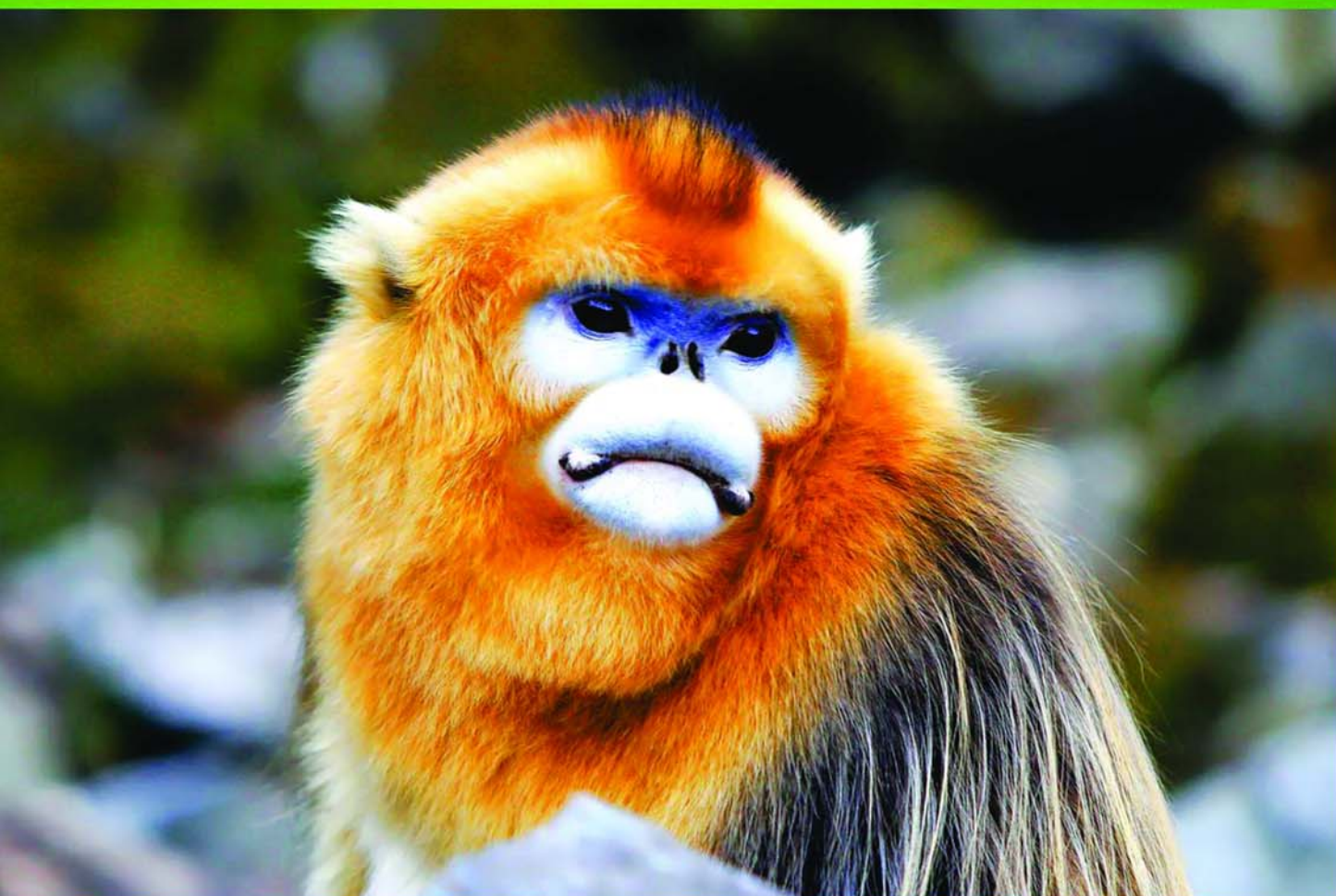


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

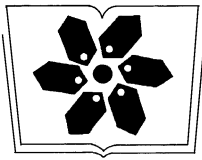
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第2期 Vol.32 No.2 **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 2 期

2012 年 1 月 (半月刊)

目 次

北部湾秋季底层鱼类多样性和优势种数量的变动趋势	王雪辉,邱永松,杜飞雁,等 (333)
中国大陆鸟类和兽类物种多样性的空间变异	丁晶晶,刘定震,李春旺,等 (343)
粉蝶盘绒茧蜂中国和荷兰种群学习行为及 EAG 反应的比较	王国红,刘 勇,戈 峰,等 (351)
君主绢蝶的生物学及生境需求	方健惠,骆有庆,牛 犇,等 (361)
西南大西洋阿根廷滑柔鱼生物学年间比较	方 舟,陆化杰,陈新军,等 (371)
城市溪流中径流式低坝对底栖动物群落结构的影响	韩鸣花,海燕,周 斌,等 (380)
沉积再悬浮颗粒物对马氏珠母贝摄食生理影响的室内模拟	栗志民,申玉春,余南涛,等 (386)
太平洋中西部海域浮游植物营养盐的潜在限制	徐燕青,陈建芳,高生泉,等 (394)
几株赤潮甲藻的摄食能力	张清春,于仁成,宋静静,等 (402)
高摄食压力下球形棕囊藻凝聚体的形成	王小冬,王 艳 (414)
大型绿藻浒苔藻段及组织块的生长和发育特征	张必新,王建柱,王乙富,等 (421)
链状亚历山大藻生长衰亡相关基因的筛选	仲 洁,隋正红,王春燕,等 (431)
太湖春季水体固有光学特性及其对遥感反射率变化的影响	刘忠华,李云梅,吕 恒,等 (438)
程海富营养化机理的神经网络模拟及响应情景分析	邹 锐,董云仙,张祯祯,等 (448)
沙质海岸灌化黑松对蛀食胁迫的补偿性响应	周 振,李传荣,许景伟,等 (457)
泽陆蛙和饰纹蛙蝌蚪不同热驯化下选择体温和热耐受性	施林强,赵丽华,马小浩,等 (465)
麦蚜和寄生蜂对农业景观格局的响应及其关键景观因子分析	赵紫华,王 颖,贺达汉,等 (472)
镉胁迫对芥蓝根系质膜过氧化及 ATPase 活性的影响	郑爱珍 (483)
生姜水浸液对生姜幼苗根际土壤酶活性、微生物群落结构及土壤养分的影响	韩春梅,李春龙,叶少平,等 (489)
九州虫草菌丝体对 Mn 的耐性及富集	罗 毅,程显好,张聪聪,等 (499)
土霉素暴露对小麦根际抗生素抗性细菌及土壤酶活性的影响	张 昊,张利兰,王 佳,等 (508)
氮沉降对杉木人工林土壤有机碳矿化和土壤酶活性的影响	沈芳芳,袁颖红,樊后保,等 (517)
火炬树雌雄母株克隆生长差异及其光合荧光日变化	张明如,温国胜,张 瑾,等 (528)
湖南乌云界自然保护区典型生态系统的土壤持水性能	潘春翔,李裕元,彭 亿,等 (538)
祁连山东段高寒地区土地利用方式对土壤性状的影响	赵锦梅,张德罡,刘长仲,等 (548)
沙质草地生境中大型土壤动物对土地沙漠化的响应	刘任涛,赵哈林 (557)
腾格里沙漠东南缘可培养微生物群落数量与结构特征	张 威,章高森,刘光琇,等 (567)
塔克拉玛干沙漠南缘玉米对不同荒漠化环境的生理生态响应	李 磊,李向义,林丽莎,等 (578)
内蒙古锡林河流域羊草草原 15 种植物热值特征	高 凯,谢中兵,徐苏铁,等 (588)
不同密度条件下芨芨草空间格局对环境胁迫的响应	张明娟,刘茂松,徐 驰,等 (595)
环境因子对巴山冷杉-糙皮桦混交林物种分布及多样性的影响	任学敏,杨改河,王得祥,等 (605)
海藻酸铈配合物对毒死蜱胁迫下菠菜叶片抗坏血酸-谷胱甘肽循环的影响	栾 霞,陈振德,汪东风,等 (614)
城市化进程中城市热岛景观格局演变的时空特征——以厦门市为例	黄聚聪,赵小锋,唐立娜,等 (622)
基于遥感和 GIS 的川西绿被时空变化研究	杨存建,赵梓健,任小兰,等 (632)
亚热带城乡复合系统 BVOC 排放清单——以台州地区为例	常 杰,任 远,史 琰,等 (641)
研究简报	
不同水分条件下毛茛苔草枯落物分解及营养动态	侯翠翠,宋长春,李英臣,等 (650)
大山雀对巢箱颜色的识别和繁殖功效	张克勤,邓秋香,Justin Liu,等 (659)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 330 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2012-01	



封面图说: 雄视——中国的金丝猴有川、黔、滇金丝猴三种,此外还有越南和缅甸金丝猴两种。金丝猴是典型的森林树栖动物,常年栖居于海拔 1500—3300m 的亚热带山地、亚高山针叶林、针阔叶混交林,常绿落叶阔叶混交林中,随着季节的变化,只在栖息的生境中作垂直移动。川金丝猴身上长着柔软金色长毛,十分漂亮。个体大,嘴角处有瘤状突起的是雄性金丝猴的特征。川金丝猴只分布在中国的四川、甘肃、陕西和湖北省。属国家一级重点保护、CITES 附录一物种。

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

DOI: 10.5846/stxb201012121768

韩春梅, 李春龙, 叶少平, 潘开文, 吴宁, 李伟. 生姜水浸液对生姜幼苗根际土壤酶活性、微生物群落结构及土壤养分的影响. 生态学报, 2012, 32(2): 0489-0498.

Han C M, Li C L, Ye S P, Pan K W, Wu N, Li W. Effects of ginger aqueous extract on soil enzyme activity, microbial community structure and soil nutrient content in the rhizosphere soil of ginger seedlings. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(2): 0489-0498.

生姜水浸液对生姜幼苗根际土壤酶活性、 微生物群落结构及土壤养分的影响

韩春梅^{1,2}, 李春龙¹, 叶少平¹, 潘开文^{2,*}, 吴宁², 李伟²

(1. 成都农业科技职业学院, 成都 611130; 2. 中国科学院成都生物研究所恢复生态学重点实验室, 成都 610041)

摘要:以生姜为材料, 研究生姜不同部位(根茎、茎和叶)、不同浓度(10、20、40、80 g/L)的水浸液对生姜幼苗根际土的微生物数量、土壤酶活性及土壤养分含量的影响, 并通过 HPLC 定量分析了生姜各部位水浸液中所含酚酸类(香草酸、丁香酸、对羟基苯甲酸、香豆酸和阿魏酸)、香豆素类(伞花内脂和 7-甲氧基香豆素)化合物的含量。结果表明: 3 种生姜水浸液对所测 6 种土壤酶活性均产生了不同程度的影响, 其中影响最大的是酸性磷酸酶和蔗糖酶, 在 10 g/L 时就达到了显著性差异水平, 并且所有酶均有随着水浸液浓度的增加而呈增大的趋势; 相同部位的水浸液随着浓度的增加, 细菌和真菌的数量呈增加趋势, 而放线菌的数量呈减少趋势; 3 种生姜水浸液均随着浓度的增加降低了土壤中有机的含量, 加剧了土壤中硝态氮含量的积累, 根茎水浸液对土壤有效磷、速效钾和铵态氮均显示出低浓度提高其含量而高浓度降低其含量的趋势, 而茎和叶水浸液则随着浓度的增加均降低了其含量。生姜水浸液中主要化感成分包括: 根茎水浸液主要是丁香酸和伞花内脂; 茎水浸液主要是阿魏酸, 且其含量最高为 73.4 ug/g; 叶水浸液除了阿魏酸, 其他 6 种物质均被检测出, 但含量较高的主要有丁香酸、伞花内脂和香豆酸。

关键词:化感作用; 生姜; 土壤酶; 土壤微生物; HPLC

Effects of ginger aqueous extract on soil enzyme activity, microbial community structure and soil nutrient content in the rhizosphere soil of ginger seedlings

HAN Chunmei^{1,2}, LI Chunlong¹, YE Shaoping¹, PAN Kaiwen^{2,*}, WU Ning², LI Wei²

1 Chengdu Vocational College of Agricultural Science and Technology, Chengdu 611130, China

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

Abstract: Ginger (*Zingiber officinale*) is an important horticultural crop in tropical Southeast Asia. However, the main problem for ginger culture is that ginger is not suitable for continuous cropping and ginger yields are low when this species is cultivated consecutively for years on the same land and rotated with other crops for not more than three years. Ginger aqueous extract can inhibit seed germination and seedling growth of soybean and chive, it also can depress the growth of ginger seedlings. However, allelochemicals in this plant species are unclear, and the effects of ginger aqueous extracts on soil enzyme activity, soil nutrient content and microbial numbers are not well-understood. Therefore, the objectives of the paper were to (1) study the effects of rhizome, stem and leaf aqueous extracts of ginger at different concentrations (10, 20, 40 and 80 g/L) on microbe number, enzyme activities and nutrient content in the rhizosphere soil of ginger seedlings using a potted planting experiment, and (2) reveal allelochemicals in the rhizome, stem and leaf of the ginger aqueous extracts by HPLC. The results indicated that the rhizome, stem and leaf ginger aqueous extracts had different effect on six soil

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:2010-12-12; **修订日期:**2011-06-13

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

enzyme activities (urease, denitrifying, acid phosphatase, proteinase, polyphenol oxidase, invertase). Acid phosphatase and invertase were impacted most strongly, and significantly stimulated when the aqueous extract concentration over 10 g/L. Six soil enzyme activities increased with the concentration of the aqueous extracts. Bacterial and fungi numbers increased, while antinomycetes decreased with the concentration of the aqueous extracts of the identical ginger parts. The ginger aqueous extracts reduced soil organic matter content, and promoted NO_3^- -N accumulation in the soil. Rhizome aqueous extract had similar effects on available P, available K and NH_4^+ -N in the soil, i. e., nutrient content were increased at the lower concentrations, and decreased at the higher concentration. The main allelopathic components of three types of the aqueous extracts were as follows: syringic acid and vmbelliferone were mainly contained in the rhizome extract, while frulic acid was mainly in the stem extract where whose content was the highest (73.4 $\mu\text{g/g}$). The other six substances were detected, except for frulic acid in the ginger aqueous extracts, but the contents of syringic acid, vmbelliferone and p-coumaric acid were relatively higher. The result suggested that allelochemicals released from the ginger deteriorated chemical and biological properties in the soils of ginger land and resulted in the continuous cropping obstacle of ginger plants. The study could benefit for the development of sustainable management in the ginger planting.

Key Words: allelopathy; ginger; soil enzyme; soil microbe; HPLC

植物化感作用 (Allelopathy) 是指植物 (含微生物) 向环境释放特殊的化学物质而对其他植物或微生物产生直接或间接的有害或有益的作用, 这些特殊的化学物质叫做化感物质^[1]。化感物质一方面通过植物体释放产生^[2], 另一方面通过植物地上和地下部分的残体分解产生^[3]。化感作用广泛存在于自然界中, 它涵盖了各种植物之间、包括微生物间的相生相克关系, 对解释植物个体及种间的相互作用机制和构建可持续的植物群落都起着重要的作用, 并对农、林业生产有重要的影响, 如农作物的连作障碍、森林更新失败以及生物入侵等现象都与化感作用密切相关^[4-5]。化感物质进入土壤后, 植物根际微生态系统将发生复杂的变化^[6]。化感物质对土壤微生物区系及酶活性的研究, 包括根系分泌物数量和成分的变化与土壤微生物类群的关系、土壤酶活性与土壤微生物种类及数量的关系等^[7-9], 这为研究化感作用对土壤根际微生态系统的影响, 特别是为根际微生物区系的变化提供了有益的参考。

目前, 有关植物某一部位水浸液以及纯化感物质对土壤酶活性、土壤养分和微生物数量影响的相关研究相对较少, 已有研究主要包括: 黄益宗等^[10]研究发现化感物质阿魏酸对土壤硝化反应的抑制作用最强, 其次是对叔丁基苯甲酸; 吕可等^[11]通过用花椒叶水浸液浇灌盆栽花椒幼苗研究水浸液对土壤酶和微生物的影响, 结果表明: 花椒叶水浸液使根际土中的细菌、真菌和放线菌数量以及微生物总数均有不同程度的减少, 使根际土蛋白酶、蔗糖酶和酸性磷酸酶活性明显低于非根际土相应的酶活性, 而过氧化氢酶和多酚氧化酶活性则显著升高; 印楝种子壳的酒精水浸液显著抑制了土壤中放线菌的数量, 显著增加了土壤中自由固氮细菌的数量, 显著抑制了土壤中反硝化细菌的数量, 土壤脱氢酶活性未受到影响, 而磷酸酶活性受到了严重的抑制^[12]; 2,4-二叔丁基苯甲酸 (PEDT) 和香草酸两种化感物质均在低浓度下提高而在高浓度下抑制了微生物生物量及其活力^[13]。

生姜 (*Zingiber officinale* Rosc.) 为姜科宿根植物, 其块茎含有辛香浓郁的挥发油和姜辣素, 具有健胃、祛寒和解毒等功能, 是重要的调味品之一, 为我国名特蔬菜品种^[14]。中国除东北、西北寒冷地区外, 中部、南部诸省均有栽培, 广东、浙江、四川、山东均为主产区。其中, 四川省的郫县、乐山、犍为、沐川、内江、威远、遂宁、三台、西昌等地均有大面积种植, 四川省常年种植面积达 20 000 hm^2 , 在农民增收和人民生活具有重要的作用和地位。但目前生姜栽培中存在的主要问题是: 生姜不宜连作, 生姜连作后造成地力衰退, 土壤病虫害加剧, 生长受抑, 产量降低, 品质下降而产生连作障碍^[15]。而农作物的连作障碍与其自身产生的化感物质密切相关^[16]。作者就生姜不同器官的水浸液对大豆和葱籽的抑制效应进行了研究, 发现生姜具有化感作用, 其抑制效应为茎>叶>根茎^[17]。生姜连作障碍是否与其自身水浸液中的化感物质相关? 因此, 本文研究生姜不同器

官(根茎、茎和叶)的不同浓度(10、20、40 g/L 和 80 g/L)水浸液对生姜幼苗根际土微生物数量、土壤酶活性及土壤养分含量的影响,旨在揭示生姜根际微生物区系和土壤酶活性的变化规律,为解决生姜连作障碍及地力衰退等问题以及制定科学管理措施提供依据。

1 材料与方法

1.1 生姜浸提液的制备

2006 年 9 月中旬在生姜大田中选取生长发育良好的生姜植株,带回实验室,将其根茎、茎、叶分开,并将茎和叶剪成 1 cm 长的小段,将根茎切成 0.5 cm 厚的薄片,分别置于 60 ℃ 的烘箱中烘 5 d。分别称取 80.0 g 的根茎、茎、叶干样,粉碎后过 2 mm 孔径的筛,在 24 ℃ 下 1 L 蒸馏水中浸泡 24 h,在摇床上震荡(转速 150 r/min),浸泡后过 4 层棉纱布和 11 μm 孔径大小的滤纸过滤,5000 r/min($\times 4530$ g)离心 2 h,上清液即为 80 g/L 的浸提液母液,保存在 2 ℃ 的冰箱中冷藏,将母液稀释成 10、20 和 40 g/L 的水浸液^[18]。

1.2 生姜浸提液的化学成分分析

将新鲜制备的生姜各器官(根茎、茎、叶)水浸液浓度均稀释为 10 g/L,用等容积的乙酸乙酯萃取,用高压液相色谱(HPLC)分析其化学成分^[19]。标准样品为香草酸、丁香酸、对羟基苯甲酸、香豆酸、阿魏酸、伞花内脂和 7-甲氧基香豆素。仪器:Water 515 泵, Waters 996 二极管阵列检测器。色谱柱:Gemini C18, 4.6 mm $\times$ 150 mm,柱温 37 ℃。流动相:0.1% TFA:100% CH₃CN=0.9:0.1(体积分数),流速为 1.00 mL/min,进样量为 5 μL,前三者检测波长为 275 nm,后两者检测波长为 320 nm。

1.3 试验地概况及供试土样的采集

试验区位于四川省乐山市犍为县芭沟镇,地理坐标北纬 29°15',东经 103°47',海拔 510 m,为坪状低山峡谷地貌,土壤为三迭纪须家河组碳坝泥土,中等肥力,排灌条件好,前茬作物为玉米。试验区年均温 17.5 ℃,月均温 7.6 ℃,最热月 7—8 月份,均温 26 ℃;最冷月 1 月;极端最低气温 0 ℃,年积温为 5000—6500.9 ℃,无霜期达 333 d。云雾、阴雨多,日照偏少,年平均总日照数为 1025 h,年降水量 1199—1200 mm。经作者测定,试验地土壤基本性质如表 1 所示。

表 1 试验地土壤基本性质

Table 1 Basic properties of experimental area

有机质 Organic matter /(g/kg)	全氮 Total N /(g/kg)	全钾 Total K /(g/kg)	全磷 Total P /(g/kg)	速效钾 Rapidly available K/(mg/kg)	有效磷 Available P /(mg/kg)	pH (H ₂ O, 1:2.5)
35.4	0.98	9.56	0.46	55.17	1.79	4.7

取样时间 2006 年 4 月 10 日

1.4 试验设计

2006 年 4 月上旬取盆培土(表 1),取自当地未栽过生姜的大田土壤,取回后先过两遍 2 cm 筛,筛去较大的石块及粗枝等,再过细筛,同时混合 10% 的牛粪、5% 的过磷酸钙、1% 的尿素和 2% 的硫酸钾作为底肥,再混合 45% 的敌克松 350 g 进行土壤消毒处理,然后将土混匀,最后随机装盆。每盆土均装至花盆的 3/4 处,每盆装土 10 kg(其中每盆牛粪 1 kg、过磷酸钙 500 g、尿素 100 g、硫酸钾 200 g、敌克松 1.75 g),每盆(上口直径 28 cm,深 25 cm)只栽 1 块姜种(以大小均匀的犍为黄口姜为材料)。于 2006 年 4 月 11 日栽姜苗,先将 3 月底已催芽的姜种掰成小块,每块约 35 g,其上留一个壮芽。

待生姜幼苗长出两片叶后,挑选长势一致的壮苗进行处理。处理数共(3 $\times$ 4)个处理,即生姜不同部位(根茎、茎、叶)、不同浓度(10、20、40、80 g/L)水浸液 50 mL 浇生姜幼苗(处理时间为 2006 年 5 月 15 日),每个处理 4 次重复,此外对照(即 0 g/L)用等量的蒸馏水处理。此后每隔 7 d 浇 50 mL 水浸液处理生姜幼苗,30 d 后即 2006 年 6 月 15 日取土样,用土钻取大约 400 g 生姜根际土,即用土钻环绕植株的根际周围钻孔,钻取深度为 20 cm,将土样合并,轻轻抖动后仍然粘在生姜根茎上的土壤用于生姜幼苗根际微生物数量的测定,装袋、封口并作好标签,立即带回实验室分析处理^[20]。

1.5 指标测定方法

1.5.1 土壤酶测定方法

各土壤酶活性的测定均参照关松荫^[21]的方法。土壤反硝化酶活性采用硝态氮剩余量法;纤维素酶活性采用硝基水杨酸比色法;蛋白酶、蔗糖酶、酸性磷酸酶、多酚氧化酶、土壤脲酶活性采用比色法。

1.5.2 土壤微生物分析

土壤微生物采用平板涂沫法^[22]测定,细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基、真菌采用马丁氏培养基、放线菌采用改良的高氏一号培养基。

1.5.3 土壤养分分析

铵态氮用靛酚蓝比色法;硝态氮用酚二磺酸比色法;有效磷测钼锑抗比色法;速效钾用火焰光度计法;有机质用重铬酸钾容量法(外加热法)^[23]测定。

1.6 数据处理

采用 SPSS (12.0) 统计软件进行单因素方差、LSD 和相关性分析 ($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 生姜浸提液化感成分分析

生姜不同器官水浸液中所含有的化合物种类与含量有所不同(表2)。根茎水浸液检测出有阿魏酸、丁香酸、香豆酸、7-甲氧基香豆素和伞花内脂,干物质中丁香酸和伞花内脂的含量较高,分别为 30.9 $\mu\text{g/g}$ 和 35.8 $\mu\text{g/g}$;茎水浸液检测出有香草酸、阿魏酸、丁香酸和 7-甲氧基香豆素,虽然所检测的种类较少,但干物质中阿魏酸的含量最高(73.4 $\mu\text{g/g}$),是其他物质含量的 1.5—183.5 倍;而叶水浸液中除了阿魏酸外,其他 6 种物质均被检测出,且干物质中丁香酸、伞花内脂和香豆酸的含量均较高,分别为 48.9、32.1 $\mu\text{g/g}$ 和 24.8 $\mu\text{g/g}$ (表2)。

表2 生姜各部位水浸液中的化感成分

Table 2 Allelopathic components in aqueous extracts of different parts of ginger

标准样品 Standard sample	10 mL 水浸液中的浓度/(10^{-5} mol/L) Concentration in aqueous extracts			干物质中的含量/($\mu\text{g/g}$) Content in dry substance		
	根茎 Rhizome	茎 Stem	叶 Leaf	根茎 Rhizome	茎 Stem	叶 Leaf
香草酸 Vanillic acid		1.41	0.54		23.7	9.1
阿魏酸 Ferulic acid	0.70	3.78		13.6	73.4	
丁香酸 Syringic acid	1.56	0.97	2.47	30.9	19.2	48.9
香豆酸 <i>p</i> -coumaric acid	0.46		1.51	7.6		24.8
对羟基苯甲酸 <i>p</i> -hydrobenzoic acid			0.63			8.7
7-甲氧基香豆素 Herniarin	1.01	0.02	0.25	17.6	0.4	4.4
伞花内脂 Umbelliferone	2.21		1.98	35.8		32.1

2.2 生姜水浸液对生姜幼苗土壤酶的影响

生姜不同器官、不同浓度的水浸液对所测 6 种土壤酶活性均产生了不同程度的影响。所有酶均有随着水浸液浓度的增加而呈增大的趋势,而茎的水浸液浓度达到最大(80 g/L)时,所有酶的活性也最高(表3);其中,受影响最大的是酸性磷酸酶和蔗糖酶,根茎、茎、叶水浸液在 10 g/L 时,他们均受到了显著的影响,在茎水浸液最大浓度 80 g/L 时达到最大值,分别较对照提高了 36.57% 和 102.43%;根茎水浸液对其他 3 种酶活性只在浓度达到 20 g/L(蛋白酶)或 40 g/L(脲酶和多酚氧化酶)时才与对照达到显著水平,而叶水浸液对其他 3 种酶活性的影响均在浓度达到 20 g/L 时才达到显著水平。

2.3 生姜水浸液对生姜幼苗根际土壤微生物的影响

不同器官、不同浓度的生姜水浸液不同程度地影响了土壤中的细菌、真菌和放线菌的数量(图1)。同一

器官的水浸液随浓度的增加,土壤细菌和真菌的数量呈增大趋势,而放线菌的数量呈减少趋势。

表 3 生姜水浸液对生姜苗期土壤酶活性的影响

Table 3 Effect of ginger aqueous extracts of different parts on six soil enzyme activities at ginger seedlings

生姜部位 Ginger part	浓度 Concentration (g/L)	脲酶 Urease (NH ₃ -N (mg g ⁻¹ (24 h) ⁻¹))	反硝化酶 Denitrifying (NH ₃ -N (mg g ⁻¹ (24 h) ⁻¹))	酸性磷酸酶 Acid phosphatase (酚 / (mg g ⁻¹ (24 h) ⁻¹))	蛋白酶 Proteinase (氨基酸 (mg g ⁻¹ (24 h) ⁻¹))	多酚氧化酶 Polyphenol oxidase (没食子酸 (mg g ⁻¹ (2 h) ⁻¹))	蔗糖酶 Invertase (葡萄糖 / (mg g ⁻¹ (24 h) ⁻¹))
根茎 Rhizome	0	0.12±0.02c	1.62±0.01d	1.34±0.01e	0.21±0.03d	0.09±0.01c	4.11±0.09e
	10	0.13±0.01bc	1.77±0.02c	1.46±0.02d	0.23±0.01d	0.10±0.01c	5.17±0.10d
	20	0.15±0.01abc	2.22±0.02b	1.53±0.03c	0.30±0.01c	0.12±0.01bc	5.96±0.20c
	40	0.16±0.00ab	2.49±0.03a	1.64±0.01b	0.41±0.02b	0.14±0.01ab	6.58±0.06b
	80	0.18±0.01a	2.49±0.05a	1.70±0.01a	0.52±0.02a	0.17±0.02a	7.78±0.19a
茎 Stem	0	0.12±0.02d	1.62±0.01e	1.34±0.01e	0.21±0.03e	0.09±0.01c	4.11±0.09e
	10	0.15±0.00c	1.84±0.02d	1.49±0.00d	0.30±0.02d	0.12±0.00b	5.72±0.10d
	20	0.16±0.00c	2.04±0.04c	1.59±0.03c	0.41±0.03c	0.14±0.01b	6.51±0.19c
	40	0.19±0.01b	2.22±0.02b	1.71±0.01b	0.63±0.03b	0.19±0.01a	7.14±0.06b
	80	0.22±0.00a	2.78±0.04a	1.83±0.01a	0.82±0.02a	0.21±0.01a	8.32±0.04a
叶 Leaf	0	0.12±0.02d	1.62±0.01a	1.34±0.01e	0.21±0.03d	0.09±0.01d	4.11±0.09e
	10	0.14±0.00cd	1.80±0.03b	1.48±0.00d	0.24±0.01d	0.10±0.00cd	5.45±0.10d
	20	0.16±0.00bc	2.13±0.03c	1.56±0.00c	0.32±0.01c	0.13±0.01bc	6.24±0.19c
	40	0.18±0.00ab	2.35±0.02d	1.66±0.01b	0.53±0.02b	0.16±0.01ab	6.86±0.06b
	80	0.20±0.01a	2.63±0.02e	1.74±0.03a	0.66±0.02a	0.18±0.01a	8.04±0.05a

表中数值为平均值±SD(n=3),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

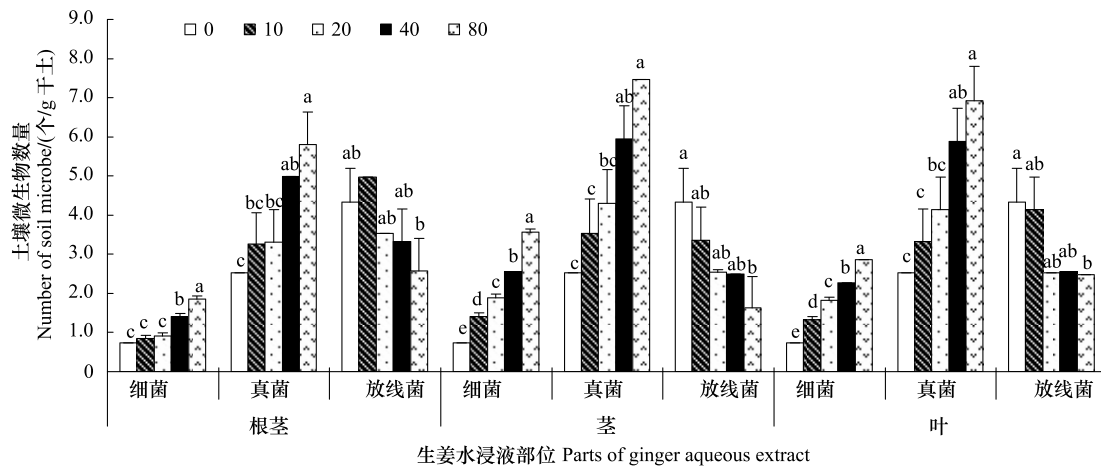


图 1 生姜不同部位水浸液对生姜幼苗根际土壤微生物的影响

Fig. 1 Effect of ginger aqueous extracts with different parts on soil microbe of ginger seedling

细菌、真菌和放线菌数量单位分别为 10^6 、 10^4 、 10^4 个/g 干土,图中横条表示标准误;图例代表水浸液浓度(g/L),图中所标小写字母表示进行 LSD 多重比较时在 $\alpha=0.05$ 水平上的差异显著性,同一小格内具不同字母表示差异显著

与对照相比,生姜茎和叶水浸液在 10 g/L 时就显著增加了 93.2% 和 82.2% 的细菌数量,而根茎水浸液只有达到了 40 g/L 时才显著增加了细菌的数量,其增加百分比为 93.2%;生姜所有器官的水浸液均在浓度达到 40 g/L 时才显著增加了真菌的数量,根茎、茎和叶水浸液均在浓度达到 80 g/L 时,真菌数量最大,分别是对照的 2.29、2.95 倍和 2.74 倍;而对于放线菌来说,根茎水浸液在 10 g/L 时增加了放线菌的数量,随着浓度的

增加,放线菌数量逐渐减少;而茎和叶的水浸液只有达到 80 g/L时才显著降低了放线菌的数量,分别降低了 62.36%和42.73%(图1)。可见,生姜不同器官水浸液对生姜苗期根际土细菌和真菌数量的影响要强于其对放线菌数量的影响。

2.4 生姜水浸液对生姜幼苗根际土壤养分的影响

生姜水浸液均随浓度的增加降低了土壤中有机的含量(表4),且浓度达到 40 g/L时才与对照达到显著水平,根茎、茎和叶水浸液分别较对照降低了 7.0%、4.6%和 5.1%;根茎水浸液对土壤有效磷、速效钾和铵态氮均显示出低浓度提高其含量而高浓度降低其含量的趋势,20 g/L的根茎水浸液处理的土壤有效磷、速效钾和铵态氮含量较对照增加了 5.62%、5.52%和 1.43%,而茎和叶水浸液则随浓度的增加均降低其含量;水浸液均显著加剧了土壤中硝态氮含量的积累,80 g/L的茎水浸液处理下的土壤硝态氮含量最高,是对照的 2.02 倍。

表 4 生姜水浸液对生姜苗期土壤养分的影响
Table 4 Effect of ginger aqueous extracts with different parts on soil nutrients at ginger seedlings

生姜部位 Ginger part	浓度 Concentration /(g/L)	有机质 Organic matter /(g/kg)	有效磷 Available P /(mg/kg)	速效钾 Available K /(mg/kg)	铵态氮 NH ₄ ⁺ -N /(mg/kg)	硝态氮 NO ₃ ⁻ -N /(mg/kg)
根茎 Rhizome	0	41.4±0.5a	12.11±0.16bc	110.19±0.71bc	191.89±8.72a	213.73±5.42e
	10	40.3±0.7ab	12.57±0.20ab	113.86±0.94ab	196.50±6.58a	232.37±1.06d
	20	39.4±0.5abc	12.79±0.33a	116.27±2.56a	194.63±22.15a	253.35±5.55c
	40	38.5±0.8bc	11.73±0.10c	107.52±0.81cd	191.93±48.94a	271.17±3.39b
	80	37.4±0.5c	11.51±0.09c	104.65±0.71d	174.96±9.17a	308.08±7.21a
茎 Stem	0	41.4±0.5a	12.11±0.16a	110.19±0.71a	191.89±8.72a	213.73±5.42e
	10	41.2±0.4a	11.23±0.14ab	109.31±0.20a	171.47±8.89ab	260.50±4.32d
	20	40.9±0.2a	10.79±0.27bc	105.14±0.71b	157.86±16.26ab	293.93±4.27c
	40	39.5±0.4b	10.22±0.68bc	103.06±0.54c	148.99±6.77b	371.25±10.98b
	80	37.2±0.2c	9.97±0.28c	101.68±0.82c	130.25±17.91b	432.43±10.68a
叶 Leaf	0	41.4±0.5a	12.11±0.16a	110.19±0.71a	191.89±8.72a	213.73±5.42d
	10	41.2±0.5a	12.22±0.26a	109.97±0.54a	189.49±11.53a	250.83±8.84c
	20	40.5±0.5ab	11.17±0.34ab	108.50±0.70a	174.04±10.96b	274.64±9.01c
	40	39.3±0.3b	10.55±0.10b	105.34±1.14b	150.62±3.11b	346.32±4.77b
	80	37.2±0.4c	10.07±0.86b	103.45±0.54b	135.73±5.43b	384.89±10.53a

表中数值为平均值±SD(n=3),数值后的字母表示进行 LSD 多重比较时在 α=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

2.5 生姜水浸液处理下土壤微生物数量与土壤酶活性的相关关系

土壤酶均与放线菌数量呈显著负相关,与细菌、真菌及微生物总数均呈显著正相关(表5)。

表 5 土壤微生物数量与土壤酶活性的相关关系
Table 5 Person correlation (R) between microbial number and soil enzyme activity under ginger aqueous treatment

	细菌 Bacteria	真菌 Fungi	放线菌 Actinomycetes	微生物总数 Total
脲酶 Urease	0.900 **	0.719 **	-0.539 **	0.902 **
反硝化酶 Denitrifying	0.766 **	0.748 **	-0.582 **	0.768 **
酸性磷酸酶 Acid phosphatase	0.887 **	0.751 **	-0.642 **	0.899 **
蛋白酶 Proteinase	0.936 **	0.781 **	-0.636 **	0.937 **
多酚氧化酶 Polyphenol oxidase	0.849 **	0.750 **	-0.661 **	0.851 **
蔗糖酶 Invertase	0.855 **	0.778 **	-0.632 **	0.857 **

** 表示在 0.01 水平上的相关性; * 表示在 0.05 水平上的相关性

2.6 生姜水浸液处理下土壤酶、土壤微生物数量与土壤养分含量的相互关系

生姜水浸液处理后的土壤酶、微生物数量与养分含量存在相关关系(表6)。土壤有机质、有效磷、速效钾及铵态氮含量与土壤酶活性、细菌、真菌及微生物总数均呈极显著负相关(其中铵态氮含量与土壤真菌数量呈不显著负相关),分别与放线菌数量呈不显著正相关和显著正相关;而硝态氮含量除与放线菌数量呈极显著负相关外,与其他指标均呈极显著正相关。

表6 土壤酶、土壤微生物数量与土壤养分含量的相关关系

Table 6 Person correlation (*R*) between soil enzyme activity, microbial number and soil nutrient under ginger aqueous treatment

土壤因子 Soil factors	有机质 Organic matter	有效磷 Available P	速效钾 Available K	铵态氮 NH ₄ ⁺ -N	硝态氮 NO ₃ ⁻ -N
脲酶 Urease	-0.700 **	-0.656 **	-0.728 **	-0.580 **	0.911 **
反硝化酶 Denitrifying	-0.853 **	-0.539 **	-0.596 **	-0.459 *	0.799 **
酸性磷酸酶 Acid phosphatase	-0.761 **	-0.641 **	-0.735 **	-0.466 *	0.908 **
蛋白酶 Proteinase	-0.731 **	-0.732 **	-0.791 **	-0.529 **	0.958 **
多酚氧化酶 Polyphenol oxidase	-0.680 **	-0.666 **	-0.746 **	-0.514 **	0.887 **
蔗糖酶 Invertase	-0.758 **	-0.636 **	-0.699 **	-0.515 **	0.885 **
细菌 Bacteria	-0.626 **	-0.807 **	-0.835 **	-0.650 **	0.958 **
真菌 Fungi	-0.637 **	-0.701 **	-0.582 **	-0.389	0.771 **
放线菌 Actinomycetes	0.411	0.503 *	0.486 *	0.446 *	-0.622 **
微生物总数 Total	-0.629 **	-0.810 **	-0.835 **	-0.647 **	0.960 **

* * 表示在 0.01 水平上的相关性; * 表示在 0.05 水平上的相关性

3 讨论

3.1 生姜化感成分分析

香豆素、苯甲酸、羟基肉桂酸、阿魏酸、香豆酸、丁香酸等酚酸类物质,现在均被公认为化感物质^[24]。由表2可以看出:生姜水浸液中已检测出有化感物质的存在,并且有些化感物质在水浸液中的浓度已达到效应浓度,这直接证明了生姜具有化感作用。茎水浸液中阿魏酸的含量最高,这一研究结果与 Hao^[25]等人的研究结果一致。然而,这并不能说明已检测出的化感物质就是水浸液中起作用的主要成分,所检测的酚酸类和香豆素类都是已报道的化感物质^[26-27],其他化感物质的逐步分离、鉴定并确定真正起决定作用的化感物质还需作进一步的研究。

3.2 生姜浸提液对生姜幼苗根际土壤酶活性的影响

土壤酶是土壤中具有生物活性的蛋白质,在物质转化过程中起重要的作用,并对土壤肥力的演化具有重要影响,土壤酶活性高低是土壤肥力的重要指标之一^[28]。由表3可知,生姜不同器官、不同浓度的水浸液对其幼苗根际土壤酶活性均产生了不同程度的影响,所测6种土壤酶活性均有随着水浸液浓度的增加而呈增大的趋势。可见生姜水浸液中的化感物质直接对土壤酶活性产生了影响^[29],进而可能影响土壤养分循环^[30]。这些土壤酶活性的变化对于植物的生长是否有利,以及这些变化是否有益于土壤的可持续利用还有待于进一步研究。

小麦秸秆分解中产生的化感物质阿魏酸对反硝化酶表现为抑制作用,苯甲酸在浓度为0.41 mmol/L时表现为促进作用,浓度继续升高表现为抑制作用,对羟基苯甲酸在浓度高于3.62 mmol/L时均表现为抑制作用,3种化感物质对脲酶均表现为刺激作用,且混合后刺激作用增强^[31],这些现象说明不同种化感物质对同种酶的活性影响不同。本研究中,生姜不同部位水浸液对六种土壤酶活性均表现为促进作用,但影响程度不同(茎>叶>根茎),这与生姜不同部位、不同浓度水浸液中所含化感物质的种类、数量有关(表2)。目前,确定土壤中化感物质抑制效应的临界浓度是当前化感作用研究的热点和难点之一。

3.3 生姜浸提液对生姜幼苗根际微生物类群的影响

随着生姜同一部位水浸液浓度的增加,其幼苗根际细菌、真菌的数量呈增加趋势,而放线菌的数量呈减少

趋势(图 1)。说明生姜不同部位水浸液中的化感物质引起了生姜根际微生物区系组成的定向改变,有害菌增殖,有益菌减少,破坏了根际微生物的平衡,减弱或消除了有益菌对有害菌的拮抗作用,这可能是导致生姜产生连作障碍的原因之一^[32]。

当生姜的化感物质随着淋溶进入土壤,这些成分可能影响着根际微生物组分,潜在地影响着植物,以及植物和微生物的相互作用。Fons 等^[33]认为加入 1% 的皂角苷(saponins)能显著改变三叶草(*Trifolium subterraneum*)根际微生物的种群动态。在经过皂角苷处理的土壤中,原先的两个优势细菌种群 *Chryseomonas* spp. 和 *Acinetobacter* spp. 显著减少,而 *Aquaspirillum* spp. 成为了主要的种群。这种群落结构和组成上的变化,可能也涉及到某些功能菌群、有益菌群和有害菌群的比例平衡失调^[34-35],并可能引起整个土壤微生物群落乃至土壤生态系统功能发生变化。马云华等^[36]发现,采用适宜浓度的酚酸类物质处理黄瓜根区土壤,能有效地促进微生物的生长和繁殖,使其数量增加,特别是与土壤养分转化密切相关的氮素生理群数量明显增加,但高浓度酚酸类物质对土壤微生物有抑制作用。在试验设定的酚酸类物质处理浓度范围内,土壤尖孢镰刀菌和甜瓜疫霉的数量一直呈上升趋势。

酚酸类物质是土壤污染物质,许多微生物参与此类物质的生物降解反应^[37],但产生作用的只是部分功能菌,因此细化研究化感物质作用下土壤微生物种群结构的动态变化,对通过微生物途径解决化感作用问题具有重要意义。

3.4 生姜浸提液对生姜幼苗根际土壤养分的影响

土壤养分是土壤生态系统的重要组成成分,其含量不仅对作物的生长发育有重要影响,而且是评价土壤自然肥力的重要因素之一^[28]。酚酸类化感物质影响着土壤生态系统营养元素的循环^[38]。本研究表明生姜不同部位水浸液均随浓度的增加降低了土壤中有机质的含量,造成这一结果的原因可能是生姜水浸液中酚酸类物质提高了土壤中微生物的活性,促进了土壤有机质的矿化,降低了土壤中有机质的含量^[39]。研究还表明根茎水浸液对土壤有效磷、速效钾和铵态氮均显示出低浓度提高其含量而高浓度降低其含量的趋势,而茎和叶水浸液则随浓度的增加均降低其含量。导致这一结果的原因与生姜 3 个部位水浸液中所含的化感物质的种类、数量有关(表 2)。总体来看,高浓度的生姜水浸液降低了土壤养分的有效性,可能是由于水浸液中酚酸类物质降低了土壤中某些养分的含量,造成了土壤中养分的亏缺^[40]。此外,研究表明 3 个部位的水浸液均随浓度的增加显著加剧了土壤中硝态氮含量的积累(表 4)。表明生姜不同部位水浸液中的化感物质均能抑制 NO_3^- 向 NH_4^+ 的转化,并且高浓度抑制效果明显,可见水浸液中的化感物质具有抑制土壤中氮素循环的作用^[10]。

3.5 土壤微生物、土壤酶、土壤养分的相关关系

土壤细菌、真菌、放线菌等是土壤关键生态过程中土壤酶活性的重要来源^[41],特定的土壤酶活性与细菌和真菌类群密切相关^[42]。本研究表明,6 种所测土壤酶均与放线菌数量呈显著负相关,与细菌、真菌及微生物总数均呈显著正相关(表 5)。

土壤的微生物种类、数量及其变化在一定程度上反映了土壤有机质的矿化速度及各种养分的存在状态,从而直接影响土壤养分的有效性和肥力状况^[43],而土壤养分在一定程度上也会影响土壤微生物特征^[44-46]。土壤的许多生化过程,如土壤中腐殖质的合成与分解,营养物质的转化速度等都与土壤酶活性密切相关^[47]。本研究表明,生姜水浸液处理后的土壤酶、微生物数量与养分含量存在相关关系(表 6)。土壤有机质、有效磷、速效钾及铵态氮含量与土壤酶活性、细菌、真菌及微生物总数均呈极显著负相关(其中铵态氮含量与土壤真菌数量呈不显著负相关),分别与放线菌数量呈不显著正相关和显著正相关;而硝态氮含量除与放线菌数量呈极显著负相关外,与其他指标均呈极显著正相关。说明在生姜长期生长过程中,不断通过淋溶、残体的分解等将化感物质带入土壤,改变土壤微生物区系,进而影响土壤酶活性和土壤养分的有效性,使得土壤环境条件向着不利于生姜植株的生长方向演变。

References:

- [1] Kong C H, Hu F. Allelopathy and Its Application. Beijing: China Agriculture Press, 2001: 1-168.
- [2] Bais H P, Vepachedu R, Gilroy S, Callaway R M, Vivanco J M. Allelopathy and exotic plant invasion: from molecules and genes to species interactions. *Science*, 2003, 301(5638): 1377-1380.
- [3] Blum U, Shafer S R, Lehman M E. Evidence for inhibitory allelopathic interactions involving phenolic acids in field soils: concepts vs. an experimental model. *Critical Reviews in Plant Science*, 1999, 18(5): 673-693.
- [4] Gallet C. Allelopathic potential in bilberry-spruce forests: influence of phenolic compounds on spruce seedlings. *Journal of Chemical Ecology*, 1994, 20(5): 1009-1024.
- [5] Ridenour W M, Callaway R M. The relative importance of allelopathy in interference: the effects of an invasive weed on a native bunchgrass. *Oecologia*, 2001, 126(3): 444-450.
- [6] Hu, K H, Luo, Q G, Wang S H, Lin X, Lin W X. Effects of allelopathic rice on rhizosphere microbial flora and enzyme activity. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(6): 1060-1064.
- [7] Fragoeiro, S, Magan, N, Bossio, D A. Enzymatic activity, osmotic stress and degradation of pesticide mixtures in soil extract liquid broth inoculated with *Phanerochaete chrysosporium* and *Trametes versicolor*. *Environmental Microbiology*, 2005, 7(3): 348-355.
- [8] Bossio D A, Girvan M S, Verchot L, Bullimore J, Borelli T, Albrecht A, Scow K M, Ball A S, Pretty J N, Osborn A M. Soil microbial community response to land use change in an agricultural landscape of western Kenya. *Microbial Ecology*, 2005b, 49(1): 50-62.
- [9] Schmidt K R, Chand S, Gostomski P A, Boyd-Wilson K S H, Ford C, Walter M. Fungal inoculum properties and its effect on growth and enzyme activity of *Trametes versicolor* in soil. *Biotechnology Progress*, 2005, 21(2): 377-385.
- [10] Huang Y Z, Feng Z W, Zhang F Z. Effect of allelochemicals on nitrification in soil. *Soil and Environmental Sciences*, 1999, 8(3): 203-207.
- [11] Li K, Pan K W, Wang J C, Wan T. Effects of *Zanthoxylum bungeanum* leaf extract on soil microbe quantity and enzyme activities. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(9): 1649-1654.
- [12] Gopal M, Gupta A, Arunachalam V, Magu S P. Impact of azadirachtin, an insecticidal allelochemical from neem on soil microflora, enzyme and respiratory activities. *Bioresource Technology*, 2006, 98(16): 3154-3158.
- [13] Qu X H, Wang J G. Effect of amendments with different phenolic acids on soil microbial biomass, activity, and community diversity. *Applied Soil Ecology*, 2008, 39(2): 172-179.
- [14] Guo Y H, Zhang Z X. Establishment and plant regeneration of somatic embryogenic cell suspension cultures of the *Zingiber officinale* Rose. *Scientia Horticulturae*, 2005, 107(1): 90-96.
- [15] Ji J C, Zhang M, Liu M, Ye Y J. Biotype identification of ginger bacterial wilt strains in Sichuan. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2004, 22(4): 391-394.
- [16] Fitter A. Making allelopathy respectable. *Science*, 2003, 301(5638): 1337-1338.
- [17] Han C M, Pan K W, Wu N, Wang J C, Li W. Allelopathic effect of ginger on seed germination and seedling growth of soybean and chive. *Scientia Horticulturae*, 2008, 116(3): 330-336.
- [18] Chon S U, Jang H G, Kim D K, Kim Y M, Boo H O, Kim Y J. Allelopathic potential in lettuce (*Lactuca sativa* L.) plants. *Scientia Horticulturae*, 2005, 106(3): 309-317.
- [19] Kato-Noguchi H. Isolation and identification of an allelopathic substance in *Pisum sativum*. *Phytochemistry*, 2003, 62(7): 1141-1144.
- [20] Gong P M, Pan K W, Wang J C, Wang Y J, Han C M, Ma Y H. Effects of two forms of mineral nitrogenous fertilizers on nematode community composition and diversity in rhizosphere of cucumber in greenhouses. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(2): 1009-1016.
- [21] Guan S Y. *Soil Enzymes and Their Methodology*. Beijing: China Agricultural Press, 1983.
- [22] Shen P, Fan X R, Li G W. *Microbiology Experiment*. Beijing: Higher Education Press, 2002.
- [23] State Administration for Standards (SAS). *Forest Soil Analysis Method (III). Nutrient Analysis Methods of Forest Soil*. Beijing: Chinese Standards Press, 1988: 16-23.
- [24] Rice E L. *Allelopathy*. Orlando: Academic Press, 1984.
- [25] Hao Z P, Wang Q, Christie P, Li X L. Allelopathic potential of watermelon tissues and root exudates. *Scientia Horticulturae*, 2007, 112(3): 315-320.
- [26] Zobel A M, Brown S A. Seasonal changes of furanocoumarin concentrations in leaves of *Heracleum lanatum*. *Journal of Chemical Ecology*, 1990, 16(5): 1623-1634.
- [27] Zhang A J, Yuan Z N, Chen D M, Wang H B, Wu W X, Lin S, Chen T, Chen L L, Fang C X, Lin W X. Analysis of allelochemicals and allelopathic effect of rhizosphere soils of newly planted and ratoon sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2010, 18(5): 1013-1017.
- [28] Zhang L F, Wu F Z, Zhou X G, Yang P. Effects of cucumber root exudates on soil nutrients and enzyme activities under salt stress. *China Vegetables*, 2009, (14): 6-11.
- [29] Yuan G L, Ma R X, Liu X F, Sun S E. Effects of allelochemicals on urease activity. *Environmental Science*, 1998, 19(2): 55-57.
- [30] Wang Y P, Wang H T. Allelochemicals from roots exudation and its environment behavior in soil. *Chinese Journal of Soil Science*, 2010, 41(2): 501-507.

- [31] Dick R P. A review: long term effects of agricultural systems on soil biochemical and microbial parameters. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 1992, 40(1/4): 25-36.
- [32] Zhou B L, Li Y, Li D, Liu N, Ning F H, Hou Y X. Effects of abietic acid on seed germination, seedling growth and microbial population in rhizosphere of hot pepper. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2010, 25(5): 155-160.
- [33] Fons F, Amellal N, Leyval C, Saint-Martin N, Henry M. Effects of gypsophila saponins on bacterial growth kinetics and on selection of subterranean clover rhizosphere bacteria. *Canadian Journal of Microbiology*, 2003, 49(6): 367-373.
- [34] Zhang Q, Yu X. Allelopathy in replant problem in forest soil. *Allelopathy Journal*, 2001, 8(1): 51-64.
- [35] Inderjit, Mallik A U, Weiner K F. Can *Kalmia angustifolia* interference to black spruce (*Picea mariana*) be explained by allelopathy? *Forest Ecology and Management*, 2002, 160(1/3): 75-84.
- [36] 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.
- [37] Yang Y H, Yao J, Hu S, Qi Y. Effects of agricultural chemicals on DNA sequence diversity of soil microbial community: a study with RAPD marker. *Microbial Ecology*, 2000, 39(1): 72-79.
- [38] Inderjit, Mallik A U. Effect of phenolic compounds on selected soil properties. *Forest Ecology and Management*, 1997, 92(1/3): 111-118.
- [39] Zhang E P, Yi N N, Li L L, Li T L, Liu Y. Effect of autotoxic material of tomatoes on soil nutrients. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2010, 23(3): 820-823.
- [40] Chapin F S III. New cog in the nitrogen cycle. *Nature*, 1995, 377(6546): 199-200.
- [41] Diamantidis G, Efosse A, Potier P, Bally R. Purification and characterization of the first bacterial laccase in the rhizospheric bacterium *Azospirillum lipoferum*. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, 32(7): 919-927.
- [42] Aon M A, Colaneri A C. Temporal and spatial evolution of enzymatic activities and physico-chemical properties in an agricultural soil. *Applied Soil Ecology*, 2001, 18(3): 255-270.
- [43] Xu Q, Cheng Z H, Meng H W, Zhang Y. Relationships between soil nutrients and rhizospheric soil microbial communities and enzyme activities in a maize-capsicum intercropping system. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(12): 2747-2754.
- [44] Debosz K, Rasmussen P H, Pedersen A R. Temporal variations in microbial biomass C and cellulolytic enzyme activity in arable soils; effects of organic matter input. *Applied Soil Ecology*, 1999, 13(3): 209-218.
- [45] Taylor J P, Wilson B, Mills M S, Burns R G. Comparison of microbial numbers and enzymatic activities in surface soils and subsoils using various techniques. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, 34(3): 387-401.
- [46] Vepsäläinen M, Erkomaal K, Kukkonen S, Vestberg M, Wallenius K, Niemi R M. The impact of crop plant cultivation and peat amendment on soil microbial activity and structure. *Plant and Soil*, 2004, 264(1/2): 273-286.
- [47] Wang Z Y, Lu J Y, Li F M, Yu B C. Rhizodeposition and its role in carbon cycling in plant-soil system. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(10): 1963-1968.

参考文献:

- [1] 孔垂华, 胡飞. 植物化感作用(相生相克)及其应用. 北京: 中国农业出版社, 2001: 1-168.
- [6] 胡开辉, 罗庆国, 汪世华, 林旋, 林文雄. 化感水稻根际微生物类群及酶活性变化. *应用生态学报*, 2006, 17(6): 1060-1064.
- [10] 黄益宗, 冯宗炜, 张福珠. 化感物质对土壤硝化反应影响的研究. *土壤与环境*, 1999, 8(3): 203-207.
- [11] 吕可, 潘开文, 王进闯, 万涛. 花椒叶浸提液对土壤微生物数量和土壤酶活性的影响. *应用生态学报*, 2006, 17(9): 1649-1654.
- [15] 戢俊臣, 张敏, 刘铭, 叶亚军. 四川省姜瘟病菌生物型鉴定初报. *四川农业大学学报*, 2004, 22(4): 391-394.
- [20] 公丕民, 潘开文, 王进闯, 王彦杰, 韩春梅, 马玉红. $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 肥对大棚黄瓜根际土壤线虫群落组成及其多样性影响. *生态学报*, 2009, 29(2): 1009-1016.
- [21] 关松荫. 土壤酶及其研究方法. 北京: 中国农业出版社, 1983.
- [22] 沈萍, 范秀容, 李广武. 微生物学实验. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [27] 张爱加, 袁照年, 陈冬梅, 王海斌, 吴文祥, 林生, 陈婷, 陈兰兰, 方长旬, 林文雄. 甘蔗根际土壤化感潜力评价及其化感物质分析. *中国生态农业学报*, 2010, 18(5): 1013-1017.
- [28] 张力美, 吴凤芝, 周新刚, 杨平. 盐胁迫下黄瓜根系分泌物对土壤养分及土壤酶活性的影响. *中国蔬菜*, 2009, (14): 6-11.
- [29] 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.
- [30] 王延平, 王华田. 植物根分泌的化感物质及其在土壤中的环境行为. *土壤通报*, 2010, 41(2): 501-507.
- [32] 周宝利, 李燕, 李东, 刘娜, 宁繁华, 侯永侠. 化感物质松香酸对辣椒种子萌发、幼苗生长及根际微生物的影响. *华北农学报*, 2010, 25(5): 155-160.
- [36] 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.
- [39] 张恩平, 衣宁宁, 李亮亮, 李天来, 刘勇. 番茄自毒物质对土壤养分的影响. *西南农业学报*, 2010, 23(3): 820-823.
- [43] 徐强, 程智慧, 孟焕文, 张昱. 玉米-线辣椒套作系统中土壤养分与根际土壤微生物、酶活性的关系. *应用生态学报*, 2007, 18(12): 2747-2754.
- [47] 王振宇, 吕金印, 李凤民, 徐炳成. 根际沉积及其在植物-土壤碳循环中的作用. *应用生态学报*, 2006, 17(10): 1963-1968.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.32 ,No.2 January ,2012(Semimonthly)

CONTENTS

Dynamics of demersal fish species diversity and biomass of dominant species in autumn in the Beibu Gulf, northwestern South China Sea	WANG Xuehui, QIU Yongsong, DU Feiyan, et al (333)
Spatial variation in species richness of birds and mammals in mainland China	DING Jingjing, LIU Dingzhen, LI Chunwang, et al (343)
Comparative study on learning behavior and electroantennogram responses in two geographic races of <i>Cotesia glomerata</i>	WANG Guohong, LIU Yong, GE Feng, et al (351)
Biological characteristics and habitat requirements of <i>Parnassius imperator</i> (Lepidoptera: Parnassidae)	FANG Jianhui, LUO Youqing, NIU Ben, et al (361)
Annual variability in biological characteristics of <i>Illex argentinus</i> in the southwest Atlantic Ocean	FANG Zhou, LU Huajie, CHEN Xinjun, et al (371)
The impact of run-of stream dams on benthic macroinvertebrate assemblages in urban streams	HAN Minghua, YU Haiyan, ZHOU Bin, et al (380)
Effect of suspended sediment on the feeding physiology of <i>Pinctada martensii</i> in laboratory	LI Zhimin, SHEN Yuchun, YU Nantao, et al (386)
Potential nutrient limitation of phytoplankton growth in the Western and Central Pacific Ocean	XU Yanqing, CHEN Jianfang, GAO Shengquan, et al (394)
Ingestion of selected HAB-forming dinoflagellates	ZHANG Qingchun, YU Rencheng, SONG Jingjing, et al (402)
Formation of aggregation by <i>Phaeocystis globosa</i> (Prymnesiophyceae) in response to high grazing pressure	WANG Xiaodong, WANG Yan (414)
Growth and reproduction of the green macroalga <i>Ulva prolifera</i>	ZHANG Bixin, WANG Jianzhu, WANG Yifu, et al (421)
Screening of growth decline related genes from <i>Alexandrium catenella</i>	ZHONG Jie, SUI Zhenghong, WANG Chunyan, et al (431)
Analysis of inherent optical properties of Lake Taihu in spring and its influence on the change of remote sensing reflectance	LIU Zhonghua, LI Yunmei, LU Heng, et al (438)
Neural network modeling of the eutrophication mechanism in Lake Chenghai and corresponding scenario analysis	ZOU Rui, DONG Yunxian, ZHANG Zhenzhen, et al (448)
The compensatory growth of shrubby <i>Pinus thunbergii</i> response to the boring stress in sandy coast	ZHOU Zhen, LI Chuanrong, XU Jingwei, et al (457)
Selected body temperature and thermal tolerance of tadpoles of two frog species (<i>Fejervarya limnocharis</i> and <i>Microhyla ornata</i>) acclimated under different thermal conditions	SHI Linqiang, ZHAO Lihua, MA Xiaohao, et al (465)
Effects of landscape structure and key landscape factors on aphids-parasitoids-hyper parasitoids populations in wheat fields	ZHAO Zihua, WANG Ying, HE Dahan, et al (472)
Effects of cadmium on lipid peroxidation and ATPase activity of plasma membrane from Chinese kale (<i>Brassica alboglabra</i> Bailey) roots	ZHENG Aizhen (483)
Effects of ginger aqueous extract on soil enzyme activity, microbial community structure and soil nutrient content in the rhizosphere soil of ginger seedlings	HAN Chunmei, LI Chunlong, YE Shaoping, et al (489)
Manganese tolerance and accumulation in mycelia of <i>Cordyceps kyuusyuensis</i>	LUO Yi, CHENG Xianhao, ZHANG Congcong, et al (499)
Influence of oxytetracycline exposure on antibiotic resistant bacteria and enzyme activities in wheat rhizosphere soil	ZHANG Hao, ZHANG Lilan, WANG Jia, et al (508)
Effects of elevated nitrogen deposition on soil organic carbon mineralization and soil enzyme activities in a Chinese fir plantation	SHEN Fangfang, YUAN Yinghong, FAN Houbao, et al (517)
Differences in clonal growth between female and male plants of <i>Rhus typhina</i> Linn. and their diurnal changes in photosynthesis and chlorophyll fluorescence	ZHANG Mingru, WEN Guosheng, ZHANG Jin, et al (528)
Soil water holding capacity under four typical ecosystems in Wuyunjie Nature Reserve of Hunan Province	PAN Chunxiang, LI Yuyuan, PENG Yi, et al (538)
The effect of different land use patterns on soil properties in alpine areas of eastern Qilian Mountains	ZHAO Jinmei, ZHANG Degang, LIU Changzhong, et al (548)
Responses of soil macro-fauna to land desertification in sandy grassland	LIU Rentao, ZHAO Halin (557)
Characteristics of cultivable microbial community number and structure at the southeast edge of Tengger Desert	ZHANG Wei, ZHANG Gaosen, LIU Guangxiu, et al (567)
Physiological and ecological responses of maize to different severities of desertification in the Southern Tklamakan desert	LI Lei, LI Xiangyi, LIN Lisha, WANG Yingju, et al (578)
Characterization of caloric value in fifteen plant species in <i>Leymus chinensis</i> steppe in Xilin River Basin, Inner Mongolia	GAO Kai, XIE Zhongbing, XU Sutie, et al (588)
Spatial pattern responses of <i>Achnatherum splendens</i> to environmental stress in different density levels	ZHANG Mingjuan, LIU Maosong, XU Chi, et al (595)
Effects of environmental factors on species distribution and diversity in an <i>Abies fargesii</i> - <i>Betula utilis</i> mixed forest	REN Xuemin, YANG Gaihe, WANG Dexiang, et al (605)
Effects of alginate cerium complexes on ascorbate- glutathione cycle in spinach leaves under chlorpyrifos stress	LUAN Xia, CHEN Zhende, WANG Dongfeng, et al (614)
Analysis on spatiotemporal changes of urban thermal landscape pattern in the context of urbanisation: a case study of Xiamen City	HUANG Jucong, ZHAO Xiaofeng, TANG Lina, et al (622)
The analysis of the green vegetation cover change in western Sichuan based on GIS and Remote sensing	YANG Cunjian, ZHAO Zijian, REN Xiaolan, et al (632)
An inventory of BVOC emissions for a subtropical urban-rural complex: Greater Taizhou Area	CHANG Jie, REN Yuan, SHI Yan, et al (641)
Scientific Note	
Litter decomposition and nutrient dynamics of <i>Carex lasiocapa</i> under different water conditions	HOU Cuicui, SONG Changchun, LI Yingchen, et al (650)
Nest-box color preference and reproductive success of great tit	ZHANG Keqin, DENG Qiuxiang, Justin Liu, et al (659)

《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 2 期 (2012 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 2 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: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		



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