$ | 0.9994 | 0.01872—0.9360 | 99.30 \pm 3.10 |
| 阿魏酸 | $Y=3025990X-17947$ | 0.9995 | 0.01992—0.9960 | 89.51 \pm 3.44 |
| 水杨酸 | $Y=693319X-10722$ | 0.9994 | 0.0324—1.6200 | 90.41 \pm 3.66 |
| 肉桂酸 | $Y=9054290X-22325$ | 0.9997 | 0.00930—0.4650 | 94.93 \pm 3.42 |

2 结果与分析

2.1 根残体对水培西洋参生长的影响

水培溶液中添加根残体能够显著抑制西洋参地上部分的生长,展叶率、株高、冠幅均表现为明显下降(图 1)。在西洋参生长的各个时期,随着添加浓度增加,根残体对展叶率、株高及冠幅的抑制强度逐渐增加,并表现出一定的浓度效应。与对照组相比各处理组植株展叶时间明显推迟,0.5mg/mL 浓度处理组最终仍有 20% 植株叶片不能完全伸展。3 个根残体处理组的植株株高均低于对照组,且在展叶期(5—10d)达到显著水平($P<0.05$),0.02 mg/mL 和 0.1 mg/mL 处理组在第 10 天时株高低于对照 14.22%—18.62%,15d 之后基本保持,当处理浓度达到 0.5 mg/mL 时,各生长阶段的植株株高低于对照 29.7%—33.5%,且差异显著($P<0.05$)。0.02 mg/mL 和 0.1 mg/mL 浓度处理对展叶期后的植株冠幅的影响不显著($P>0.05$),浓度达到 0.5 mg/mL 时,植株冠幅显著降低($P<0.05$),5—25d 内,处理组植株冠幅分别比对照低 10.3%、22.3%、22.3%、20.7%、22.1%。从植株生长量上看,在根残体处理 20d 以后,浓度在 0.1 mg/mL 以上时,植株地上部鲜重明显降低,0.5 mg/mL 处理组,第 20 天和第 30 天植株地上部鲜重比对照分别降低 30.5% 和 44.0% ($P<0.05$) (表 2)。

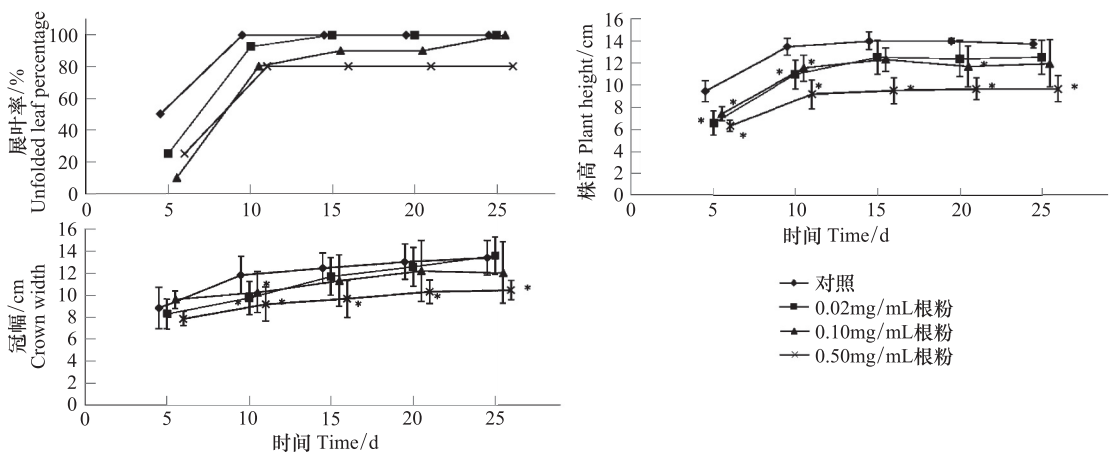


图 1 根残体对水培西洋参展叶、株高及冠幅的影响

Fig. 1 The effects of root powder on leaf expansion height, and crown width of hydroponic American ginseng

图中数据为同一处理 5 次重复的平均值($n=5$); * 表示同一时间点处理组数据与对照组差异显著($P<0.05$)

对于地下部分,0.02 mg/mL 和 0.1 mg/mL 根残体对须根生长影响不显著($P>0.05$),0.5 mg/mL 根残体显著增加早期(展叶期,第 10 天)西洋参的须根量($P<0.05$),随后促进作用减弱。在 30d 的培养期内,与对照

相比各浓度根残体处理对地下部总的生物量基本没有影响($P>0.05$)(表2)。

2.2 根残体对盆栽西洋参生长的影响

土壤中添加 0.1 mg/g 根残体,与水培结果相比同样导致盆栽西洋参展叶期推迟,不同的是对株高、冠幅无显著影响($P>0.05$,表3)。0.1 mg/g 根残体处理盆栽西洋参后,与对照相比,植株展叶期推迟,第 30 天时展叶率比对照降低 26.7%;30—90d 的生长期,处理组植株地上部、地下部和须根的平均鲜重均高于对照,但差异不显著($P>0.05$,表4)。

2.3 根残体对土壤中 8 种酚酸含量的影响

采用 HPLC 测定了盆栽西洋参根围土中 8 种具有化感作用的酚酸含量(图2),结果表明,添加 0.1 mg/g 根残体导致土壤中酚酸类化感物质的量发生不同的变化(图3),与对照相比,根围土壤中丁香酸、香草醛、*p*-香豆酸、阿魏酸含量显著下降($P<0.05$),分别降低 81.4%、49.1%、58.4% 和 69.9%,8 种酚酸总量降低 33.23%。但水杨酸含量升高 59.9%($P<0.05$),对羟基苯甲酸、香草酸和肉桂酸基本不受影响($P>0.05$)。

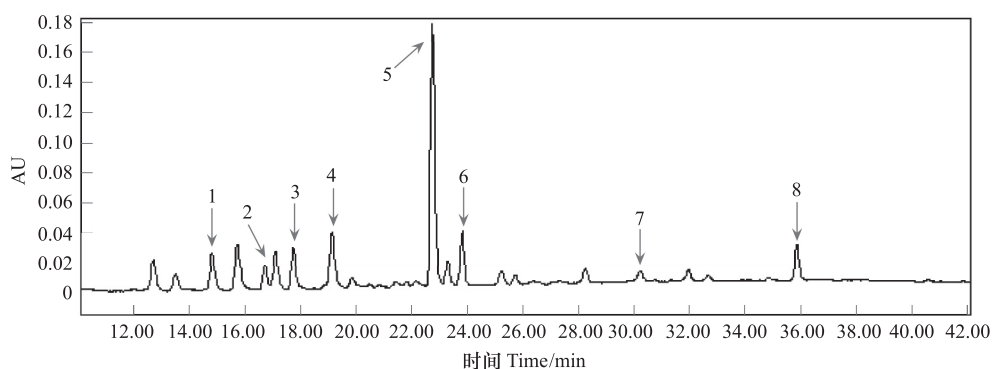


图2 西洋参根围土壤中 8 种酚酸的高效液相色谱图

Fig. 2 Representative retention peaks of eight phenolic acids from American ginseng bulk soil as separated by HPLC

1—8 依次为对羟基苯甲酸、香草酸、丁香酸、香草醛、*p*-香豆酸、阿魏酸、水杨酸、肉桂酸

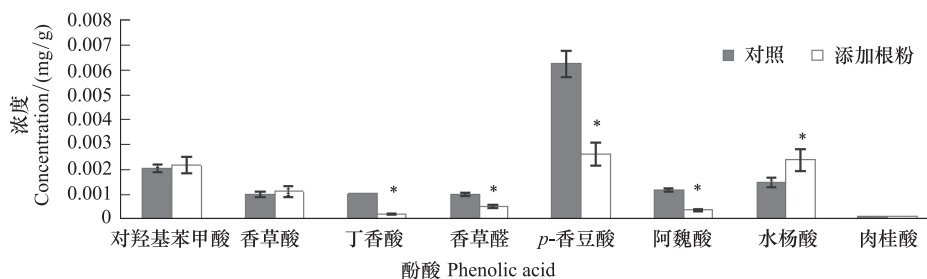


图3 根残体对西洋参根围土壤中 8 种酚酸含量的影响

Fig. 3 The effect of root powder on eight phenolic acids from American ginseng bulk soil

图中数据为同一处理 4 次重复的平均值($n=4$); * 表示同一时间点处理组数据与对照组差异显著($P<0.05$)

3 讨论

在以往化感作用的研究中,大部分化感作用的证明是通过室内培养皿中滤纸片上的种子萌发试验^[11-12],而水培方法常被用于研究化感物质的生理作用^[13],这些室内试验的优势在于可以在控制的条件下研究化感物质的直接作用,不足之处则是无法了解田间土壤复杂环境对化感作用的影响,因此,在本研究中设计了水培与土壤的对比实验。西洋参在水培体系中生长速度较快,基本在 30d 内完成从展叶生长到开始结果;而土壤基质中生长速度较慢,90d 内大致达到相同状态,因此,实验的水培西洋参培养时间设为 30d,盆栽则为 90d,各自于植株展叶、现蕾和结果期时取样测定,以比较同一物候期的结果。另外,选择 3 年生西洋参作为试验材料,用以了解根残体对多年生植物的作用。研究发现,根残体在水培溶液中推迟西洋参展叶并抑制地上部

表 2 根残体对水培西洋参生物量的影响/g

| 处理浓度 Concentration / (mg/mL) | 10 d | | | | 20 d | | | | 30 d | | | |
|------------------------------------|---------------------|------------|---------------------|-------------|---------------------|------------|---------------------|-------------|---------------------|------------|---------------------|------------|
| | 地上部 Aboveground | | 地下部 Belowground | | 地上部 Aboveground | | 地下部 Belowground | | 地上部 Aboveground | | 地下部 Belowground | |
| | 须根 Fibrous roots | | 须根 Fibrous roots | | 须根 Fibrous roots | | 须根 Fibrous roots | | 须根 Fibrous roots | | 须根 Fibrous roots | |
| 对照 Control | 1.50±0.08a | 6.30±1.32a | 0.54±0.09b | 2.03±0.29a | 2.03±0.29a | 7.50±1.67a | 0.51±0.11a | 2.42±0.29a | 5.85±0.53a | 5.85±0.53a | 0.50±0.13a | 0.43±0.06a |
| 0.02 | 1.38±0.37a | 6.37±1.78a | 0.62±0.14b | 1.85±0.38ab | 1.85±0.38ab | 6.37±2.06a | 0.59±0.20a | 2.06±0.42ab | 5.47±0.88a | 5.47±0.88a | 0.38±0.07a | 0.52±0.20a |
| 0.1 | 1.37±0.25a | 6.47±1.58a | 0.70±0.17ab | 2.11±0.37a | 2.11±0.37a | 6.98±0.65a | 0.54±0.23a | 1.83±0.41b | 5.80±0.47a | 5.80±0.47a | 0.52±0.20a | 0.52±0.20a |
| 0.5 | 1.44±0.54a | 7.14±1.49a | 0.81±0.13a | 1.41±0.36b | 1.41±0.36b | 6.55±2.06a | 0.57±0.20a | 1.33±0.24c | 5.81±1.55a | 5.81±1.55a | 0.52±0.20a | 0.52±0.20a |

表中数据为同一处理 5 次重复的平均值±SD(*n*=5);同一列后缀不同字母表示差异显著(*P*<0.05)

表 3 根残体对盆栽西洋参生长高度、展叶及冠幅的影响

| 处理 Treatment | 30 d | | | | 60 d | | | |
|------------------|-----------------------------------|------|-----------------------------------|-----------|-----------------------------------|-------------|-----------------------------------|-------------|
| | 株高/cm Plant height | | 冠幅/cm Crown width | | 株高/cm Plant height | | 冠幅/cm Crown width | |
| | 展叶率/% Unfolded leaf percentage | | 展叶率/% Unfolded leaf percentage | | 展叶率/% Unfolded leaf percentage | | 展叶率/% Unfolded leaf percentage | |
| 对照 Control | 16.4±2.1a | 51.7 | 22.04±1.72a | 17.1±3.3a | 100 | 27.54±3.13a | 100 | 24.92±5.26a |
| 添加根粉 Root powder | 15.9 ±1.7a | 37.9 | 23.35±1.52a | 14.8±4.8a | 100 | 24.92±5.26a | 100 | 24.92±5.26a |

表中数据为同一处理 6 次重复的平均值±SD(*n*=6);同一列后缀相同字母表示差异不显著(*P*>0.05)

表 4 根残体对盆栽西洋参生物量的影响/g

| 处理 Treatment | 30 d | | | | 60 d | | | | 90 d | | | |
|------------------|---------------------|------------|---------------------|------------|---------------------|------------|---------------------|------------|---------------------|------------|---------------------|------------|
| | 地上部 Aboveground | | 地下部 Belowground | | 地上部 Aboveground | | 地下部 Belowground | | 地上部 Aboveground | | 地下部 Belowground | |
| | 须根 Fibrous roots | | 须根 Fibrous roots | | 须根 Fibrous roots | | 须根 Fibrous roots | | 须根 Fibrous roots | | 须根 Fibrous roots | |
| 对照 Control | 4.96±1.42a | 4.52±1.14a | 0.55±0.14a | 5.66±0.89a | 4.17±0.58a | 0.59±0.27a | 5.70±1.29a | 5.70±1.29a | 0.74±0.16a | 0.74±0.16a | 0.76±0.27a | 0.76±0.27a |
| 添加根粉 Root powder | 5.19±0.78a | 5.01±1.55a | 0.69±0.26a | 5.97±1.03a | 4.76±0.70a | 0.66±0.18a | 5.80±1.89a | 5.80±1.89a | 0.76±0.27a | 0.76±0.27a | 0.76±0.27a | 0.76±0.27a |

表中数据为同一处理 6 次重复的平均值±SD(*n*=6);同一列后缀相同字母表示差异不显著(*P*>0.05)

生长,在土壤中同样推迟展叶期,但对地上部生物量的影响并不显著。造成这种差别的原因可能是水培实验中根残体所含全部可溶性化学物质均与植物根系直接接触,不存在田间复杂因素的干扰,可以认为是根残体中各种物质对西洋参生长的直接作用,试验结果初步证实根残体中含有对西洋参的生长具有自毒作用的化合物。而在以土壤为基质的盆栽试验中,根残体对西洋参生长的自毒作用有所减弱,原因可能在于土壤对自毒物质具有一定的吸附能力,导致这些物质浓度下降。已有报道表明^[14],杨树根际土壤对对羟基苯甲酸和苯甲酸均具有较强的吸附能力,二者吸附率达到 63.39%—72.26% 和 39.53%—47.46%。由于土壤中化感物质大多以束缚态形式存在,导致化感潜能大大降低。对土壤中有毒重金属元素的研究也表明,有毒物质在土壤中对植物产生毒性的浓度高于水培浓度,如 Cr^{6+} 在土培试验时对水稻幼苗生长发育产生毒害的起始浓度比在水培试验中高 5 倍^[15]。

另一方面,植物残体一般富含多种营养元素,腐解后能改善土壤物理性状,补充土壤养分,进而增加作物产量^[16],已有大量文献表明植物残体通过释放营养物质促进多种植物的生长^[17-18],不排除是盆栽试验中添加根残体的处理组生物量高于对照组的潜在原因。西洋参根残留物除促进植株生长外,还影响根际生态环境中酚酸类化感物质含量的变化。有研究表明,植物在高营养生长环境下酚酸类物质的分泌量往往低于低营养生长环境。豆科植物在全营养环境中培养 18d 后,根系分泌中的总酚酸量为磷缺乏组的 1/6^[19];本课题组前期研究证明,西洋参在全营养条件比缺氮或缺钾情况下根分泌物中总酚酸含量显著降低^[20]。本实验中,添加根残留物增加了土壤中有有机物质的量,西洋参根围土壤中酚酸类化合物总含量低于对照 33.23%,与上述报道一致。其中水杨酸含量升高,可能是由于水杨酸是植物体内的信号物质,其合成增加是西洋参接触土壤中根残体释放有害物质的早期反应,而此时可观察到的症状尚未出现。

赵杨景等^[21]研究报道田间栽培西洋参,其须根在 4a 生长期中累计进入土壤的量约为 0.5 g/株。实际生产中西洋参的生长密度为 20—30 株/ m^2 ,在西洋参整个生长周期中土壤中根的残留物积累量为 10—15 g/ m^2 ,依此计算得田间土壤残留量为 0.08—0.15 mg/g,与本实验盆栽试验添加浓度基本相同。但是,在实际生产过程中,田间西洋参残根腐解于根际土壤中后,在局部的浓度可能远远高于此浓度,是否是造成西洋参连作障碍的原因仍需进一步考察。

References:

- [1] Kang H Z, Xin Z J, Berg B, Burgess P J, Liu Q L, Liu Z C, Li Z H, Liu C J. Global pattern of leaf litter nitrogen and phosphorus in woody plants. *Annals of Science*, 2010, 67(8): 811-818.
- [2] Kong C H, Hu F. *Plant Allelopathy and Application*. Beijing: China Agriculture Press, 2001: 94-98.
- [3] Kong C H, Lou Y G. *Front in the Chemical Ecology*. Beijing: Higher Education Press, 2010: 313-329.
- [4] Kohli R K, Singh H P, Batish D R. *Allelopathy in Agroecosystems*. New York: Food Products Press, 2001: 43-120.
- [5] Han X Z, Xu Y L. Study of main factors causing yield decrease of continuous cropping soybean I. Effects of decomposing matters of roots continuous cropping soybean. *Soybean Science*, 1998, 17(3): 207-212.
- [6] Yu J Q, Du Y S. Soil-sickness problem in the sustainable development for the protected production of vegetables. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2000, 31(1): 124-126.
- [7] Cui D S, Gao Z S. *American Ginseng*. Beijing, Science Press, 1990: 20-21.
- [8] He C N, Gao W W, Yang J X, Bi W, Zhang X S, Zhao Y J. Identification of autotoxic compounds from fibrous roots of *Panax quinquefolium* L. *Plant and Soil*, 2009, 318: 63-72.
- [9] Bi X B, Yang J X, Gao W W. Autotoxicity of phenolic compounds from the soil of American ginseng (*Panax quinquefolium* L.). *Allelopathy Journal*, 2010, 25(1): 115-122.
- [10] Chaves N, Sosa T, Alías J C, Escudero J C. Identification and effects of interaction phytotoxic compounds from exudate of *Cistus ladanifer* leaves. *Journal of Chemical Ecology*, 2001, 27(3): 611-621.
- [11] Guo L P, Huang L Q, Jiang Y X, Chen B D, Zhu Y G, Zeng Y, Fu G F. Bioactivity of extracts from rhizoma and rhizosphere soil of cultivated *Atractylodes lancea* Rehmannia glutinosa DC. and identification of their allelopathic compounds. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(2): 528-535.
- [12] Li Z F, Qi X H, Li Q S, Dai L Q, Lin M Z, Zhang Z Y, Lin W X. Extraction, bioassay, and chemical identification of *Rehmannia glutinosa* L.

- autotoxins. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(10): 2576-2584.
- [13] Lehman M E, Blum U. Evaluation of ferulic acid uptake as a measurement of allelochemical dose: effective concentration. *Journal of Chemical Ecology*, 1999, 25(11): 2585-2600.
- [14] Wang Y P, Yang Y, Wang H T, Jiang Y Z, Wang Z Q. Sorption-desorption of two phenolic acids in poplar rhizosphere soil in continuous cropping plantation. *Scientia Silvae Sinicae*, 2010, 46(1): 48-55.
- [15] Lu Z H, Zhao X M, Zhu M Y. Effect of chromium (Cr^{6+}) on rice seed germination and seedling growth. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2008, 3: 60-62.
- [16] Chen S H, Zhu Z L, Wu J, Liu D H, Wang C Q. Decomposition characteristics of straw return to soil and its effect on soil fertility in purple hilly region. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(6): 141-144.
- [17] Xiong S J, Nilsson C. Dynamics of leaf litter accumulation and its effects on riparian vegetation; a review. *The Botanical Review*, 1997, 63(3): 240-264.
- [18] Dorrepaal E, Cornelissen H. C. J, Aerts R. Changing leaf litter feedbacks on plant production across contrasting sub-arctic peatland species and growth forms. *Oecologia*, 2007, 151:251-261.
- [19] Juszczuk I M, Wiktorowska A, Malusá E, Rychter A M. Changes in the concentration of phenolic compounds and exudation induced by phosphate deficiency in bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant and Soil*, 2004, 267: 41-49.
- [20] Du J, Yang J X, Jiao X L, Gao W W. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium deficiency on content of phenolic compounds in exudation of American ginseng. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2011, 36(3): 326-329.
- [21] Zhao Y J, Wang Y P, Yang J S, Liu D. Study on the rotation of crops among *Panax quinquefolium*, *Perilla frutescens* and *Coix lacryma-jobi*. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2005, 30(1): 12-15.

参考文献:

- [2] 孔垂华, 胡飞. 植物化感(相生相克)作用及其应用. 北京: 中国农业出版社, 2001: 94-98.
- [3] 孔垂华, 姜永根. 化学生态学前沿. 北京: 高等教育出版社, 2010: 313-329.
- [5] 韩晓增, 许艳丽. 大豆连作减产主要障碍因素的研究 I. 连作大豆根系腐解物的障碍效应. *大豆科学*, 1998, 17(3): 207-212.
- [6] 喻景权, 杜尧舜. 蔬菜设施栽培可持续发展中的连作障碍问题. *沈阳农业大学学报*, 2000, 31(1): 124-126.
- [7] 崔德深, 高镇生. 西洋参. 北京: 科学出版社, 1990: 20-21.
- [11] 郭兰萍, 黄璐琦, 蒋有绪, 陈保冬, 朱永官, 曾燕, 付桂芳, 付梅红. 苍术根茎及根际土水提物生物活性研究及化感物质的鉴定. *生态学报*, 2006, 26(2): 528-535.
- [12] 李振方, 齐晓辉, 李奇松, 戴林泉, 林茂兹, 张重义, 林文雄. 地黄自毒物质提取及其生物指标测定. *生态学报*, 2010, 30(10): 2576-2584.
- [14] 王延平, 杨阳, 王华田, 姜岳忠, 王宗芹. 连作杨树人工林根际土壤中 2 种酚酸的吸附与解吸行为. *林业科学*, 2010, 46(1): 48-55.
- [15] 卢志红, 赵小敏, 朱美英. 铬 Cr^{6+} 对水稻种子萌发及幼苗生长的影响. *中国土壤与肥料*, 2008, 3: 60-62.
- [16] 陈尚洪, 朱钟麟, 吴婕, 刘定辉, 王昌全. 紫色土丘陵区秸秆还田的腐解特征及对土壤肥力的影响. *水土保持学报*, 2006, 20(6): 141-144.
- [21] 杜静, 杨家学, 焦晓林, 高微微. 氮、磷、钾缺乏对西洋参根分泌物中酚酸类化合物的影响. *中国中药杂志*, 2011, 36(3): 326-329.
- [22] 赵杨景, 王玉萍, 杨峻山, 刘东. 西洋参与紫苏、薏苡轮作效应的研究. *中国中药杂志*, 2005, 30(1): 12-15.

CONTENTS

| | |
|--|--|
| Landscape aesthetic assessment based on experiential paradigm assessment technology | LI Xuanqi, HUA Lizhong (2965) |
| Significant impact of job-housing distance on carbon emissions from transport: a scenario analysis | TONG Kangkang, MA Keming (2975) |
| The watershed eco-compensation system from the perspective of economics: the cases of pollution compensation | LIU Tao, WU Gang, FU Xiao (2985) |
| The tourism development impact on Shanghai coastal wetland vegetation | LIU Shidong, GAO Jun (2992) |
| Effects of the Wenchuan Earthquake on shoot growth and development of the umbrella bamboo (<i>Fargesia robusta</i>), one of the giant panda's staple bamboos | LIAO Lihuan, XU Yu, RAN Jianghong, et al (3001) |
| Forest carbon sequestration and carbon sink/source in Jiangxi Province | HUANG Lin, SHAO Quanqin, LIU Jiyuan (3010) |
| Species diversity of herbaceous communities in the Yiluo River Basin | CHEN Jie, GUO Yili, LU Xunling, et al (3021) |
| Microbial community diversity of rhizosphere soil in continuous cotton cropping system in Xinjiang | GU Meiying, XU Wanli, MAO Jun, et al (3031) |
| Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of <i>Caragana korshinskii</i> Kom. in desert zone | HE Xueli, CHEN Zheng, GUO Huijuan, et al (3041) |
| Characteristics of photosynthetic productivity and water-consumption for transpiration in <i>Pinus densiflora</i> var. <i>zhangwuensis</i> and <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i> | MENG Peng, LI Yuling, YOU Guochun, et al (3050) |
| Seasonal dynamic and influencing factors of coarse woody debris respiration in mid-subtropical evergreen broad-leaved forest | LIU Qiang, YANG Zhijie, HE Xudong, et al (3061) |
| Influence of saline soil and sandy soil on growth and mineral constituents of common annual halophytes in Xinjiang | ZHANG Ke, TIAN Changyan, LI Chunjian (3069) |
| Dynamics change of <i>Betula ermanii</i> population related to shrub and grass on treeline of northern slope of Changbai Mountains | WANG Xiaodong, LIU Huiqing (3077) |
| Effects of ecological conditions on morphological and physiological characters of tobacco | YAN Kan, CHEN Zongyu (3087) |
| A study on the hyperspectral inversion for estimating leaf chlorophyll content of clover based on factor analysis | XIAO Yanfang, GONG Huili, ZHOU Demin (3098) |
| Monthly dynamic variation of soil seed bank in water-level-fluctuating zone of Three Gorges Reservoir at the beginning after charging water | WANG Xiaorong, CHENG Ruimei, TANG Wanpeng, et al (3107) |
| Effects of three land use patterns on diversity and community structure of soil ammonia-oxidizing bacteria in <i>Leymus chinensis</i> steppe | ZOU Yukun, ZHANG Jingni, CHEN Xiurong, et al (3118) |
| Autotoxicity and promoting: dual effects of root litter on American ginseng growth | JIAO Xiaolin, DU Jing, GAO Weiwei (3128) |
| Effect of differing levels parasitism from native <i>Cuscuta australis</i> on invasive <i>Bidens pilosa</i> growth | ZHANG Jing, YAN Ming, LI Junmin (3136) |
| Heavy metal concentrations and pollution assessment of riparian soils in Shandong Province | ZHANG Ju, CHEN Shiyue, DENG Huanguang, et al (3144) |
| Effect of decomposition products of cyanobacteria on <i>Myriophyllum spicatum</i> and water quality in Lake Taihu, China | LIU Lizhen, QIN Boqiang, ZHU Guangwei, et al (3154) |
| Succession of macrofauna communities in wetlands of <i>Sonneratia apetala</i> artificial mangroves during different ecological restoration stages | TANG Yijie, FANG Zhanqiang, ZHONG Yanting, et al (3160) |
| Group characteristics of Chinese Merganser (<i>Mergus squamatus</i>) during the wintering period in Poyang Lake watershed, Jiangxi Province | SHAO Mingqin, ZENG Binbin, SHANG Xiaolong, et al (3170) |
| Effect of forest rodents on predation and dispersal of <i>Pinus armandii</i> seeds in Qinling Mountains | CHANG Gang, WANG Kaifeng, WANG Zhi (3177) |
| Circadian rhythms of activity, metabolic rate and body temperature in desert hamsters (<i>Phodopus roborovskii</i>) | WANG Luping, ZHOU Shun, SUN Guoqiang (3182) |
| Effects of temperature stress and ultraviolet radiation stress on antioxidant systems of <i>Locusta migratoria tibetensis</i> Chen | LI Qing, WU Lei, YANG Gang, et al (3189) |
| Carbon cycling from rice-duck mutual ecosystem during double cropping rice growth season | ZHANG Fan, GAO Wangsheng, SUI Peng, et al (3198) |
| Protein expression characteristics and their response to nitrogen application during grain-filling stage of rice (<i>Oryza Sativa</i> L.) | ZHANG Zhixing, CHENG Jun, LI Zhong, et al (3209) |
| Review and Monograph | |
| Advances in influence of seawater eutrophication on marine bacteria | ZHANG Yubin, ZHANG Jiexiang, SUN Xingli (3225) |
| A review of comprehensive effect of ocean acidification on marine fishes | LIU Hongjun, ZHANG Zhendong, GUAN Shuguang, et al (3233) |
| Evaluation of the controlling methods and strategies for <i>Mikania micrantha</i> H. B. K. | LI Mingguang, LU Erbei, GUO Qiang, et al (3240) |
| Scientific Note | |
| Dynamics of land use/cover changes in the Weigan and Kuqa rivers delta oasis based on Remote Sensing | SUN Qian, TASHPOLAT. Tiyp, ZHANG Fei, et al (3252) |
| Phytoplankton assemblages in East China Sea in winter 2009 | GUO Shujin, SUN Jun, DAI Minhan, et al (3266) |
| On the physical chemical and soil microbial properties of soils in the habitat of wild Ferula in Xinjiang | FU Yong, ZHUANG Li, WANG Zhongke, et al (3279) |
| The community characteristics of <i>Calligonum roborowskii</i> A. Los in Tarim Basin | Gulnur Sabirhazi, PAN Borong, DAUN Shimin (3288) |
| Stability analysis of mine ecological industrial symbiotic system | SUN Bo, WANG Guangcheng (3296) |

《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 10 期 (2012 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 10 (May, 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