

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 19 期 Vol.32 No.19 **2012**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 19 期

2012 年 10 月 (半月刊)

目 次

中国野生东北虎数量监测方法有效性评估	张常智, 张明海, 姜广顺 (5943)
城市居民食物氮消费变化及其环境负荷——以厦门市为例	于 洋, 崔胜辉, 赵胜男, 等 (5953)
珠江口水域夏季小型底栖生物群落结构	袁俏君, 苗素英, 李恒翔, 等 (5962)
2010 年夏季雷州半岛海岸带浮游植物群落结构特征及其与主要环境因子的关系	龚玉艳, 张才学, 孙省利, 等 (5972)
阿根廷滑柔鱼两个群体间耳石和角质颞的形态差异	方 舟, 陈新军, 陆化杰, 等 (5986)
黄河三角洲滨海草甸与土壤因子的关系	谭向峰, 杜 宁, 葛秀丽, 等 (5998)
盘锦湿地净初级生产力时空分布特征	王莉雯, 卫亚星 (6006)
菜豆根瘤菌对土壤钾的活化作用	张 亮, 黄建国, 韩玉竹, 等 (6016)
花生植株和土壤水浸液自毒作用研究及土壤中自毒物质检测	黄玉茜, 韩立思, 杨劲峰, 等 (6023)
遮荫对金莲花光合特性和叶片解剖特征的影响	吕晋慧, 王 玄, 冯雁梦, 等 (6033)
火干扰对小兴安岭草丛、灌丛沼泽温室气体短期排放的影响	顾 韩, 牟长城, 张博文, 等 (6044)
古尔班通古特沙漠南部植物多样性及群落分类	张 荣, 刘 彤 (6056)
黄土高原樟子松和落叶松与其他树种枯落叶混合分解对土壤的影响	李 茜, 刘增文, 米彩红 (6067)
长期集约种植对雷竹林土壤氨氧化古菌群落的影响	秦 华, 刘卜榕, 徐秋芳, 等 (6076)
H ₂ O ₂ 参与 AM 真菌与烟草共生过程	刘洪庆, 车永梅, 赵方贵, 等 (6085)
北京山区防护林优势树种分布与环境的的关系	邵方丽, 余新晓, 郑江坤, 等 (6092)
旱直播条件下强弱化感潜力水稻根际微生物的群落结构	熊 君, 林辉锋, 李振方, 等 (6100)
不同森林类型根系分布与土壤性质的关系	黄 林, 王 峰, 周立江, 等 (6110)
臭氧胁迫下硅对大豆抗氧化系统、生物量及产量的影响	战丽杰, 郭立月, 宁堂原, 等 (6120)
垃圾填埋场渗滤液灌溉对土壤理化特征和草本花卉生长的影响	王树芹, 赖 娟, 赵秀兰 (6128)
稻麦轮作系统冬小麦农田耕作措施对氧化亚氮排放的影响	郑建初, 张岳芳, 陈留根, 等 (6138)
不同施氮措施对旱作玉米地土壤酶活性及 CO ₂ 排放量的影响	张俊丽, 高明博, 温晚霞, 等 (6147)
北方农牧交错区农业生态系统生产力对气候波动的响应——以准格尔旗为例	孙特生, 李 波, 张新时 (6155)
辽宁省能源消费和碳排放与经济增长的关系	康文星, 姚利辉, 何介南, 等 (6168)
基于 FARSITE 模型的丰林自然保护区潜在林火行为空间分布特征	吴志伟, 贺红士, 梁 宇, 等 (6176)
不同后作生境对玉米地天敌的冬季保育作用	田耀加, 梁广文, 曾 玲, 等 (6187)
云南紫胶虫种群数量对地表蚂蚁多样性的影响	卢志兴, 陈又清, 李 巧, 等 (6195)
阿波罗绢蝶种群数量和垂直分布变化及其对气候变暖的响应	于 非, 王 吟, 王绍坤, 等 (6203)
专论与综述	
海水养殖生态系统健康综合评价: 方法与模式	蒲新明, 傅明珠, 王宗灵, 等 (6210)
海草场生态系统及其修复研究进展	潘金华, 江 鑫, 赛 珊, 等 (6223)
水华蓝藻对鱼类的营养毒理学效应	董桂芳, 解绶启, 朱晓鸣, 等 (6233)
环境胁迫对海草非结构性碳水化合物储存和转移的影响	江志坚, 黄小平, 张景平 (6242)
生态免疫学研究进展	徐德立, 王德华 (6251)
研究简报	
喀斯特峰丛洼地不同森林表层土壤有机质的空间变异及成因	宋 敏, 彭晚霞, 邹冬生, 等 (6259)
准噶尔盆地东南缘梭梭种子雨特征	吕朝燕, 张希明, 刘国军, 等 (6270)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 336 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2012-10	



封面图说: 岸边的小白鹭——鹭科白鹭属共有 13 种, 其中有大白鹭、中白鹭、白鹭 (小白鹭)、黄嘴白鹭等, 体羽皆是全白, 世通称白鹭。夏季的白鹭成鸟繁殖时枕部着生两条狭长而软的矛状羽, 状若双辫, 肩和胸着生蓑羽, 冬季时蓑羽常全部脱落, 白鹭虹膜黄色, 嘴黑色, 脚部黑色, 趾呈黄绿色。小白鹭常常栖息于稻田、沼泽、池塘水边, 以及海岸浅滩的红树林里。白天觅食, 好食小鱼、蛙、虾及昆虫等。繁殖期 3—7 月。繁殖时成群, 常和其他鹭类在一起, 雌雄均参加营巢, 次年常到旧巢处重新修葺使用。

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

DOI: 10.5846/stxb201109131337

黄玉茜, 韩立思, 杨劲峰, 王月, 韩晓日. 花生植株和土壤水浸液自毒作用及土壤中自毒物质检测. 生态学报, 2012, 32(19): 6023-6032.

Huang Y Q, Han L S, Yang J F, Wang Y, Han X R. Autotoxicity of aqueous extracts from plant, soil of peanut and identification of autotoxic substances in rhizospheric soil. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(19): 6023-6032.

花生植株和土壤水浸液自毒作用研究及 土壤中自毒物质检测

黄玉茜¹, 韩立思², 杨劲峰¹, 王月¹, 韩晓日^{1,*}

(1. 沈阳农业大学土地与环境学院, 辽宁生物碳工程技术研究中心, 沈阳 110866;

2. 南京农业大学资源环境科学学院, 南京 210095)

摘要:通过盆栽试验及生物测试研究花生植株、土壤水浸液对其种子萌发和幼苗生长的自毒作用, 利用单因子方差分析结合多重比较分析各处理组生物活性差异; 采用液相色谱法(HPLC)对正茬、连作 2、4 a 和 6 a 的花生根际土壤中酚酸类物质进行定性和定量分析。结果表明: 花生植株不同部位及根际土壤水浸液对花生种子萌发和幼苗生长均具有不同程度的抑制作用, 且抑制作用具有浓度梯度效应, 浓度越高抑制作用越强, 16 g/10 mL 水浸液的抑制作用最大。花生生长受自毒物质的影响, 此影响作用强度因自毒物质的来源部位不同而存在差异。种子萌发以茎水浸液的自毒作用最为明显。但针对幼苗生长的不同测定指标其部位差异不一致, 其中以茎水浸液对幼苗株高和叶面积的自毒作用最为明显, 根际土壤水浸液对幼苗主根长、单株鲜重和单株干重的自毒作用最为明显。在根际土壤水浸液中鉴定到 4 种酚酸物质, 分别为对羟基苯甲酸、香草酸、香豆酸和香豆素, 其中香草酸和香豆素含量较高且变化规律性明显, 在土壤中的含量随连作年限的增加而上升, 连作 6 a 后土壤中的含量达到 0.289 μg/g 和 0.025 μg/g 干土。

关键词:花生; 连作; 自毒作用; 自毒物质

Autotoxicity of aqueous extracts from plant, soil of peanut and identification of autotoxic substances in rhizospheric soil

HUANG Yuqian¹, HAN Lisi², YANG Jinfeng¹, WANG Yue¹, HAN Xiaori^{1,*}

1 Liaoning Biological Carbon Engineering Technology Research Center, College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China

2 College of Resource on Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

Abstract: Autotoxicity is a specific form of allelopathy that causes a reduction in growth of individuals of the same species via the release of chemical substances into the soil or nutrient solution. Autotoxicity effects often are manifested as reduction in crop yield and difficulty with re-establishment of plants in fields because of low seed germination and poor seedling growth. Phenolic acids are important autotoxic compounds that hinder continuous cropping and thus their phytotoxicity has been studied intensively. By means of pot experiments, the autotoxicity of aqueous extracts from peanut plants and rhizospheric soil on germination and growth of peanut seedlings was tested. The phenolic acids in peanut rhizospheric soil, subject to rotational cropping or, continuous cropping for 2, 4 and 6 years, were qualitatively and quantitatively analyzed with high-performance liquid chromatography (HPLC). Differences between treatments were analyzed by one-way ANOVA and Duncan's new multiple range test. The aqueous extracts from different plant parts and rhizospheric soil inhibited seed

基金项目:国家现代农业产业技术体系建设专项资金项目(nycyt-19, CARS-14); 辽宁省教育厅科学一般项目(L2012236)

收稿日期:2011-09-13; **修订日期:**2012-08-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hanxiaori@163.com

germination to different degrees, and showed a concentration gradient effect on the inhibition of seed germination. Inhibition was stronger with increased extract concentration, and the inhibitory effect was highest at 16 parts aqueous extract to 10 parts deionized water (16 g/10 mL). At the lowest extract concentration of 4 g/10 mL, the seed germination percentage in the presence of soil, stem and leaf extracts was 60%, 63% and 68%, respectively; the germination energy was 35%, 12% and 12%; the germination index was 2.67, 2.14 and 2.3; and the root length was 2.11 cm, 1.97 cm and 1.69 cm. At the highest extract concentration of 16 g/10 mL, the germination percentage of soil, stem and leaf extracts was 47%, 60% and 28%, respectively; the germination energy was 28%, 2% and 0; the germination index was 2.09, 1.84 and 0.86; and the root length was 1.83 cm, 1.54 cm and 1.31 cm. The aqueous extracts showed different degrees of inhibition on plant growth, and an extract concentration gradient effect on growth inhibition was observed. Inhibition was stronger with increased extract concentration, and the inhibitory effect was highest with the 16 g/10 mL aqueous extracts. At the lowest extract concentration of 4 g/10 mL, plant height in the presence of soil, stem and leaf extracts was 10.70 cm, 12.59 cm and 17.26 cm, respectively; the root length was 18.58 cm, 14.78 cm and 15.67 cm; the plant fresh weight was 2.86 g, 3.98 g and 5.77 g; the plant dry weight was 0.84 g, 0.90 g and 0.96 g; and the leaf area was 12.01 cm², 16.10 cm² and 28.55 cm². At the highest extract concentration of 16 g/10 mL, the plant height in the presence of soil, stem and leaf extracts was 9.92 cm, 12.03 cm and 16.10 cm, respectively; the root length was 15.60 cm, 14.32 cm and 14.72 cm; the plant fresh weight was 2.68 g, 3.86 g and 5.50 g; the plant dry weight was 0.71 g, 0.80 g and 0.84 g; and the leaf area was 11.04 cm², 12.62 cm² and 26.10 cm². Peanut growth was affected by the presence of the autotoxic substances, and the impact on growth varied among aqueous extracts from different plant parts. The autotoxicity of stem aqueous extracts had the most significant impact on seed germination, plant height and leaf area. The autotoxicity of rhizospheric soil aqueous extracts had the most significant impact on plant root length, and plant fresh and dry weights. Four phenolic acids (*p*-hydroxybenzoic acid, vanillic acid, coumaric acid and coumarin) were detected in the rhizospheric soil extract and quantified by HPLC. Vanillic acid and coumarin contents were higher than those of the other phenolic acids and increased in concentration with number of years of continuous cropping. The amounts of vanillic acid and coumarin after cropping for 6 years were 0.289 µg/g dry soil and 0.025 µg/g dry soil, respectively.

Key Words: peanut; continuous cropping; autotoxicity; autotoxic substances

同一种作物或近缘作物连作后,即使用正常的栽培管理措施也会发生产量降低、品质变劣、生育状况变差的现象,这一现象即是连作障碍^[1]。花生(*Arachis hypogaea* L.)是我国主要的油料作物,随着花生种植面积不断扩大,势必导致花生重茬连作,然而花生又是最不适宜重茬连作的作物之一^[2]。近几年来,在我国花生主产区,花生连作重茬减产严重,连作的年限越长,减产的幅度就越大^[3-4]。导致连作障碍产生的原因多种多样,其机理也非常复杂,而且不同作物产生连作障碍的原因是不同的。纵观国内外的研究结果,一般认为,发生连作障碍的可能性原因包括以下三方面,即土壤理化性质恶化、土壤生物学环境恶化和自毒作用^[5-7]。而越来越多的研究显示,在农林生态系统中,植物本身的自毒作用是导致连作障碍的重要因素之一^[8-10]。自毒作用是化感作用的一种特殊形式,作物的自身分泌物,茎、叶的淋溶物及残体分解产物所产生的有毒物质(化感物质),其抑制根系生长,降低根系活性,改变土壤微生物区系,有助于病原菌的繁殖,导致作物生长不良、发病、甚至死亡。而大量的研究则显示出,酚酸类物质是引起连作障碍的重要的自毒物质^[11-15]。

当前国内外关于化感自毒作用的研究多集中在水稻、大豆、黄瓜等作物,近年来我国学者也相继对花生化感作用进行研究^[16-18],而目前对花生植株浸提液对自身的自毒作用还鲜见报道。本文通过盆栽试验及生物测试,研究了花生植株、花生土壤水浸提液对其种子萌发和幼苗生长的自毒作用,并采用 HPLC 技术,有针对性的检测了不同连作年限花生根际土壤中酚酸类物质的种类及含量,以期揭示花生连作障碍内因,构建高效合理的花生轮、连作模式提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试品种

花生品种为花育 16, 该品种属近普通型大花生品种, 株型直立, 抗旱耐涝性强, 生育期 130 d 左右。

1.1.2 供试土壤

土壤取自于辽宁省沈阳市康平县海州乡杨家村, 分别选择连作 3a 玉米(2006、2007、2008 年)地块作为 1# 供试土壤、种植 1a 花生(2008 年)地块作为 2# 供试土壤、连作 3a 花生(2006、2007、2008 年)地块作为 3# 供试土壤、连作 5a 花生(2004、2005、2006、2007、2008 年)地块作为 4# 供试土壤, 土壤类型为风沙土, 土壤质地为砂质壤土, 4 个地块的管理措施相同, 每年播种前均基施三元复合肥 450 kg/hm²(氮、磷、钾含量为 15-15-15), 花针期追施尿素 450 kg/hm²。每块地采用 5 点取样法, 用小钢铲去掉表层土后, 采集 0—20 cm 土层的土壤作为土样, 每个样点取 50 kg 土壤, 随即装入塑料袋中, 同一土样混匀后即作为花生栽培土壤(1.2.1)。供试土壤基本理化性质见表 1。

1.1.3 标准品和试剂

对-羟基苯甲酸(506842)、苯甲酸(AP-001N)、香草酸(555794)、香豆素(ALR-011N)、香豆酸(C0391)为标准样品, 均购自 ACROS 公司, 香草醛为高纯试剂(纯度为 99%), 购自国药集团化学试剂有限公司。流动相使用的甲醇为色谱醇。液相色谱用水为高纯水, 所有流动相均过 0.22 μm 微孔滤膜。

表 1 供试土样基本理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of tested soil sample

土壤 Soil	pH	有机质 (C) Organic matter /(g/kg)	全氮 Total N /(g/kg)	碱解氮 Alkali-hydrolyzable N /(mg/kg)	有效磷 Available P /(mg/kg)	速效钾 Available K /(mg/kg)
1#	6.14	8.36	0.82	37.10	2.29	46.50
2#	5.88	7.31	0.83	31.48	5.23	41.75
3#	6.15	8.45	0.93	34.20	4.81	39.40
4#	6.03	8.50	0.87	31.50	5.53	52.21

1.2 方法

1.2.1 盆栽花生

试验在沈阳农业大学土地与环境学院网室进行, 塑料盆钵上口直径 32 cm、下口直径 25 cm、高 22 cm, 每盆装土样 10 kg, 试验设 4 个处理, 分别为正茬(栽培土壤为 1#)、连作 2a(栽培土壤为 2#)、连作 4a(栽培土壤为 3#)、连作 6a(栽培土壤为 4#), 每个处理 9 次重复。于 2009-05-08 日播种, 每盆播 3 穴, 每穴播 2 粒, 播种前一次性施用肥料尿素、磷酸二铵和硫酸钾, N 用量为 0.05 g/kg 土, P₂O₅ 和 K₂O 为 0.1 g/kg 土。两周后出苗, 出苗后每穴留健苗 1 株。生育期间精细管理, 按时浇水。

1.2.2 花生植株不同部位及根际土壤水浸液自毒作用研究

(1) 不同水浸液的制备

①花生根际土壤水浸液的制备

于花针期时取正茬花生根际土壤, 采样时利用内径 2 cm 土钻, 采集 0—20 cm 根区土壤, 重复间多点采取土样并混合, 风干研磨后过 18 目筛, 按土水比为生植株不同部位及根的比例浸泡于烧杯中, 充分振荡后静置过夜, 离心(2000 r/min, 24℃, 10 min), 取上清液过滤, 将滤液经过 51℃ 旋转蒸发浓缩仪减压浓缩, 参考当前化感研究普遍使用的浓度, 最后将水浸液定容配制成 4 g/10 mL(即相当于 4 g 干重根际土壤样品浸于 10 mL 去离子水中)、生植株不同部位及根 16 g/10 mL 的水浸液, 放入 4℃ 冰箱中备用^[16]。

②花生茎、叶的水浸液的制备

于花针期时取正茬花生整株, 先用水清洗植株上及根系上粘附的灰尘(先用自来水冲洗, 再用去离子水

冲洗),分成茎、叶两部分,分别晾干、剪切成 1 cm 小段,按 1g/10 mL 的比例用去离子水浸泡 24 h,过滤,将滤液经过 51 ℃ 旋转蒸发浓缩仪减压浓缩,最后定容配制 4 g/10 mL、8 g/10 mL、16 g/10 mL 的水浸液,放入 4 ℃ 冰箱中备用^[19]。

(2) 不同水浸液对花生种子萌发影响的生物检测

挑选大小相当的花生种子 20 粒放于铺有滤纸的培养皿(15 cm)中,分别加入等量 4 g/10 mL、8 g/10 mL、16 g/10 mL 的 3 种浓度土壤、茎、叶水浸提液 2 mL 培养,以加无菌水为对照。在恒温光照培养箱中培养 7 d,设定温度 25 ℃,定期补充培养液,重复 3 次,每天观察发芽情况,调查种子发芽数,当胚根突破种皮,长度为种长一半时计为发芽种子,5d 后测定发芽势、一周后测定发芽率、根长,计算发芽指数。

$$\text{发芽率}(\%) = (\text{发芽终期全部正常发芽的种子数} / \text{供试种子数}) \times 100\%$$

$$\text{发芽势}(\%) = (5 \text{ 天内发芽种子数} / \text{供试种子数}) \times 100\%$$

$$\text{发芽指数} = \sum (G_t / D_t) \text{ 式中, } G_t \text{ 为逐日发芽种子数, } D_t \text{ 为相应发芽天数}$$

(3) 不同水浸液对花生幼苗生长影响的生物检测

将 300 g 砂土装入大小相当的营养钵中,浇透水,并分别加入等量 4 g/10 mL、8 g/10 mL、4 g/10 mL 的 3 种浓度土壤、茎、叶水浸提液 25 mL 培养,分别播入经浸种催芽处理的种子。以无菌水作对照,3 次重复,每重复 20 株,外界自然条件生长。苗期时测定植株最大叶面积、株高、主根长、单株鲜重、单株干重。

1.2.3 花生根际土壤中酚酸类物质的检测

于花针期时分别取正茬、连作 2a、连作 4a 和连作 6a 花生根际土壤阴凉处风干方法同前,研磨后过 40 目筛。称取土样 20 g,量取蒸馏水 20 mL,加入 50 mL 离心管中,充分搅拌后,摇床振荡 2 h,然后室温下,8000 r/min 离心 10 min,取上清液置于 51 ℃ 旋转蒸发仪蒸发至干,然后加高纯水定容至 2 mL,进样前过 0.22 μm 微孔滤膜作为土壤进样品。

安捷伦 1100 液相色谱仪,Aglient 1100 泵系统,二极管阵列检测器(DAD)。分离柱采用资生堂 ODS-C₁₈ 柱(250 mm×2.1 mm,5 μm),检测波长 λ=280 nm,柱温 35 ℃,进样量 10 μL,流动相组为甲醇和 0.5% 甲酸(甲醇:0.5% 甲酸=25:75),流速为 1.0 mL/min。

在确定的色谱条件下测定不同质量浓度的标准混合液,以各梯度质量浓度为纵坐标,峰面积为横坐标,计算得到各种酚酸类物质的标准曲线见表 2,6 种酚酸标样液相色谱图见图 1。

表 2 标准品在选定色谱条件下的标准曲线
Table 2 Calibration curves of the standards under choosed HPLC condition

标准样品 Standards	标准曲线 Calibration curve	回归系数 Regression coefficient
对-羟基苯甲酸 p-hydroxy benzoic acid	$Y=829.83X-0.743$	0.996
苯甲酸 Benzoic acid	$Y=272.73X+0.252$	0.999
香草酸 Vanillic acid	$Y=504.084X-2.165$	0.995
香豆素 Coumarin	$Y=2305.532X-6.89$	0.998
香豆酸 Coumaric acid	$Y=829.83X-0.743$	0.999
香草醛 Vanillin	$Y=1680.965X-5.90$	0.998

1.3 数据处理

参照 Williamson 等^[20]提出的响应指数(response index, RI)作为衡量花生不同部位及土壤水浸液自毒效应的大小。即:

$$RI=1-C/T \quad \text{当 } T \geq C$$

$$RI=T/C-1 \quad \text{当 } T < C$$

式中,C 为对照值,T 为处理值,RI>0 为促进,RI<0 为抑制,定义对照的 RI 值为 0,绝对值的大小与作用强度一致。所得数据(除注明外,均以原始数据进行)用 SPSS15.0 软件进行差异显著性分析、单因子方差分析结合

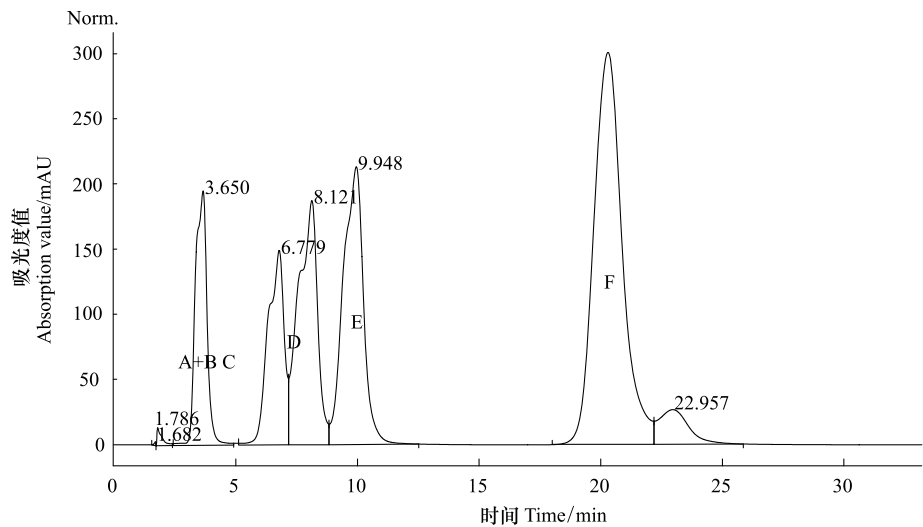


图 1 6 种酚酸混合标样色谱图

Fig.1 Chromatogram of 6 phenolic acids

A: 苯甲酸 Benzoic acid; B: 香豆酸 Coumaric acid; C: 对-羟基苯甲酸 p-hydroxy benzoic acid; D: 香草酸 Vanillic acid; E: 香草醛 Vanillin; F: 香豆素 Coumarin

多重比较分析。以 95% 可信度水平做差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 花生植株不同部位及根际土壤水浸液自毒作用研究

2.1.1 花生植株不同部位及根际土壤水浸液对其种子萌发的自毒作用

花生植株不同部位及根际土壤水浸液对花生种子萌发有较大影响(表 3)。经花生根际土壤、茎和叶的水浸液处理后,花生种子的发芽率、发芽势、发芽指数和根长均低于 CK,即不同浓度的花生根际土壤、茎和叶的水浸液均对其种子萌发存在一定的抑制作用,且抑制作用强度随着水浸液浓度的增大而增强。根际土壤、茎和叶水浸液在浓度 4 g/10 mL 时,其种子发芽率分别为 60%、63% 和 68%,而在浓度 16 g/10 mL 时则分别为 47%、60% 和 28%。种子发芽率均随着水浸液浓度的增大而降低,抑制作用增强,不同浓度根际土壤和叶水浸液间存在

表 3 花生植株不同部位及根际土壤水浸液对其种子萌发指标的影响

Table 3 Effects of aquatic extracts from different parts and rhizospheric soil of peanuts on the indexes of its seed germination									
水浸液 Aquatic extract	浓度 Concentration	发芽率/×100% Germination ratio	RI	发芽势/×100% Germination energy	RI	发芽指数 Germination index	RI	根长/cm Root length	RI
土壤 Soil	CK	0.68±0.17a	—	0.35±0.18a	—	2.95±1.10a	—	2.22±0.91a	—
	4 g/10 mL	0.60ab	-0.12	0.35±0.09a	—	2.67±0.98a	-0.09	2.11±0.34a	-0.05
	8 g/10 mL	0.60ab	-0.12	0.30±0.07a	-0.14	2.63±0.95a	-0.11	2.08±0.34a	-0.06
	16 g/10 mL	0.47±0.12b	-0.31	0.28±0.08a	-0.20	2.09±0.83a	-0.29	1.83±0.21a	-0.18
茎 Stem	CK	0.70±0.29a	—	0.30±0.11a	—	2.82±0.96a	—	3.57±1.14a	—
	4 g/10 mL	0.63±0.12a	-0.10	0.12±0.05b	-0.60	2.14±0.84b	-0.24	1.97±0.13b	-0.45
	8 g/10 mL	0.67±0.06a	-0.04	0.08±0.01b	-0.73	2.18±0.85b	-0.23	1.86±0.13b	-0.48
	16 g/10 mL	0.60±0.09a	-0.14	0.02±0.01c	-0.93	1.84±0.67b	-0.35	1.54±0.04c	-0.57
叶 Leaf	CK	0.70±0.19a	—	0.25±0.03a	—	2.54±0.81a	—	2.47±1.09a	—
	4 g/10 mL	0.68±0.13a	-0.03	0.12±0.02b	-0.52	2.30±0.77a	-0.09	1.69±0.19a	-0.32
	8 g/10 mL	0.62±0.14a	-0.11	0.08±0.01bc	-0.68	2.04±0.71a	-0.20	1.55±0.12bc	-0.37
	16 g/10 mL	0.28±0.13b	-0.60	0c	-1.00	0.86±0.29b	-0.66	1.31±0.26c	-0.47

不同小写字母表示处理间差异达 5% 显著水平

显著差异。在同一浓度时,花生植株不同部位和根际土壤水浸液对种子发芽率的抑制作用强度顺序无明显规律。根际土壤、茎和叶水浸液在浓度 4 g/10 mL 时,其种子发芽势分别为 35%、12% 和 12%,而在浓度 16 g/10 mL 时则分别为 28%、2% 和 0。种子发芽势也随着水浸液浓度的增大而降低,抑制作用增强,不同浓度茎、叶水浸液均与对照存在显著差异。根际土壤、茎和叶水浸液在浓度 4 g/10 mL 时,其种子发芽指数分别为 2.67、2.14 和 2.3,而在浓度 16 g/10 mL 时则分别为 2.09、1.84 和 0.86。种子发芽指数也随着水浸液浓度的增大而降低,抑制作用增强,不同浓度茎、叶水浸液存在显著差异。根际土壤、茎和叶水浸液在浓度 4 g/10 mL 时,其根长分别为 2.11、1.97 和 1.69,而在浓度 16 g/10 mL 时则分别为 1.83、1.54 和 1.31。根长也随着水浸液浓度的增大而降低,抑制作用增强,不同浓度茎、叶水浸液均与对照存在显著差异。

2.1.2 花生植株不同部位及根际土壤水浸液对其幼苗生长的自毒作用

花生植株不同部位及根际土壤水浸液对花生幼苗生长有一定影响(表 4)。经花生根际土壤、茎和叶的水浸液处理后,花生幼苗的株高、主根长、单株鲜重、单株干重和叶面积均低于 CK,即不同浓度的花生根际土壤、茎和叶的水浸液均对其幼苗生长存在一定的抑制作用,且抑制作用强度随着水浸液浓度的增大而增强。根际土壤、茎和叶水浸液在浓度 4 g/10 mL 时,其幼苗株高分别为 10.70、12.59 cm 和 17.26 cm,而在浓度 16 g/10 mL 时则分别为 9.92、12.03 cm 和 16.10 cm。幼苗株高均随着水浸液浓度的增大而降低,抑制作用增强,但是不同浓度根际土壤、茎和叶水浸液间均不存在显著差异。根际土壤、茎和叶水浸液在浓度 4 g/10 mL 时,其幼苗主根长分别为 18.58、14.78 cm 和 15.67 cm,而在浓度 16 g/10 mL 时则分别为 15.60、14.32 cm 和 14.72 cm。幼苗主根长也随着水浸液浓度的增大而降低,抑制作用增强,不同浓度茎、叶水浸液间不存在显著差异,而不同浓度根际土壤水浸液均与对照存在显著差异。根际土壤、茎和叶水浸液在浓度 4 g/10 mL 时,其幼苗单株鲜重分别为 2.86、3.98 g 和 5.77 g,而在浓度 16 g/10 mL 时则分别为 2.68、3.86 g 和 5.50 g。幼苗单株鲜重也随着水浸液浓度的增大而降低,抑制作用增强,不同浓度茎、叶水浸液间不存在显著差异,而不同浓度根际土壤水浸液均与对照存在显著差异。根际土壤、茎和叶水浸液在浓度 4 g/10 mL 时,其幼苗单株干重分别为 0.84、0.90 g 和 0.96 g,而在浓度 16 g/10 mL 时则分别为 0.71 g、0.80 g 和 0.84 g。幼苗单株干重也随着水浸液浓度的增大而降低,抑制作用增强,不同浓度茎、叶水浸液间不存在显著差异,而不同浓度根际土壤水浸液均与对照存在显著差异。根际土壤、茎和叶水浸液在浓度 4 g/10 mL 时,其幼苗叶面积分别为 12.01、16.10 cm² 和 28.55 cm²,而在浓度 16 g/10 mL 时则分别为 11.04、12.62 cm² 和 26.10 cm²。幼苗叶面积均随着水浸液浓度的增大而降低,抑制作用增强,但是不同浓度根际土壤、茎和叶水浸液处理间均不存在显著差异。在同一浓度时,花生植株不同部位和根际土壤水浸液对幼苗叶面积的抑制作用强度(RI)顺序为:茎>叶>土壤。

表 4 花生植株不同部位及根际土壤水浸液对其幼苗生长的影响

Table 4 Effects of aquatic extracts from different parts and rhizospheric soil of peanuts on the plants growth

水浸液 Aquatic extract	浓度 Concentration	株高/cm Height	RI	主根长/cm Root length	RI	单株鲜重/g Fresh weight	RI	单株干重/g Dry weight	RI	叶面积/cm ² Leaf area	RI
土壤 Soil	CK	10.86±1.04a	—	20.07±4.00a	—	3.38±0.60a	—	0.88±0.19a	—	12.37±2.68a	—
	4 g/10 mL	10.70±0.91a	-0.01	18.58±3.62ab	-0.07	2.86±0.72ab	-0.15	0.84±0.19ab	-0.05	12.01±3.87a	-0.03
	8 g/10 mL	10.11±2.12a	-0.07	17.49±4.31ab	-0.13	2.75±0.60b	-0.19	0.78±0.19ab	-0.11	11.86±4.74a	-0.04
	16 g/10 mL	9.92±1.21a	-0.09	15.60±5.08b	-0.22	2.68±0.31b	-0.21	0.71±0.06b	-0.19	11.04±3.85a	-0.11
茎 Stem	CK	13.31±2.06a	—	14.96±2.74a	—	4.28±1.55a	—	0.96±0.23a	—	17.88±3.77a	—
	4 g/10 mL	12.59±1.61a	-0.05	14.78±4.58a	-0.01	3.98±0.83a	-0.07	0.90±0.21a	-0.06	16.10±3.76a	-0.10
	8 g/10 mL	11.87±3.04a	-0.11	14.21±2.49a	-0.05	3.90±1.26a	-0.09	0.88±0.30a	-0.08	15.71±3.59a	-0.12
	16 g/10 mL	12.03±1.50a	-0.10	14.32±5.32a	-0.04	3.86±1.56a	-0.10	0.80±0.28a	-0.17	12.62±3.80a	-0.29
叶 Leaf	CK	17.63±2.04a	—	16.16±3.56a	—	6.00±0.69a	—	0.97±0.13a	—	30.31±6.71a	—
	4 g/10 mL	17.26±2.44a	-0.02	15.67±4.26a	-0.03	5.77±1.26a	-0.04	0.96±0.17a	-0.01	28.55±6.91a	-0.06
	8 g/10 mL	16.73±1.93a	-0.05	15.31±2.11a	-0.05	5.38±0.64a	-0.10	0.85±0.08a	-0.12	27.33±4.97a	-0.10
	16 g/10 mL	16.10±2.98a	-0.09	14.72±2.90a	-0.09	5.50±2.03a	-0.08	0.84±0.08a	-0.13	26.10±9.20a	-0.14

2.2 不同连作年限花生根际土壤中酚酸类物质的种类及含量

不同连作年限的花生根际土壤样品中,酚酸物质主要有对羟基苯甲酸、香草酸、香豆酸和香豆素,其中香草酸和香豆素含量较高且变化规律性明显(表5),香豆酸和对羟基苯甲酸含量较低,且变化没有规律。香草酸和香豆素两种酚酸在土壤中的含量随连作年限的增加而上升。正茬土壤中香草酸含量最低,为 $0.059\text{ }\mu\text{g/g}$ 干土,连作6a后土壤中的含量最高,为 $0.289\text{ }\mu\text{g/g}$ 干土,是正茬的4.90倍。香豆素含量变化规律与香草酸相同,正茬土壤中含量最低,为 $0.008\text{ }\mu\text{g/g}$ 干土,连作6a后土壤中的含量最高,为 $0.025\text{ }\mu\text{g/g}$ 干土,是正茬的3.12倍。两种酚酸物质含量相比,土壤中香草酸的含量较高,连作6a后土壤中的含量达到 $0.289\text{ }\mu\text{g/g}$ 干土,显著高于香豆素在土壤中的含量,是其11.56倍。连作6a后土壤中两种酚酸物质含量达到 $0.314\text{ }\mu\text{g/g}$ 干土,高于连作4a及2a的土壤中含量,且显著高于正茬土壤中含量($0.067\text{ }\mu\text{g/g}$ 干土),是其4.69倍。

表5 不同连作年限花生根际土壤中酚酸种类及含量

Table 5 Phenolic acid contents in peanuts rhizosphere soil of different planting years

连作年限/a Planting years	香草酸 Vanillic acid /($\mu\text{g/g}$ 干土)	香豆素 Coumarin /($\mu\text{g/g}$ 干土)	总量 Total /($\mu\text{g/g}$ 干土)
正茬	0.059 ± 0.002	0.008	0.067 ± 0.003
2	0.132 ± 0.010	0.019 ± 0.001	0.151 ± 0.011
4	0.187 ± 0.050	0.021 ± 0.001	0.208 ± 0.051
6	0.289 ± 0.060	0.025 ± 0.001	0.314 ± 0.061

3 结论与讨论

3.1 自毒作用

室内生物测定试验表明,花生植株和根际土壤水浸提液对其种子萌发和幼苗生长具有一定的自毒作用,且作用强度随浸提液浓度的增大而增强,具有浓度梯度效应,这与前人的研究结果基本一致。杨广超等认为,西瓜根、茎、叶水浸液对西瓜种子发芽有较大影响,与蒸馏水对照相比,西瓜根、茎、叶的水浸液处理后种子的发芽率、根长、胚轴长和根系活力均比对照低,随着浓度增加,抑制作用越明显^[21]。黄闽敏的研究结果显示,天山云杉的自毒作用具有浓度效应。随着提取液处理浓度的升高,对天山云杉种子萌发和幼苗生长的抑制均有增强的趋势,但在较低的浓度时自毒效应较弱^[22]。张新慧认为,当归不同部位及根际土壤水浸液处理对其种子萌发和幼苗生长均表现出明显的抑制作用,自毒作用在外观上表现为种子萌发速度缓慢,萌发率低,胚根和胚芽长度比对照减小,且随着水浸液处理浓度的提高,自毒表现出的抑制作用也越强^[23]。但也有研究结果显示,只有当水浸液的浓度必须达到某一临界浓度时,才能产生化感作用,低于这一浓度植物不受损坏,且部分化感物质会产生促进植物生长的效应。袁莉等在试验中发现,当用苜蓿地上部上1/3处、中1/3处、下1/3处、浓度为干重 0.2g/mL 和 0.1g/mL 的提取液处理种子时,种子不萌发,提取液对种子萌发率和发芽势的抑制作用达到100%;当提取液的浓度降低到 0.05g/mL 时种子萌发率明显上升,提取液对种子萌发率的抑制作用降到36.4%^[24]。她认为,不同浓度的苜蓿提取液对苜蓿种子萌发有不同程度的抑制或者促进作用,随着提取液浓度的升高,抑制作用增强,随着浓度降低而减弱甚至消失,表现出“低促高抑”的现象。

此外本研究中发现花生种子萌发受自毒物质影响存在部位差异,以茎水浸液的自毒作用最为明显;花生幼苗生长受自毒物质影响也存在部位差异,但针对幼苗生长的不同测定指标其部位差异不一致,其中以茎水浸液对幼苗株高和叶面积的自毒作用最为明显,根际土壤水浸液对幼苗主根长、单株鲜重和单株干重的自毒作用最为明显。周凯在研究中也发现,菊花不同部位水浸液对种子萌发和幼苗生长存在抑制作用,但抑制作用强度依种类有差异,其中叶、枯落物和茎水浸液表现出明显的抑制作用,而根际土壤、根系及根系分泌物的抑制作用较弱,甚至在较低的浓度时促进种子萌发和幼苗的生长^[25]。黄瓜植株残体分解产物的水溶液对幼苗生长试验结果表明^[26],枯茎叶水浸提液对幼苗不但没有抑制作用,相反却促进幼苗生长。随浓度的增大,促进作用增强,与种子萌发试验存在很大差异,分析其原因可能是因为幼苗生长在自然状态下,受到多种因素

影响,特别是土壤和土壤微生物的影响。腐解产物除了化感物质的抑制作用外,还存在有机质对幼苗的促进作用,关于此问题还有待进一步研究。由此可见,不同作物植株、根际土壤水浸液对其种子萌发和幼苗生长的自毒作用规律各不相同,这可能与研究手段、水浸液浓度和取样时间有关,但可以肯定的是,植物的植株和根际土壤水浸液在高浓度时,确实对其种子萌发和幼苗生长具有一定的自毒作用,因此不排除这也可能是造成作物连作障碍的原因之一。

3.2 花生根际土壤中自毒物质

连作土壤中酚酸类物质的积累已有相当多的报道,连作可明显影响土壤中酚酸类物质含量和种类的变化^[27],因此,土壤酚酸类物质的研究可能是揭示连作障碍形成机制的重要途径之一。结果显示,不同连作年限的花生根际土壤样品中,酚酸物质主要有对羟基苯甲酸、香草酸、香豆酸和香豆素,其中香草酸和香豆素含量较高且变化规律性明显,香豆酸和对羟基苯甲酸含量较低,且变化没有规律。香草酸和香豆素两种酚酸在土壤中的含量随连作年限的增加而上升。这种酚酸物质的积累趋势同前人研究结果基本相同,如胡元森从大棚黄瓜连作土壤中均检测到对-羟基苯甲酸、香草酸、阿魏酸的存在,并发现土壤中这几种酚酸物质的含量随连作年限的增加而呈累积趋势^[28]。马云华研究认为随着连作年限的增加,日光温室黄瓜土壤酚类物质含量明显增多,对-羟基苯甲酸、阿魏酸、苯甲酸以及总量呈现明显的积累特征,种植 5a、7a、9a 的含量显著高于 1a、3a,其中种植 9a 的高达 47.93 $\mu\text{g/g}$,比种植 1a 的提高了 1 倍^[29]。但值得注意的是,作者从花生根际土壤中仅发现了两种酚酸物质,且其在土壤中的含量并不高,而作物根际土壤中的酚酸物质种类是十分丰富的,因此,作者认为尽管我们从花生根际土壤中鉴定出了一些化感物质,但它们并不能代表花生根际土壤中的全部化感物质种类,应对其种类进一步进行鉴定。另外,作者之所以选择首先鉴定花生根际土壤中酚酸物质种类及含量是因为在不破坏作物根系的情况下,从作物根系分泌物中收集化感物质十分困难。因为作物根系分泌的化感物质含量一般都很低,而且收集过程中容易受到其它物质的干扰,而土壤中化感物质来源众多,植物可以通过根系分泌、根茬腐解、茎叶淋洗等多种途径向环境中释放化感物质。但对土壤中酚酸物质进行鉴定的弊端也显而易见,进入土壤中的酚酸类化感物质很容易被土壤吸附或在微生物作用下转化为其他的物质,并可能会改变化感强度。土壤结构、理化性状与化感物质在土壤中的滞留吸收有很大的相关性,土壤 pH 值也可间接影响化感物质的产生和降解,尤其是植物残株在土壤中分解的化感作用途径。除了土壤结构和理化性状外,土壤微生物对植物残株分解产生化感物质起着决定性作用,进入土壤的酚酸物质经过 1 周培养后残留率,对-羟基苯甲酸为 10.4%、香草醛为 4.1%、阿魏酸为 2.25%,说明 82.5%—97.75% 的酚酸被微生物分解或被微生物的生长活动而消耗,往往使得在土壤中可逆吸附的酚酸类化感物质,如阿魏酸和香豆酸等在土壤中不能累积到活性的浓度。作者在研究中发现花生根际土壤中酚酸物质含量较低,这可能与上述几个原因有关。

因此,花生连作土壤中是否还存在其他的酚酸类物质及该类物质,是否对花生的生长发育、花生根际土壤中微生物群落结构造成一定的影响,有待深入研究。

References:

- [1] Rice E L. Allelopathy-an update. *The Botanical Review*, 1979, 45(1):15-109.
- [2] Huang Y Q, Han X R, Yang J F, Liu N, Liu X H. Studies on the changes of soil microbial communities under peanuts continuous cropping. *Chinese Journal of Soil Science*, 2011, 42(3):552-556.
- [3] Liu M C, Zheng Y P, Wang C B, Lü W, Zhang J, Cheng B, Chen D X, Wu Z F. Effect of continuous cropping on peanut growth and development and studies on its relief method. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(9):144-148.
- [4] Zheng Y P, Wang C B, Huang S Z, Wu Z F. Research on relieving peanut continuous cropping stress. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2008, 30(3):384-388.
- [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] Han X Z, Xu Y L. A study of main factors causing yield decrease of continuous cropping soybean II. effects of harmful organisms in soil on

- continuous cropping soybean. *Soybean Science*, 1999, 18(1):47-52.
- [7] Deng Y C, Huang J G. Effect of long continuous cropping on the yields of flue-cured tobacco and nutrients in soils. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16(4):840-845.
- [8] Blok W J, Bollen G J. The role of autotoxins from root residues of the previous crop in the replant disease of asparagus. *Netherlands Journal of Plant Path*, 1993, 99(3):29-40.
- [9] Zhang S S, Jin Y L, Zhu W J, Tang J J, Hu S J, Zhou T S, Chen X. Baicalin released from *Scutellaria baicalensis* induces autotoxicity and promotes soilborn pathogens. *Journal of Chemical Ecology*, 2010, 36(3):329-338.
- [10] Zhang Q S. Potential role of allelopathy in the soil and the decomposing root of Chinese-fir replant woodland. *Plant and Soil*, 1993, 151(2):205-210.
- [11] Sène M, Doré T, Pellissier F. Effect of phenolic acids in soil under and between rows of a prior sorghum (*Sorghum bicolor*) crop on germination, emergence, and seedling growth of peanut(*Arachis hypogea*). *Journal of Chemical Ecology*, 2000, 26(3):625-637.
- [12] Ogwen O J, Yu J Q. Autotoxic potential in soil sickness: a re-examination. *Allelopathy Journal*, 2006, 18(1):93-102.
- [13] Baerson S R, Dayan F E, Rimando A M, Nanayakkara N P D, Liu C J, Schröder J, Fishbein M, Pan Z, Kagan I A, Pratt L H, Cordonnier-Pratt M M, Duke S O. A functional genomics investigation of allelochemical biosynthesis in *Sorghum bicolor* root hairs. *The Journal of Biological Chemistry*, 2008, 283(6):3231-3247.
- [14] Jilani G, Mahmood S, Chaudhry A N, Hassan I, Akram M. Allelochemicals: sources, toxicity and microbial transformation in soil-a review. *Annals of Microbiology*, 2008, 58(3):351-357.
- [15] Rice E L. Allelopathy. 2nd ed. New York: Academic Press, 1984: 267-290.
- [16] Li P D, Wang X X, Li Y L, Wang H W, Liang F Y, Dai C C. The contents of phenolic acids in continuous cropping peanut and their allelopathy. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(8):2128-2134.
- [17] Liu P, Zhao H J, Wan S B, Jiang L H, Yu S F, Yang L, Wang Y Q, Li J. Autotoxic potential of peanut(*Arachis hypogaea*) root exudates. *Chinese Journal of Oil Crop Science*, 2010, 32(3):431-435.
- [18] Liu P, Zhao H J, Wan S B, Ren H X, Li J, Yang L, Yu S F. Effect of continuous cropping on allelopathy of peanut root exudates. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2011, 19(3):639-644.
- [19] Zhou K, Guo W M, Wang Z F. Autotoxicity of aquatic extracts from different parts of chrysanthemum. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2008, 28(4):759-764.
- [20] Williamson G B, Richardson D. Bioassays for allelopathy: measuring treatment responses with independent controls. *Journal of Chemical Ecology*, 1988, 14(1):181-187.
- [21] Yang G C, Lü W G, Zhu J, Zhan C L. Effects of water abstracts of watermelon's root, stem and leaf on seed germination and enzyme activities of seedlings. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2005, 14(1):46-51.
- [22] Huang M M, Pan C D, Luo X, Liu C L. Autotoxicity of picea schrenkiana needles aqueous extracts on seed germination and seedling growth. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2005, 28(3):30-34.
- [23] Zhang X H. Studies on Mechanism of Continuous *Angelica Sinensis* Cropping Obstacle and Its Preparatory Bioremediation[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2009.
- [24] Yuan L, Lu W H, Yu L. Autotoxicity of aqueous extracts from different parts of alfalfa at early stage on seed germination. *Chinese Journal of Grassland*, 2007, 29(5):111-114.
- [25] Zhou K, Wang Z F, Hao F G, Guo W M. Effects of aquatic extracts from different parts and rhizospheric soil of chrysanthemum on the rooting of stem cuttings of the same species. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2010, 30(4):645-651.
- [26] Feng Z H, Yan L Y, Wang J X, Zhang S H, Song S Q. Effect of autointoxication in monoculture on cucumber seed germination and seedling growth. *Seed*, 2005, 24(6):41-44.
- [27] Aarion I, Martikainen P J. Mineralization of carbon and nitrogen in acid forest soil treated with fast and slow-release nutrients. *Plant and Soil*, 1994, 164(2):187-193.
- [28] Hu Y S, Li C X, Du G Y, Liu Y F, Jia X C. Identification of allelochemicals in cucumber root exudates and its allelopathy to radicle and *Fusarium oxysporum*. *Ecology and Environment*, 2007, 16(3):954-957.
- [29] 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.

参考文献:

- [2] 黄玉茜,韩晓日,杨劲峰,刘宁,刘小虎.花生连作土壤微生物区系变化研究. *土壤通报*, 2011, 42(3):552-556.

- [3] 刘美昌,郑亚萍,王才斌,吕伟,张娟,成波,陈殿绪,吴正峰. 连作对花生生育的影响及其缓解措施研究. 中国农学通报, 2006, 22(9): 144-148.
- [4] 郑亚萍,王才斌,黄顺之,吴正峰. 花生连作障碍及其缓解措施研究进展. 中国油料作物学报, 2008, 30(3): 384-388.
- [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] 韩晓增,许艳丽. 大豆连作减产主要障碍因素的研究 II. 连作大豆土壤有害生物的障碍效应. 大豆科学, 1999, 18(1): 47-52.
- [7] 邓阳春,黄建国. 长期连作对烤烟产量和土壤养分的影响. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(4): 840-845.
- [16] 李培栋,王兴祥,李奕林,王宏伟,梁飞燕,戴传超. 连作花生土壤中酚酸类物质的检测及其对花生的化感作用. 生态学报, 2010, 30(8): 2128-2134.
- [17] 刘苹,赵海军,万书波,江丽华,于淑芳,杨力,王艳芹,李瑾. 花生根系分泌物自毒作用研究. 中国油料作物学报, 2010, 32(3): 431-435.
- [18] 刘苹,赵海军,万书波,任海霞,李瑾,杨力,于淑芳. 连作对花生根系分泌物化感作用的影响. 中国生态农业学报, 2011, 19(3): 639-644.
- [19] 周凯,郭维明,王智芳. 菊花不同部位水浸液自毒作用的研究. 西北植物学报, 2008, 28(4): 759-764.
- [21] 杨广超,吕卫光,朱静,张春兰. 西瓜根、茎、叶水浸提液对西瓜种子萌发及幼苗中酶活性的影响. 西北农业学报, 2005, 14(1): 46-51.
- [22] 黄闽敏,潘存德,罗侠,刘翠玲. 天山云杉针叶提取物对种子萌发和幼苗生长的自毒作用. 新疆农业大学学报, 2005, 28(3): 30-34.
- [23] 张新慧. 当归连作障碍机制及其生物修复措施研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2009.
- [24] 袁莉,鲁为华,于磊. 紫花苜蓿生长前期各部位提取液对种子萌发的自毒作用. 中国草地学报, 2007, 29(5): 111-114.
- [25] 周凯,王智芳,郝峰鸽,郭维明. 菊花不同部位及根际土壤水浸液对其扦插苗生长的自毒效应. 西北植物学报, 2010, 30(4): 645-651.
- [26] 冯志红,闫立英,王久兴,张慎好,宋士清. 连作栽培中自毒物质对黄瓜种子萌发和幼苗生长的影响. 种子, 2005, 24(6): 41-44.
- [28] 胡元森,李翠香,杜国营,刘亚峰,贾新成. 黄瓜根分泌物中化感物质的鉴定及其化感效应. 生态环境, 2007, 16(3): 954-957.
- [29] 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.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 19 October, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Assessment of monitoring methods for population abundance of Amur tiger in Northeast China	5943
..... ZHANG Changzhi, ZHANG Minghai, JIANG Guangshun (5943)	
Changes of residents nitrogen consumption and its environmental loading from food in Xiamen	5953
..... YU Yang, CUI Shenghui, ZHAO Shengnan, et al (5953)	
Analysis of the meiobenthic community in the Pearl River Estuary in summer	5962
..... YUAN Qiaojun, MIAO Suying, LI Hengxiang, et al (5962)	
Community characteristics of phytoplankton in the coastal area of Leizhou Peninsula and their relationships with primary environmental factors in the summer of 2010	5972
..... GONG Yuyan, ZHANG Caixue, SUN Xingli, et al (5972)	
Morphological differences in statolith and beak between two spawning stocks for <i>Illex argentinus</i>	5986
..... FANG Zhou, CHEN Xinjun, LU Huajie, et al (5986)	
Relationships between coastal meadow distribution and soil characteristics in the Yellow River Delta	5998
..... TAN Xiangfeng, DU Ning, GE Xiuli, et al (5998)	
Variation analysis about net primary productivity of the wetland in Panjin region	6006
..... WANG Liwen, WEI Yaxing (6006)	
Mobilization of potassium from Soils by <i>rhizobium phaseoli</i>	6016
..... ZHANG Liang, HUANG Jianguo, HAN Yuzhu, et al (6016)	
Autotoxicity of aqueous extracts from plant, soil of peanut and identification of autotoxic substances in rhizospheric soil	6023
..... HUANG Yuqian, HAN Lisi, YANG Jinfeng, et al (6023)	
Effects of shading on the photosynthetic characteristics and anatomical structure of <i>Trollius chinensis</i> Bunge	6033
..... LV Jinhui, WANG Xuan, FENG Yanmeng, et al (6033)	
Short-term effects of fire disturbance on greenhouse gases emission from sedge and shrubs forested wetland in Lesser Xing'an Mountains, Northeast China	6044
..... GU Han, MU Changcheng, ZHANG Bowen, et al (6044)	
Plant species diversity and community classification in the southern Gurbantunggut Desert	6056
..... ZHANG Rong, LIU Tong (6056)	
Effects of mixing leaf litter from <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i> and <i>Larix principis-rupprechtii</i> with that of other trees on soil properties in the Loess Plateau	6067
..... LI Qian, LIU Zengwen, MI Caihong (6067)	
Effects of long-term intensive management on soil ammonia oxidizing archaea community under <i>Phyllostachys praecox</i> stands	6076
..... QIN Hua, LIU Borong, XU Qiufang, et al (6076)	
Hydrogen peroxide participates symbiosis between AM fungi and tobacco plants	6085
..... LIU Hongqing, CHE Yongmei, ZHAO Fanggui, et al (6085)	
Relationships between dominant arbor species distribution and environmental factors of shelter forests in the Beijing mountain area	6092
..... SHAO Fangli, YU Xinxiao, ZHENG Jiangkun, et al (6092)	
Analysis of rhizosphere microbial community structure of weak and strong allelopathic rice varieties under dry paddy field	6100
..... XIONG Jun, LIN Huifeng, LI Zhenfang, et al (6100)	
Root distribution in the different forest types and their relationship to soil properties	6110
..... HUANG Lin, WANG Feng, ZHOU Lijiang, et al (6110)	
Effect of silicon application on antioxidant system, biomass and yield of soybean under ozone pollution	6120
..... ZHAN Lijie, GUO Liyue, NING Tangyuan, et al (6120)	
Effect of landfill leachate irrigation on soil physiochemical properties and the growth of two herbaceous flowers	6128
..... WANG Shuqin, LAI Juan, ZHAO Xiulan (6128)	
Nitrous oxide emissions affected by tillage measures in winter wheat under a rice-wheat rotation system	6138
..... ZHENG Jianchu, ZHANG Yuefang, CHEN Liugen, et al (6138)	
Effects of different fertilizers on soil enzyme activities and CO ₂ emission in dry-land of maize	6147
..... ZHANG Junli, GAO Mingbo, WEN Xiaoxia, et al (6147)	
The response of agro-ecosystem productivity to climatic fluctuations in the farming-pastoral ecotone of northern China: a case study in Zhunger County	6155
..... SUN Tesheng, LI Bo, ZHANG Xinshi (6155)	
The relationship between energy consumption and carbon emission with economic growth in Liaoning Province	6168
..... KANG Wenxing, YAO Lihui, HE Jienan, et al (6168)	
Spatial distribution characteristics of potential fire behavior in Fenglin Nature Reserve based on FARSITE Model	6176
..... WU Zhiwei, HE Hongshi, LIANG Yu, et al (6176)	
Chill conservation of natural enemies in maize field with different post-crop habitats	6187
..... TIAN Yaojia, LIANG Guangwen, ZENG Ling, et al (6187)	
Effect of population of <i>Kerria yunnanensis</i> on diversity of ground-dwelling ant	6195
..... LU Zhixing, CHEN Youqing, LI Qiao, et al (6195)	
Response of <i>Parnassius apollo</i> population and vertical distribution to climate warming	6203
..... YU Fei, WANG Han, WANG Shaokun, et al (6203)	
Review and Monograph	
Integrated assessment of marine aquaculture ecosystem health: framework and method	6210
..... PU Xinming, FU Mingzhu, WANG Zongling, et al (6210)	
Seagrass meadow ecosystem and its restoration: a review	6223
..... PAN Jinhua, JIANG Xin, SAI Shan, et al (6223)	
Nutri-toxicological effects of cyanobacteria on fish	6233
..... DONG Guifang, XIE Shouqi, ZHU Xiaoming, et al (6233)	
Effect of environmental stress on non-structural carbohydrates reserves and transfer in seagrasses	6242
..... JIANG Zhijian, HUANG Xiaoping, ZHANG Jingping (6242)	
Advances in ecological immunology	6251
..... XU Deli, WANG Dehua (6251)	
Scientific Note	
The causes of spatial variability of surface soil organic matter in different forests in depressions between karst hills	6259
..... SONG Min, PENG Wanxia, ZOU Dongsheng, et al (6259)	
Characteristics of seed rain of <i>Haloxylon ammodendron</i> in southeastern edge of Junggar Basin	6270
..... LÜ Chaoyan, ZHANG Ximing, LIU Guojun, et al (6270)	

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,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,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 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 19 期 (2012 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 19 (October, 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:1000717	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