

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

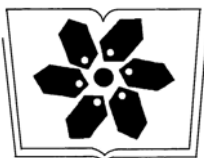
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第11期 Vol.33 No.11 **2013**

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 33 卷 第 11 期 2013 年 6 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 新一代 Landsat 系列卫星: Landsat 8 遥感影像新增特征及其生态环境意义 徐涵秋, 唐 菲 (3249)
- 两种自然保护区设计方法——数学建模和计算机模拟 王宜成 (3258)
- 家域研究进展 张晋东, Vanessa HULL, 欧阳志云 (3269)
- 浅水湖泊生态系统稳态转换的阈值判定方法 李玉照, 刘 永, 赵 磊, 等 (3280)
- 辐射传输模型多尺度反演植被理化参数研究进展 肖艳芳, 周德民, 赵文吉 (3291)
- 微囊藻毒素对陆生植物的污染途径及累积研究进展 靳红梅, 常志州 (3298)

个体与基础生态

- 年龄、性别及季节因素对千岛湖岛屿社鼠最大活动距离的影响 叶 彬, 沈良良, 鲍毅新, 等 (3311)
- 寄主大小及寄生顺序对蝇蛹佣小蜂寄生策略的影响 詹月平, 周 敏, 贺 张, 等 (3318)
- 两种苹果砧木根系水力结构及其 PV 曲线水分参数对干旱胁迫的响应
..... 张林森, 张海亭, 胡景江, 等 (3324)
- 三种根系分泌脂肪酸对花生生长和土壤酶活性的影响 刘 苹, 赵海军, 仲子文, 等 (3332)

种群、群落和生态系统

- 象山港春季网采浮游植物的分布特征及其影响因素 江志兵, 朱旭宇, 高 瑜, 等 (3340)
- 洞头海域网采浮游植物的月际变化 朱旭宇, 黄 伟, 曾江宁, 等 (3351)
- 狗牙根与牛鞭草在三峡库区消落带水淹结束后的抗氧化酶活力 李兆佳, 熊高明, 邓龙强, 等 (3362)
- 三亚岩相潮间带底栖海藻群落结构及其季节变化 陈自强, 寿 鹿, 廖一波, 等 (3370)
- 长期围封对不同放牧强度下草地植物和 AM 真菌群落恢复的影响 周文萍, 向 丹, 胡亚军, 等 (3383)
- 北京松山自然保护区森林群落物种多样性及其神经网络预测 苏日古嘎, 张金屯, 王永霞 (3394)
- 藏北高寒草地生态补偿机制与方案 刘兴元, 龙瑞军 (3404)
- 辽东山区次生林生态系统不同林型树干茎流的理化性质 徐天乐, 朱教君, 于立忠, 等 (3415)
- 施氮对亚热带樟树林土壤呼吸的影响 郑 威, 闫文德, 王光军, 等 (3425)
- 人工高效经营雷竹林 CO₂ 通量估算及季节变化特征 陈云飞, 江 洪, 周国模, 等 (3434)
- 新疆典型荒漠区单食性天花吉丁虫磷元素含量对环境的响应 王 晶, 吕昭智, 宋 菁 (3445)
- 双斑长跗萤叶甲越冬卵在玉米田的空间分布型 张 聪, 葛 星, 赵 磊, 等 (3452)
- 舟山群岛四个养殖獐种群遗传多样性和遗传结构 林杰君, 鲍毅新, 刘 军, 等 (3460)

景观、区域和全球生态

- 乡镇尺度金塔绿洲时空格局变化 巩 杰, 谢余初, 孙 朋, 等 (3470)
- 合并与不合并: 两个相似性聚类分析方法比较 刘新涛, 刘晓光, 申 琪, 等 (3480)

资源与产业生态

基于投入产出表的中国水足迹走势分析 王艳阳,王会肖,张 昕 (3488)

基于 MRICES 模型的气候融资模拟分析 朱潜挺,吴 静,王 铮 (3499)

黄东海陆架区沉积物中磷的形态分布及生物可利用性..... 张小勇,杨 茜,孙 耀,等 (3509)

鄱阳湖采砂南移扩大影响范围——多源遥感的证据 崔丽娟,翟彦放,邬国锋 (3520)

温度、盐度及其互作效应对吉富罗非鱼血清 IGF-I 与生长的影响 强 俊,杨 弘,王 辉,等 (3526)

城乡与社会生态

福建省城镇-交通系统的景观分隔效应 张天海,罗 涛,邱全毅,等 (3536)

研究简报

青藏高原高寒草原区工程迹地面积对其恢复植物群落特征的影响 毛 亮,周 杰,郭正刚 (3547)

黄土山地苹果树树体不同方位液流速率分析..... 孟秦倩,王 健,张青峰,等 (3555)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 314 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 33 * 2013-06



封面图说: 清晨的天山马鹿群——家域是动物行为学和保护生物学的重要概念之一,它在动物对资源环境的适应与选择,种群密度及社会关系等生态学过程研究中有着重要的作用。马鹿属于北方森林草原型动物,在选择生境的各种要素中,隐蔽条件、水源和食物的丰富度是最重要的指标。野生天山马鹿是中国的特产亚种,主要分布在北天山深山海拔1500—3800m 地带的森林草原中,在高山至谷地之间不同高度的坡面上,马鹿按季节、昼夜变化的不同进行采食。

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

DOI: 10.5846/stxb201203210382

刘苹,赵海军,仲子文,孙明,庞亚群,马征,万书波. 三种根系分泌脂肪酸对花生生长和土壤酶活性的影响. 生态学报, 2013, 33(11): 3332-3339.
Liu P, Zhao H J, Zhong Z W, Sun M, Pang Y Q, Ma Z, Wan S B. The effects of three root exudated fatty acids on peanut (*Arachis hypogaea* L.) growth and soil enzymes activities. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(11): 3332-3339.

三种根系分泌脂肪酸对花生生长和土壤酶活性的影响

刘 苹^{1,2}, 赵海军³, 仲子文^{1,4}, 孙 明¹, 庞亚群⁵, 马 征^{1,4}, 万书波^{3,*}

(1. 山东省农业科学院农业资源与环境研究所, 济南 250100; 2. 农业部黄淮海平原农业环境重点实验室, 济南 250100;

3. 山东省农业科学院, 济南 250100; 4. 山东省农业面源污染防治防控重点实验, 济南 250100;

5. 黑龙江省肇源县农业技术推广中心, 肇源 166500)

摘要:为了探讨花生连作后土壤中脂肪酸类物质的累积与花生连作障碍间的关系,为花生连作障碍机理的研究提供新的理论依据,以田间土壤为介质,采用盆栽试验的方法研究了花生根系分泌物中 3 种长链脂肪酸,即:豆蔻酸、软脂酸和硬脂酸的混合物,对花生植株生长、产量和土壤酶活性的影响。结果表明,当土壤中脂肪酸的初始含量较低时(80 mg/kg 土),对花生植株的生长和产量有微弱的促进作用($P > 0.05$),当土壤中脂肪酸的初始含量较高时(160 mg/kg 土和 240 mg/kg 土),显著抑制了花生植株的生长和产量($P < 0.05$)。叶片叶绿素含量、根系活力、土壤酶(蔗糖酶、脲酶、磷酸酶)活性在低脂肪酸含量处理下升高,在高脂肪酸含量处理下显著降低($P < 0.001$)。光合产物、根际有效养分的减少和根系养分吸收能力的降低,可能是导致花生植株生长和产量降低的原因之一。花生连作土壤中豆蔻酸、软脂酸和硬脂酸的累积与花生的连作障碍有着密切关系。

关键词:花生;脂肪酸;自毒作用;连作障碍

The effects of three root exudated fatty acids on peanut (*Arachis hypogaea* L.) growth and soil enzymes activities

LIU Ping^{1,2}, ZHAO Haijun³, ZHONG Ziwen^{1,4}, SUN Ming¹, PANG Yaquin⁵, MA Zheng^{1,4}, WAN Shubo^{3,*}

1 Institute of Agricultural Resources and Environment, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China

2 Key Laboratory of Agro-Environment in Huang-Huai-Hai Plain, Ministry of Agriculture, Jinan 250100, China

3 Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China

4 Key Laboratory of Agricultural Non-point Source Pollution Control and Prevention in Shandong Province, Jinan 250100, China

5 Agricultural Technology Promotion Center in Zhaoyuan, Heilongjiang Province, Zhaoyuan 166500, China

Abstract: Continuous cropping obstacle is a common problem in agriculture and autotoxicity of allelochemicals plays a major role in this problem of many crops. In field situations, allelochemicals (autotoxins) must accumulate and persist at phytotoxic levels and comes in contact with the target plant. The potential of plant allelopathy includes the combined effects of all allelochemicals released. Peanut (*Arachis hypogaea* L.) is a kind of oil crop and highly vulnerable to continuous cropping obstacle. In a previous study we showed the autotoxic potential of peanut root exudates. We have isolated and identified a number of compounds from the root exudates of peanut seedlings including long-chain fatty acids. Long-chain fatty acids are suggested as a group of potential allelopathic compounds. The object of this study was to discuss the relationship between the accumulation of fatty acids in field soil and peanut continuous cropping obstacle, and offer some new theoretical bases for the mechanism study of peanut continuous cropping obstacle. We investigated the synergetic effects of three long-chain fatty acids (Tetradecanoic, Hexadecanoic and Octadecanoic acids) in the root exudates of peanut

基金项目:山东省自主创新成果转化重大专项(2012ZHZXIA0418); 国家自然科学基金(30800135); 现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-14)

收稿日期:2012-03-21; 修订日期:2012-10-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wansbsaas@yahoo.cn

(*Arachis hypogaea* L.) on peanut plant growth, production and soil enzyme activities. A simulation experiment in pot culture was carried out using the field soil as the growth medium. It was found that their low content (80 mg/kg soil) slightly stimulated the growth and production of peanut ($P > 0.05$), but their high contents (160 mg/kg soil and 240 mg/kg soil) significantly decreased the growth and production ($P < 0.05$). With increasing fatty acid content in the soil, growth of peanut plants was inhibited and the degree of inhibition increased in a dose-dependent manner. At flowering stage when fatty acids were at their highest content (240 mg/kg soil), plant height, shoot fresh weight, root fresh weight and total biomass were reduced by 14.4%, 22.0%, 30.9% and 23.7%, respectively. When the content of fatty acids was 160 mg/kg soil and 240 mg/kg soil, peanut pod production was significantly decreased by 15.4% ($P = 0.021$) and 22.4% ($P = 0.005$), respectively. Chlorophyll content in peanut leaves, root activity, soil enzymes (sucrase, urease and phosphatase) activities were slightly promoted at low content of fatty acids in soil but were suppressed at high contents ($P < 0.001$). At the highest fatty acid content (240 mg/kg soil), leaf chlorophyll content and root activity were reduced by 21.0% and 31.4% at the seedling stage and 22.7% and 33.3% at the flowering stage. At the flowering stage, sucrase, urease and phosphatase activities were reduced by 25.3, 25.4 and 26.1%, respectively, by fatty acids at their highest tested content (240 mg/kg soil). Decreases in photosynthates production, nutrients uptake and rhizosphere nutrients availability were one of the possible reasons which could decrease the peanut growth and production. The accumulation of three long-chain fatty acids, tetradecanoic, hexadecanoic and octadecanoic acids, in field soil has close relationship with peanut continuous cropping obstacle.

Key Words: peanut; fatty acids; autotoxicity; continuous cropping obstacle

在农业生产中,同一种作物在同一地块连续种植多年,通常会导致作物产量和品质下降,这种现象称为连作障碍^[1]。Rice 1984 年将化感作用定义为一种植物(包括微生物)通过向环境释放化学物质的方法,对其他植物的生长产生促进或抑制作用^[2]。自毒作用是一种特殊的化感作用,即植物释放的化学物质对自身种子的萌发及植株生长产生抑制作用的现象^[3]。近年来越来越多的研究表明,作物根系分泌物的自毒作用与作物的连作障碍有着密切的关系^[4-6]。田间条件下,化感物质或自毒物质产生毒性作用的前提条件是要积累到一定的含量水平,且与目标植物直接接触^[7]。化感物质或自毒物质在土壤中的存在形式和状态受土壤微生物和土壤条件的影响很大^[8-10]。然而,大部分化感作用的生物评价试验是在人工生长介质如琼脂、石英砂、蛭石中进行的,必然导致试验结果与田间实际情况差距较大^[11]。因此,如 Inderjit 的建议,有必要对分离鉴定出的化感物质进入到土壤后的作用进行研究^[12]。

植物的化感作用是释放的所有化感物质综合作用的结果。Einhellig 认为几乎所有植物的化感作用是至少两种或两种以上物质相互作用的结果^[13]。而且,大田土壤中除了植物释放的化感物质外还包括多种物质(有毒或无毒),这些物质很可能会与化感物质发生相互作用。Blum 的研究表明,随着添加到土壤中的酚酸类物质种类的增多,单种酚酸类物质对黄瓜生长产生抑制作用的含量降低,向土壤中添加其他有机物质(葡萄糖、蛋氨酸等)也降低了单种酚酸物质产生抑制作用的含量^[14]。由于化感物质可能存在相互作用,因此有必要对其进入到土壤后的综合作用进行研究。

花生是一种重要的油料经济作物。花生连作后长势变差,产量和品质降低。山东省每年大约有连作田 23.33 万—26.67 万 hm^2 ,由连作而造成的减产在 15 万 t 以上^[15]。因此,揭示花生连作障碍的成因非常重要。早期研究表明,花生连作障碍与土壤的微生物区系、酶活性、物理和化学性质等的变化相关^[6]。前期研究发现花生根系分泌物的自毒作用与花生连作障碍有着密切关系,鉴定出了包括脂肪酸类物质在内的 6 种主要成分^[16],其中,豆蔻酸、软脂酸和硬脂酸的含量相对较高,并且发现连作花生土壤中脂肪酸类物质含量有累积的趋势。脂肪酸类化感物质是目前研究较多、活性较强的一类物质,很多植物的根系分泌物中均检测到脂肪酸及其衍生物,如:小麦、玉米、大豆、水稻、茄子的根系分泌物中均分离鉴定出该类物质。豆蔻酸是茄子根系分

分泌物中特征性的化感物质^[17],豆蔻酸、软脂酸和硬脂酸等多种脂肪酸对藻类的生长均具有一定的抑制作用^[18]。在本研究中,以田间土壤为介质,采用盆栽试验的方法重点研究了花生根系分泌物中3种长链脂肪酸,即:豆蔻酸、软脂酸和硬脂酸的混合物,对花生植株生长、产量和土壤酶活性的影响。旨在探讨花生连作后土壤中脂肪酸类物质的累积与花生连作障碍间的关系,为花生连作障碍机理的研究提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

从田间收集未种植过花生的土壤,过2 mm筛混匀,土壤为棕壤,pH值约为6.6,有机质含量为1.32%,碱解氮、速效磷、速效钾的含量分别为71.5、9.73和234.88 mg/kg。将5 kg过筛土壤装于准备好的108个花盆中(25×30 cm)。根据豆蔻酸、软脂酸和硬脂酸在花生根系分泌物中的相对含量,将豆蔻酸、软脂酸和硬脂酸(上海国药集团公司出品,分析纯)按照质量比1.6:16.6:12均匀混合成3份,每份的质量分别为10.8、21.6 g和32.4 g,先用10 ml乙醇溶解再用蒸馏水稀释至27 L。用稀释后的溶液处理盆中的土壤,每盆浇灌1 L,使脂肪酸的初始含量达到80 mg/kg土、160 mg/kg土和240 mg/kg土,对照用蒸馏水处理,每个处理设27个平行。处理1d后每盆种下3棵大小一致的两叶期花生幼苗。试验在自然气候条件下进行,试验期间根据干旱程度适量补充等量水分。本试验分别在2010年和2011年的6—8月份进行,供试花生品种为花育16号,取两年试验的平均值进行计算分析。

1.2 花生农艺性状的测定

处理30d和60d之后,当花生处于苗期和花期时,每个处理随机取样9盆,分别对花生的生长和生理指标进行测定。测定指标有:苗高、茎叶鲜重、根系鲜重、总生物量、叶片叶绿素含量和根系活力,每盆中3株幼苗的平均值作为1个重复。用SPAD叶绿素仪(SPAD-502,日本)测定主茎第3片展开叶的叶绿素含量^[19],注意确保SPAD仪的传感器完全覆盖住叶片。测定完根部鲜重之后,立即用TTC法测定根系活力^[20]。处理3个月之后,当花生进入结荚期时测定每个处理余下的9个花盆中花生荚果的鲜重。

1.3 土壤酶活性的测定

当花生植株处于苗期和花期时,在测定花生生长和生理指标之前,先采集根系附近(离主根2—4cm)土壤样品,每盆随机取3钻(内径2.5cm),采样深度0—15 cm,充分混匀后装在密封塑料袋中。立即将采集的土样于室温下风干并过1 mm筛。采用水杨酸比色法测定蔗糖酶活性,苯酚钠比色法测定脲酶活性,二钠苯基磷酸盐比色法测定磷酸酶活性^[21]。

1.4 数据分析

采用统计软件SPSS(13.0)进行处理间各指标的差异显著性检验,显著性水平为 $P < 0.05$,LSD法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 脂肪酸对花生植株生长的影响

当土壤中脂肪酸含量相对较低时(初始含量80 mg/kg土),对花生植株的生长有一定的促进作用(图1),但与对照的差别没有达到显著水平($P > 0.05$)。随着土壤中脂肪酸含量的增加,对花生植株的生长转变为抑制作用,并且含量越高抑制作用越强(图1)。当土壤中初始脂肪酸含量为160 mg/kg土时,苗期根系鲜重被显著抑制($P < 0.05$),花期时茎叶鲜重、根系鲜重和总生物量均显著低于对照($P < 0.01$)。当土壤中初始脂肪酸含量为240 mg/kg土时,苗期和花期时花生植株的株高、茎叶鲜重、根系鲜重、总生物量均显著低于对照处理($P < 0.01$),其中在花期时各指标比对照分别降低14.4%、22.0%、30.9%和23.7%。

2.2 脂肪酸对花生植株生理指标的影响

当土壤中脂肪酸初始含量为80 mg/kg土时,花生叶片的叶绿素含量、根系活力比对照处理增加,其中叶绿素含量在苗期和花期与对照的差别均达到了极显著水平($P < 0.001$)(图2)。和对花生生长的抑制作用规律相似,当土壤中脂肪酸初始含量为160和240 mg/kg土时,在苗期和花期均显著抑制了叶片叶绿素含量和

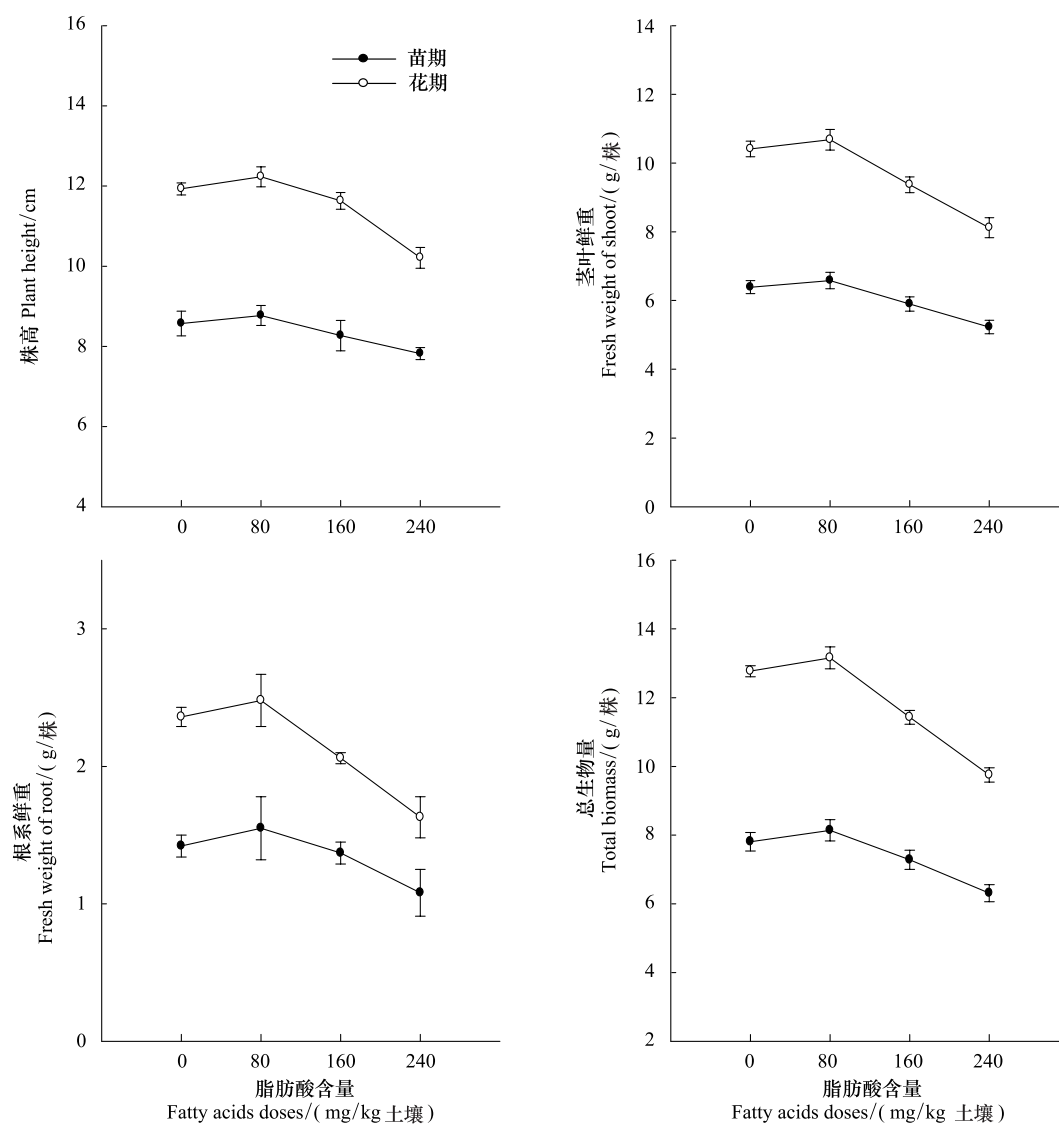


图1 3种脂肪酸对花生植株生长的影响

Fig.1 Effects of three fatty acids on peanut plants growth

根系活力($P < 0.001$) (图2)。在最高添加量处理下,叶绿素含量、根系活力在苗期时比对照分别减少21.0%和31.4%,在花期时比对照分别减少22.7%和33.3%。

2.3 脂肪酸对花生产量的影响

当土壤中脂肪酸含量相对较低时(初始含量80mg/kg土),对花生的产量有一定的促进作用(图3),但与对照的差别没有达到显著水平($P = 0.14$)。当土壤中脂肪酸初始含量为160和240 mg/kg土时,花生荚果的产量显著降低,比对照分别减少15.4% ($P = 0.021$)和22.4% ($P = 0.005$)。

2.4 脂肪酸对土壤酶活性的影响

当土壤中脂肪酸含量相对较低时(初始含量80mg/kg土),蔗糖酶、脲酶和磷酸酶的活性增强,但只有磷酸酶的活性在花期时与对照处理的差别达到了显著水平($P = 0.016$) (图4)。当土壤中脂肪酸含量较高时(初始含量160和240 mg/kg土),蔗糖酶、脲酶和磷酸酶的活性降低,其中,脲酶的活性在苗期时显著低于对照($P = 0.032$)。花期时,3种酶的活性均显著降低($P < 0.001$),在最高添加量处理下,蔗糖酶、脲酶和磷酸酶的活性在花期时比对照分别减少25.3%、25.4%和26.1%。

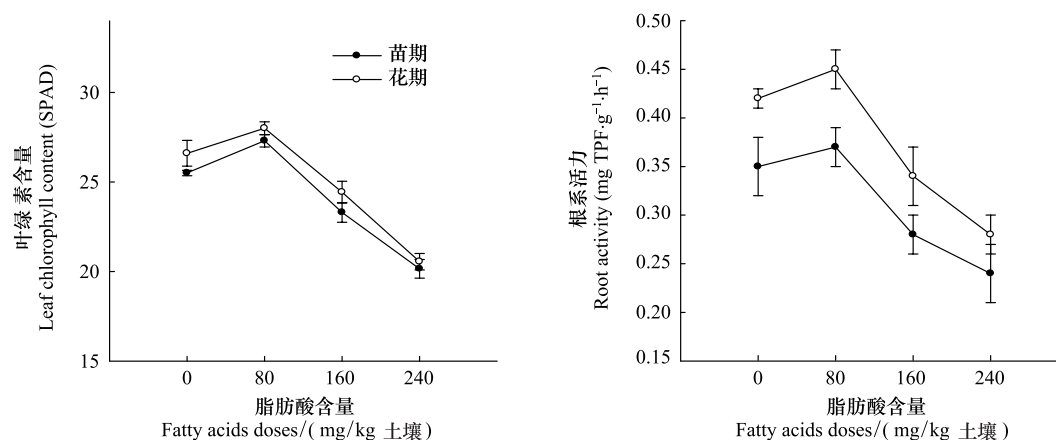


图2 3种脂肪酸对花生植株生理指标的影响

Fig. 2 Effects of three fatty acids on peanut plants physiological indices

3 讨论

3.1 3种脂肪酸对花生植株生长的影响及作用机理

当土壤中豆蔻酸、软脂酸和硬脂酸的含量较低时,对花生植株的生长和产量有微弱的促进作用,可能是脂肪酸的添加量适宜,为土壤中的微生物提供了碳源,提高了根际土壤的有效养分含量,促进了花生植株的养分吸收,从而促进了生长^[22]。当土壤中脂肪酸含量较高时,抑制了花生植株的生长和产量。以往研究表明,化感物质主要是通过影响细胞膜透性、酶活性、离子吸收、光合作用等途径对植物的生长产生影响^[23-25]。本研究中发现,土壤中脂肪酸含量较高时显著抑制了花生植株叶片的叶绿素含量和根系活力,叶绿素在植物的光合作用中起着重要作用,叶绿素含量的降低意味着对光合作用强度的减弱,根系活力的降低又会影响到植株对养分的吸收能力^[26-27]。光合产物和养分吸收的减少有可能是导致花生植株生长和产量降低的主要原因之一。

3.2 3种脂肪酸对土壤酶活性的影响及与花生生长的关系

化感物质对土壤酶活性的研究还较少^[28-29]。土壤酶活性通常可以反映由于农业管理措施的改变引起的土壤性质的变化。蔗糖酶是土壤碳循环过程中的一种重要的酶,蔗糖酶活性提高,土壤中可溶性养分的含量将增加^[30]。脲酶与土壤氮循环关系密切,参与将有机氮转变为无机氮的反应过程,为植物的生长提供可利用氮^[31]。磷酸酶有助于将土壤中的有机磷转变为无机磷^[32]。本研究发现,当土壤中脂肪酸含量较低时,对蔗糖酶、脲酶和磷酸酶的活性有一定的促进作用,酶活性的提高有利于根际土壤有效养分含量的增加,从而促进花生植株的生长发育。而当土壤中脂肪酸含量较高时显著抑制了这3种酶的活性,根际土壤有效养分含量减少,从而间接地抑制花生植株的生长发育。

土壤酶主要来源于土壤微生物和植物根系的分泌物。添加的脂肪酸能影响土壤酶的活性可能与以下原因有关:第一,当脂肪酸进入到土壤后,会影响土壤微生物的种类和数量^[33]。第二,影响到植物根系的生长和分泌,土壤中脂肪酸含量的不同可能导致根系分泌物主要成分的改变^[4]。第三,土壤酶的活性与土壤pH值有关,而脂肪酸含量的高低会影响到土壤pH值^[34]。最后,脂肪酸可能会直接影响土壤酶的活性,影响的大

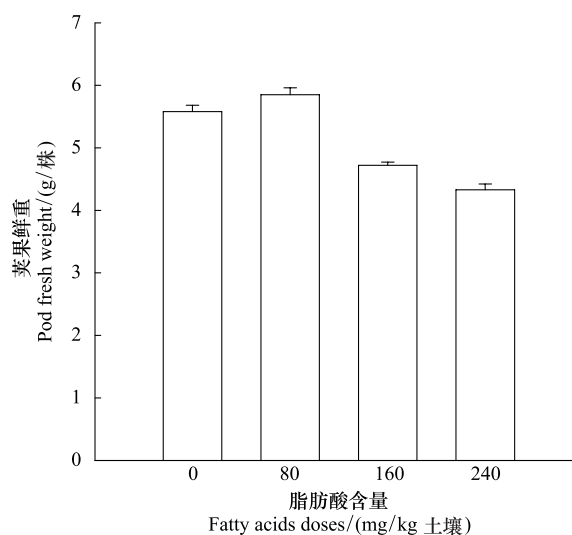


图3 3种脂肪酸对花生产量的影响

Fig. 3 Effects of three fatty acids on peanut production

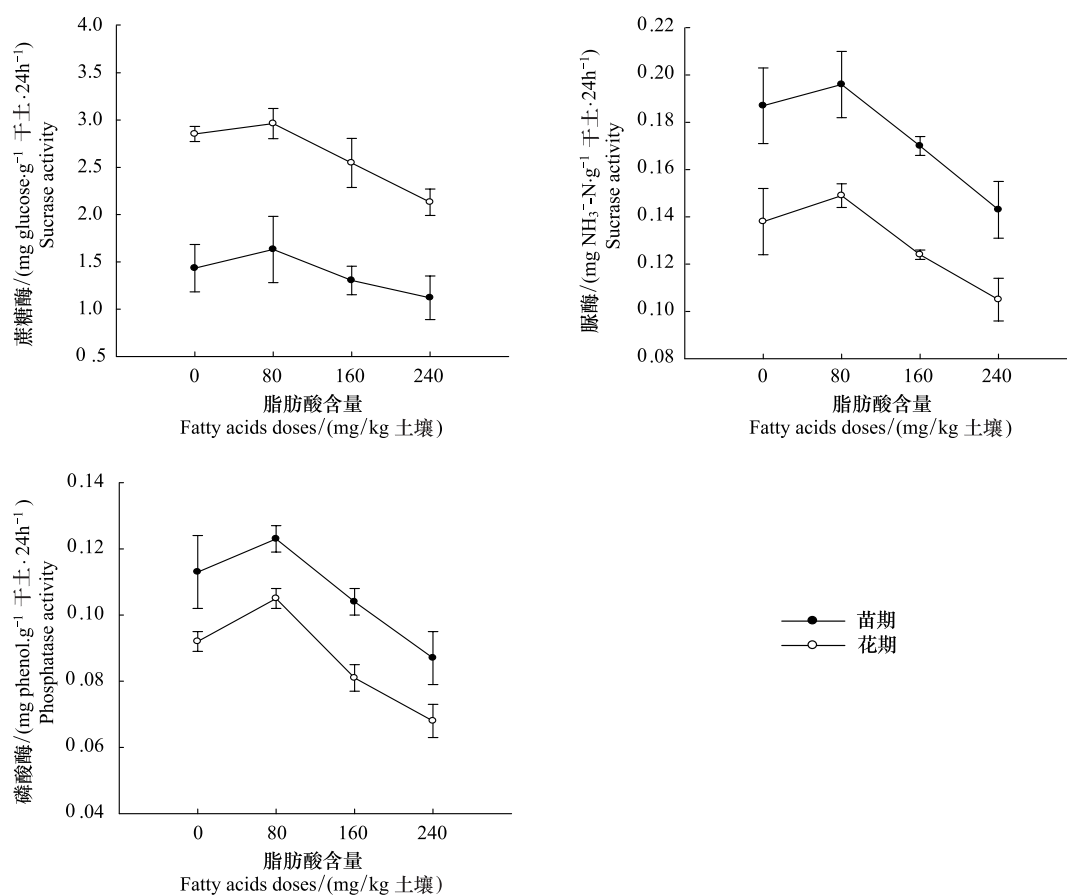


图4 3种脂肪酸对土壤酶活性的影响

Fig. 4 Effects of three fatty acids on soil enzymes activities

小取决于脂肪酸的种类和含量。

3.3 3种脂肪酸与花生连作障碍的关系

酚酸类物质是常见的植物化感物质,李培栋等的研究表明,南方红壤区花生的连作障碍与土壤中的对羟基苯甲酸、香豆酸和香草酸这3种酚酸类化感物质的累积有密切关系^[35]。然而,近来许多研究表明脂肪类物质也是一类重要的化感物质。芋头根系分泌的脂肪酸类物质如己二酸在和芳香酸类物质的协同作用下可以抑制芋头植株的生长^[4]。He等的研究表明脂肪酸类物质和酚酸类物质均与西洋参的自毒作用有密切关系^[36]。本研究中证实了土壤中3种长链脂肪酸豆蔻酸、软脂酸和硬脂酸积累后会抑制花生植株的生长和产量,花生连作土壤中豆蔻酸、软脂酸和硬脂酸的累积与花生的连作障碍有着密切关系。通过生物或物理措施调控土壤中脂肪酸的含量将有助于缓解花生的连作障碍问题。花生连作土壤中脂肪酸的致毒临界含量、作用机理等问题有待于进一步研究。

致谢:本研究得到了中国科学院沈阳应用生态研究所韩兴国研究员的指导与帮助,特此致谢。

References:

- [1] Wu F Z, Zhao F Y. Study on root exudates and continues cropping obstacle. Journal of Northeast Agricultural University, 2003, 34(1): 114-118.
- [2] Rice E L. Allelopathy. 2nd ed. New York: Academy Press Inc, 1984: 151-187.
- [3] Putnam A R. Allelopathic research in agriculture: Past highlights and potential // Thompson A C, ed. The Chemistry of Allelopathy. Washington DC: American Chemical Society, 1985.
- [4] Asao T, Hasegawa K, Sueda Y, Tomita K, Taniguchi K, Hosoki T, Pramanik M H R, Matsui Y. Autotoxicity of root exudates from taro. Scientia Horticulturae, 2003, 97(3/4): 389-396.

- [5] Liu S H, Liu S Q, Zhang Z K, Wei H, Huang Z J, Zhang Y. Inhibition effect of garlic root exudates on the *Genus Allium*. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(12): 2625-2632.
- [6] Wang X X, Zhang T L, Dai C C. Advance in mechanism and countermeasures of peanut succession monocropping obstacles. *Soils*, 2010, 42(4): 505-512.
- [7] Choesin D N, Boerner R E J. Allyl isothiocyanate release and the allelopathic potential of *Brassica napus* (Brassicaceae). *American Journal of Botany*, 1991, 78(8): 1083-1090.
- [8] Cheng H H. Characterization of the mechanisms of allelopathy: modeling and experimental approaches // Inderjit I, Dakshini K M M, Einhellig F A, eds. *Allelopathy: Organisms, Processes and Applications*. ACS Symposium Series 582. Washington DC: American Chemical Society, 1985: 132-141.
- [9] Inderjit I, Kaur S, Dakshini K M M. Determination of allelopathic potential of a weed *Pluchea lanceolata* through a multi-faceted approach. *Canadian Journal of Botany*, 1996, 74(9): 1445-1450.
- [10] Inderjit I. Soils: environmental effect on allelochemical activity. *Agronomy Journal*, 2001, 93(1): 79-84.
- [11] Romeo J T. Raising the beam: moving beyond phytotoxicity. *Journal of Chemical Ecology*, 2000, 26(9): 2011-2014.
- [12] Inderjit I. Soil microorganisms: an important determinant of allelopathic activity. *Plant and Soil*, 2005, 274(1/2): 227-236.
- [13] Einhellig F A. Allelopathy: current status and future goal // Inderjit, Dakshini K M M, Einhellig F A, eds. *Allelopathy: Organisms, Processes and Applications*. ACS Symposium Series 582. Washington DC: American Chemical Society, 1995: 1-24.
- [14] Blum U. Allelopathic interactions involving phenolic acids. *Journal of Chemical Ecology*, 1996, 28(3): 259-267.
- [15] Liu P, Wan S B, Jiang L H, Wang C B, Liu Z H, Zhao H J, Yu S F, Yang L. Autotoxic potential of root exudates of peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Allelopathy Journal*, 2010, 26(2): 197-206.
- [16] Liu P, Jiang L H, Wan S B, Wei J L, Yu S F, Yang L, Wang M. Studies on allelopathy of peanut root exudates on root rot fungi and N-fixing Bacteria. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2009, 11(4): 107-111.
- [17] Zhou B L, Wu J X, Yin Y L, Han L, Sun C Q. Effects of tetradecanoic acid on growth and activities of leaf defense enzymes of eggplant seedlings. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2011, 20(4): 120-123.
- [18] Gao Y N, Liu B Y, Ge F J, Liang W, Xu D, Zhang L P, Wu Z B. Isolation and identification of allelopathic fatty acids exuded from three submerged hydrocharitaceae species. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2011, 35(1): 170-174.
- [19] Songsri P, Jogloy S, Holbrook C C, Kesmla T, Vorasoot N, Akkasaeng C, Patanothai A. Association of root, specific leaf area and SPAD chlorophyll meter reading to water use efficiency of peanut under different available soil water. *Agricultural Water Management*, 2009, 96(5): 790-798.
- [20] Li H S, Sun Q, Zhao S J. *Principles and Techniques of Plant Physiological Biochemical Experiment*. Beijing: Higher Education Press, 2003: 119-120.
- [21] Guan S Y. *Soil Enzymes and Their Research Methodology*. Beijing: Agriculture Press, 1986: 274-312.
- [22] 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.
- [23] Baziramakenga R, Leroux G D, Simard R R. Effects of benzoic and cinnamic acids on membrane permeability of soybean roots. *Journal of Chemical Ecology*, 1995, 21(9): 1271-1285.
- [24] Qin Y M, Nie L W, Huang Y Q, Wang G, Liu X, Zhou K. Detection of *Paeonia ostii* autotoxins and their mechanism. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(3): 1153-1161.
- [25] Zeng R S, Luo S M, Shi Y H, Shi Y H, Shi M B, Tu C Y. Physiological and biochemical mechanism of allelopathy of secalonic acid F on higher plants. *Agronomy Journal*, 2001, 93(1): 72-79.
- [26] Shibata M, Mikota T, Yoshimura A, Iwata N, Tsuyama M, Kobayashi Y. Chlorophyll formation and photosynthetic activity in rice mutants with alterations in hydrogenation of the chlorophyll alcohol side chain. *Plant Science*, 2004, 166(3): 593-600.
- [27] Yang C M, Yang L Z, Yang Y X, Ouyang Z. Rice root growth and nutrient uptake as influenced by organic manure in continuously and alternately flooded paddy soils. *Agricultural Water Management*, 2004, 70(1): 67-81.
- [28] 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*, 2007, 98(16): 3154-3158.
- [29] Gu Y, Wang P, Kong C H. Urease, invertase, dehydrogenase and polyphenoloxidase activities in paddy soil influenced by allelopathic rice variety. *European Journal of Soil Biology*, 2009, 45(5/6): 436-441.
- [30] Zhang F P, Li C F, Tong L G, Yue L X, Li P, Ciren Y J, Cao C G. Response of microbial characteristics to heavy metal pollution of mining soils in central Tibet, China. *Applied Soil Ecology*, 2010, 45(3): 144-151.

- [31] Bandick A K, Dick R P. Field management effects on soil enzyme activities. *Soil Biology and Biochemistry*, 1999, 31(11): 1471-1479.
- [32] Amador J A, Glucksmann A M, Lyons J B, Görres J H. Spatial distribution of soil phosphatase activity within a riparian forest. *Soil Science*, 1997, 162(11): 808-825.
- [33] Kong C H, Wang P, Zhao H, Xu X H, Zhu Y D. Impact of allelochemical exuded from allelopathic rice on soil microbial community. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40(7): 1862-1869.
- [34] Yao H Y, Bowman D, Rufty T, Shi W. Interactions between N fertilization, grass clipping addition and pH in turf ecosystems: Implications for soil enzyme activities and organic matter decomposition. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41(7): 1425-1432.
- [35] 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.
- [36] 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(1/2): 63-72.

参考文献:

- [1] 吴凤芝, 赵凤艳. 根系分泌物与连作障碍. *东北农业大学学报*, 2003, 34(1): 114-118.
- [5] 刘素慧, 刘世琦, 张自坤, 尉辉, 黄治军, 张宇. 大蒜根系分泌物对同属作物的抑制作用. *中国农业科学*, 2011, 44(12): 2625-2632.
- [6] 王兴祥, 张桃林, 戴传超. 连作花生土壤障碍原因及消除技术研究进展. *土壤*, 2010, 42(4): 505-512.
- [16] 刘苹, 江丽华, 万书波, 魏建林, 于淑芳, 杨力, 王梅. 花生根系分泌物对根腐镰刀菌和固氮菌的化感作用研究. *中国农业科技导报*, 2009, 11(4): 107-111.
- [17] 周宝利, 武建霞, 尹玉玲, 韩琳, 孙传奇. 豆蔻酸对茄子幼苗生长和叶片防御酶活性的影响. *西北农业学报*, 2011, 20(4): 120-123.
- [18] 高云霓, 刘碧云, 葛芳杰, 梁威, 徐栋, 张丽萍, 吴振斌. 三种水鳖科沉水植物释放的脂肪酸类化感物质的分离与鉴定. *水生生物学报*, 2011, 35(1): 170-174.
- [20] 李合生, 孙群, 赵世杰. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社, 2003: 119-120.
- [21] 关松荫. 土壤酶及其研究法. 北京: 农业出版社, 1986: 274-312.
- [24] 覃逸明, 聂刘旺, 黄雨清, 王千, 刘欣, 周科. 凤丹 (*Paeonia ostii* T.) 自毒物质的检测及其作用机制. *生态学报*, 2009, 29(3): 1153-1161.
- [35] 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.

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索自然奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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

本期责任副主编 朱永官

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 33 卷 第 11 期 (2013 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 11 (June, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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 90.00 元