

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

李培栋¹, 王兴祥², 李奕林², 王宏伟¹, 梁飞燕¹, 戴传超^{1,*}

(1. 南京师范大学生命科学学院,南京 210046;2. 中国科学院土壤环境与污染修复重点实验室(南京土壤研究所),南京 210008)

摘要:研究了南方红壤区不同连作年限花生土壤中酚酸物质的种类、含量,及其对花生生长的影响。结果表明:连作花生土壤中对羟基苯甲酸、香草酸和香豆酸随着连作年限的增加而增加,连作 10a 后 3 种酚酸总量达 $11.09 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 干土,显著高于连作 3a 和 6a 的土壤;而土壤中香豆素和苯甲酸含量比较低,且变化没有规律。所有酚酸处理组对花生幼苗的株高和根长表现出抑制作用,对花生幼苗地下部的干鲜重均表现出“低促高抑”的特点。香草酸和香豆酸处理组对花生幼苗地上部的干鲜重表现出“低促高抑”的特点,其他处理组均表现出抑制作用。花生幼苗根系活力随着酚酸处理浓度的增加而降低,花生幼苗的超氧化物歧化酶活力(SOD)、过氧化物酶活力(POD)、丙二醛含量(MDA)则随着酚酸浓度的增加而增加。与只用茄腐镰刀菌孢子悬液浸泡花生种子的对照相比,加入酚酸后,花生种子的病原菌的感染率随着酚酸浓度的增加而增加,发芽率则随着酚酸浓度的增加而下降。以上结果说明,酚酸物质可以抑制花生幼苗的生长和提高花生的发病率,可能是因为酚酸物质破坏花生细胞膜的完整性而使病原菌入侵,影响花生生长,产生连作障碍。

关键词:酚酸;花生;连作;化感作用

The contents of phenolic acids in continuous cropping peanut and their allelopathy

LI Peidong¹, WANG Xingxiang², LI Yilin², WANG Hongwei¹, LIANG Feiyan¹, DAI Chuanchao^{1,*}

1 College of Life Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China

2 Key Laboratory of Soil Environment and Pollution Remediation, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China

Abstract: In order to find the reason that the obvious continuous cropping obstacles found in peanut, experiment was designed to study this phenomenon in this paper. The soil samples were collected from four adjacent continuous cropping peanuts field in red soil of south China which were continuously cropped for 3, 6, 10 and 15 years respectively and the control was the abandoned farmland belonging to the same parent material at March 20, 2009. Subsequently, the kinds and content of phenolic acids of continuous cropping peanuts field were detected. The results showed that three exogenous phenolic acids of p-hydroxybenzoic acid, vanillic acid and coumaric acid and their mixture at three different concentrations affected on the incidence of peanut seed infected with *Fusarium solani* and the incidence of peanut seed germination infecting with *F. solani*, and the growth and protecting enzymy activities of peanut seedlings by tissue culture. The results also revealed that soil p-hydroxybenzoic acid, vanillic acid and coumaric acid accumulated gradually with the increasing year of continuous peanut cropping. The total amounts of three phenolic acids reached $11.09 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ dry soil after 10 years cropping, which was significantly higher than that after 3 or 6 years cropping and similar to 15 years cropping. However, the amounts of coumarin and benzoic acid were very low in all detected soil samples. Plant height and root length were inhibited with all the treatments. The underground fresh and dry weight of peanut seedlings were promoted at lower level and inhibited at higher level of phenolic acids. The aboveground fresh and dry weight of peanut seedlings were inhibited at all levels except that vanillic acid and coumaric acid promoted at lower level. In addition, root activities of peanut seedling

基金项目:国家科技支撑计划资助项目(2009BADC6B005);中国科学院知识创新工程重大资助项目(KSCX 1-YW-09);国家自然科学基金资助项目(30970523)

收稿日期:2009-10-09; 修订日期:2010-01-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: daichuanchao@njnu.edu.cn

decreased and plant Superoxide dismutase (SOD) activities, Peroxidase (POD) activities and Malondialdehyde (MDA) contents rose with increasing concentration of phenolic acids comparing with the control. This result showed that the cell membrane of peanut seedling was destroyed and induced the defense reaction and this maybe provide some invasion ways to pathogen. Comparing with the control of peanut seeds treated with *F. solani* spore suspension, the incidence of peanut seed infected with *F. solani* increased and the incidence of peanut seed germination reduced with increasing concentration of phenolic acids. These results indicated that phenolic acids could inhibit the growth of peanut seedling, increase the incidence of peanut infected with pathogen and decrease the incidence of peanut seed germination infecting with pathogen. Phenolic acids existed in continuous peanut cropping soils would destroy the cell membrane of peanut seedlings, and then the peanut pathogen invaded the seedlings. This would lead to the inhibition of peanut seedling growth, and continuous cropping obstacles would happen.

Key Words: phenolic acids; peanut(*Arachis hypogaea* L.); continuous cropping; allelopathy

花生(*Arachis hypogaea* L.)是重要的油料作物,是我国具有国际竞争力的少有的几个农产品之一,也是我国南方红壤区的主要经济作物和油料作物,但是长期连作导致花生产量、品质及产投比持续下降^[1-2]。研究表明连作障碍主要与土壤微生物区系的失衡、作物自毒作用和土壤营养元素的匮乏有关^[3]。关于连作花生土壤的微生物区系、酶活力、花生营养及光合作用生理指标已有大量的文献报道^[4-6],但是连作对花生自毒作用的研究还鲜有报道。

酚酸是目前研究较多的化感物质^[7-11],如大棚连作黄瓜、大田连作大豆土壤中均发现酚酸物质的积累^[7-8]。为此,本文选取了南方红壤区不同连作年限的花生土壤,分析检测其酚酸类物质的种类与含量,并进行模拟实验,研究酚酸类物质对花生根腐病感染率,幼苗生长及保护酶活性的影响,以明确连作花生土壤中酚酸类物质的化感作用,进一步探讨花生连作减产的原因,为缓解花生连作障碍及提高红壤生产力提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 连作花生土壤酚酸类物质的检测

供试土壤为第四纪红黏土发育的红壤^[12],2009年3月20日采自江西省余江县中国科学院红壤生态试验站及周边示范基地。根据实际情况选择只种植花生且管理措施一致的花生地,分别选择连作年限为3、6、10a和15a的大田进行多点取样(0—20cm),并采集附近开垦种植多年花生、芝麻、红薯等作物后,近3a撂荒的土壤为对照(CK),基本理化性质见表1。混匀后立即带回实验室,过2mm的筛储存在4℃冰箱中备用。

表1 不同连作年限花生土壤的基本理化性质

Table 1 The physcial and chemcial properties of continuous cropping soils in peanut

连作年限(a) Continuous cropping year	pH	有机质 /(g/kg) Organic matter	全氮 /(g/kg) Total nitrogen	全磷 /(g/kg) Total phosphonium	碱解氮 /(mg/kg) Alkali-hydrolyzable nitrogen	速效磷 /(mg/kg) Available phosphonium	速效钾 /(mg/kg) Available potassium
CK	6.42	11.52	0.55	0.31	46.21	10.36	70.00
3	5.36	12.74	0.81	0.77	56.11	43.80	95.00
6	4.71	9.93	0.63	0.30	42.91	17.04	177.50
10	4.45	13.80	0.80	0.56	62.71	40.47	355.00
15	4.40	11.92	0.78	0.39	59.41	47.81	327.50

称25g鲜土于离心管中,加入25mL 1mol·L⁻¹NaOH放置过夜,次日振荡30min,离心后将过滤离心液用12mol·L⁻¹的盐酸酸化至pH2.5,2h后离心除去胡敏酸,而后将上清液过0.22μm的纤维素薄膜,滤液用HPLC测定(重复3次)^[13],结果按照烘干土重换算。HPLC系统为Agilent 1100系统,检测柱为ODS-C18

($4.6\text{mm} \times 150\text{mm}$),流动相为乙腈:1.3%醋酸水溶液 = 17:83,流速 $1\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$,检测波长为 260nm,样品采用标准品色谱保留时间进行定性,以峰面积进行定量计算分析。

1.2 酚酸类物质对花生生长的影响

1.2.1 酚酸类物质处理液的配制

根据花生连作土中实际酚酸的种类、含量与比例,用无菌水配制浓度为 $1,3,5\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的对羟基苯甲酸处理液,分别记为 A1,A2,A3 处理组;用无菌水配制浓度为 $1.3,3.9\text{mg} \cdot \text{L}^{-1},6.5\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的香草酸处理液,分别记为 B1,B2,B3 处理组;用无菌水配制浓度为 $1.5,4.5,7.5\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的香豆酸处理液,分别记为 C1,C3,C5 处理组;分别取对羟基苯甲酸,香草酸及香豆酸按 1:1.3:1.5 比例混合,配成酚酸总量为 $3.8,11.4,19.0\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的混合酚酸处理液,分别记为 D1,D2,D3。

1.2.2 花生幼苗生长实验

配制 MS 基本培养基,取 100mL 分装至 250mL 的三角烧瓶中,分别加入 3 种酚酸及其混合液,使培养基的终浓度分别达到 1.2.2 中各个处理液的浓度,标记同上,每个处理 6 个重复。同时取大小成色一致的健康花生灭菌,无菌水浸泡 5h,无菌操作将花生放在灭菌好的装有 MS 培养基的三角烧瓶的中央,25℃恒温光照培养箱培养 21d 后取出测量花生的生长指标与生理指标。生长指标测量花生幼苗的株高、根长、地上部及地下部的干鲜重,收集花生幼苗叶进行生理指标测定,过氧化物酶采用愈创木酚比色法、超氧化物歧化酶采用氮蓝四唑法测定、MDA 采用巴比妥酸比色法,收集花生幼苗根测定根系活力,采用 TTC 法测定^[14]。

1.2.3 病原菌及孢子悬液的制备

2008 年从当地发病花生植株上(品种为赣花 5 号)分离纯化并回接验证的花生病原菌,经鉴定为茄腐镰刀菌(*Fusarium solani*),将分离菌株接种于 PDA 培养基,25℃培养 10 d,产孢,倒入无菌水,刮取孢子,获得菌悬液,通过 4 层灭菌纱布过滤获得孢子悬液,平板计数后将其浓度调至 $1 \times 10^6 \text{mL}^{-1}$ 低温保存备用。

1.2.4 酚酸对花生发病率及发芽率影响的检测

取大小成色一致的健康花生(赣花 5 号),在 70% 乙醇浸泡 5—10s,移入 0.1% 升汞灭菌 3—5min 后,用无菌水冲洗 4 次,然后浸泡至 1×10^6 个/孢子的茄腐镰刀菌孢子悬液中 5h。

取配制好的各个酚酸处理液,共 13 个处理(4 个酚酸处理,每个酚酸处理 3 个浓度,无菌水做为对照),每个平皿加入 20mL 的处理液,每个处理 4 个平行,将浸过的花生种子放入有两层浸湿滤纸的 12cm 的灭菌平皿中,每平皿放 6 颗花生,28℃恒温培养箱培养 5d 后观察花生的发芽率及发病率。

1.3 统计分析

试验结果用算术平均数 ± 标准误表示,利用 SPSS v 13. 0 数据分析软件进行方差分析(ANOVA)工作。

2 结果与分析

2.1 不同连作年限花生土壤自毒物质的检测

不同连作年限的花生土壤酚酸物质主要有对羟基苯甲酸、香草酸、香豆酸、香豆素和苯甲酸,其中对羟基苯甲酸、香草酸和香豆酸含量较高且变化规律性明显,香豆素和苯甲酸含量较低,且变化没有规律(表2)。

表 2 不同连作年限花生土壤中酚酸类物质的含量/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 干土)
Table 2 Contents of phenolic acids of continuous cropping soils in peanut ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ dry soil)

连作年限(a) Continuous cropping years	对羟基苯甲酸 ρ -hydroxybenzoic acid	香草酸 Vanillic acid	香豆酸 Coumaric acid	总量 Total
CK	$0.80 \pm 0.02^{\circ}$	$0.84 \pm 0.05^{\text{d}}$	$0.91 \pm 0.15^{\text{e}}$	2.55
3	$1.05 \pm 0.01^{\text{d}}$	$1.82 \pm 0.04^{\text{c}}$	$1.56 \pm 0.02^{\text{c}}$	4.43
6	$2.08 \pm 0.01^{\text{c}}$	$2.76 \pm 0.02^{\text{b}}$	$3.05 \pm 0.14^{\text{b}}$	7.89
10	$2.66 \pm 0.02^{\text{b}}$	$3.73 \pm 0.39^{\text{a}}$	$4.70 \pm 0.49^{\text{a}}$	11.09
15	$2.76 \pm 0.07^{\text{a}}$	$3.74 \pm 0.11^{\text{a}}$	$4.30 \pm 0.62^{\text{a}}$	10.80

注:表中同一列数值后缀不同字母表示差异显著($P < 0.05$),下同

3种酚酸物质随着花生连作年限的增加而增加,且都达到了显著水平,其中以香豆酸的含量最高,连作10a时达到 $4.70\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 干土,连作10a后土壤中3种酚酸的总浓度达到 $11.09\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 干土。说明花生连作后土壤中酚酸物质增加可能会对花生产生自毒作用,影响花生的生长。

2.2 酚酸对花生幼苗生长的影响

表3结果表明,花生幼苗的株高、根长、地上与地下的干鲜重都不同程度受到酚酸物质的影响,其中花生地下部的鲜重和干重影响最大。香草酸和香豆酸在低浓度时对花生的地上部干鲜重都有促进作用,在高浓度时表现出抑制作用。所有酚酸的处理对花生地下部的干鲜重都表现出“低促高抑”的特点,但是酚酸对花生的株高和根长都表现出了抑制作用。

表3 酚酸物质对花生生长指标的影响

Table 3 Effect of phenolic acids on the growth of peanut

编号 Item	地上鲜重/g Fresh weight of stem and leaf	地下鲜重/g Fresh weight of roots	株高/cm Shoot length	根长/cm Root length	地上干重/g Dry weight of stem and leaf	地下干重/g Dry weight of roots roots
CK	4.64 ± 0.57^{abcd}	2.57 ± 0.01^a	11.0 ± 0.28^a	7.85 ± 1.20^a	0.59 ± 0.05^{ab}	0.33 ± 0.01^{abc}
A1	4.42 ± 0.13^{abcde}	3.10 ± 0.33^a	9.35 ± 0.21^{ab}	5.75 ± 1.77^{ab}	0.59 ± 0.01^{ab}	0.42 ± 0.04^a
A2	4.09 ± 0.72^{cde}	3.00 ± 0.92^a	8.50 ± 0.71^{ab}	5.50 ± 0.71^{ab}	0.53 ± 0.10^{abc}	0.38 ± 0.08^{ab}
A3	3.83 ± 0.64^{def}	2.41 ± 0.64^{ab}	9.50 ± 0.71^{ab}	5.00 ± 0.28^b	0.52 ± 0.02^{bc}	0.26 ± 0.02^{bcd}
B1	4.99 ± 0.21^{ab}	2.71 ± 0.36^a	10.0 ± 0.71^a	7.00 ± 1.41^{ab}	0.67 ± 0.03^a	0.41 ± 0.04^a
B2	4.85 ± 0.57^{abc}	2.68 ± 0.35^a	11.0 ± 1.41^a	5.50 ± 0.71^{ab}	0.59 ± 0.15^{ab}	0.36 ± 0.01^{abc}
B3	3.19 ± 0.41^f	2.04 ± 0.36^{abc}	9.75 ± 0.35^{ab}	6.25 ± 2.47^{ab}	0.42 ± 0.01^c	0.23 ± 0.04^{cd}
C1	5.12 ± 0.42^a	3.14 ± 0.37^a	9.75 ± 0.35^{ab}	6.00 ± 0.71^{ab}	0.64 ± 0.05^{ab}	0.42 ± 0.02^a
C2	4.66 ± 0.17^{abcd}	2.71 ± 0.24^a	7.00 ± 2.12^b	6.25 ± 0.35^{ab}	0.60 ± 0.01^{ab}	0.37 ± 0.01^{ab}
C3	3.61 ± 0.39^{ef}	1.31 ± 0.06^{bc}	7.00 ± 0.35^b	4.50 ± 0.71^b	0.53 ± 0.07^{abc}	0.16 ± 0.07^d
D1	4.18 ± 0.37^{bcde}	3.01 ± 0.22^a	11.0 ± 1.77^a	5.00 ± 0.71^b	0.53 ± 0.02^{bc}	0.39 ± 0.02^{ab}
D2	4.33 ± 0.14^{abcde}	2.11 ± 0.37^{abc}	9.50 ± 0.71^{ab}	5.75 ± 0.35^{ab}	0.48 ± 0.15^{ab}	0.41 ± 0.18^d
D3	3.17 ± 0.07^f	1.18 ± 0.46^c	8.75 ± 1.41^{ab}	5.25 ± 0.35^{ab}	0.44 ± 0.07^c	0.16 ± 0.06^d

2.3 酚酸物质对花生幼苗根系活力及保护酶活性的影响

2.3.1 酚酸物质对花生幼苗根系活力的影响

由图1可以看出,除了对羟基苯甲酸与香豆酸在低浓度时对花生根系活力有促进作用外,其他各个酚酸处理均表现出较显著的抑制作用,说明花生幼苗的根系生长功能受到了影响。在各个酚酸处理组中,根系活力随着酚酸浓度的增加而降低,其中香豆酸与混合组对花生幼苗根系活力降低最显著。

2.3.2 酚酸物质对花生幼苗SOD的影响

由图2可以看出,各个酚酸处理组其花生幼苗的SOD活力均有不同程度的增加,且SOD活力随着酚酸浓度的增加而增加。其中对羟基苯甲酸与香豆酸高浓度的处理组中SOD活力最高,说明花生幼苗受到了外界的胁迫,从而引发抗氧化反应。

2.3.3 酚酸物质对花生幼苗POD的影响

由图3发现,与对照相比,酚酸处理组的花生幼苗POD活力都表现出增加的趋势,且随着酚酸浓度增加而增加。其中以混合组及对羟基苯甲酸高浓度处理组中POD活力最大。说明花生幼苗受到酚酸的胁迫,引发了应激反应,使POD活力增加。

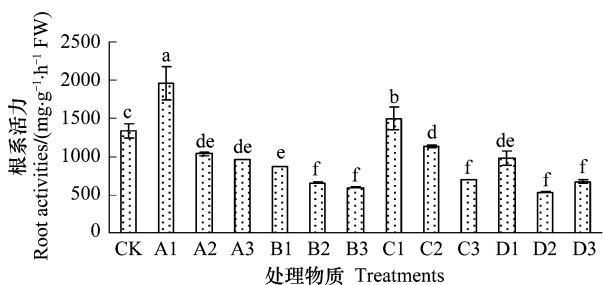


图1 不同酚酸对花生幼苗根系活力的影响

Fig. 1 Effect of different phenolic acids on root activity of peanut seedling

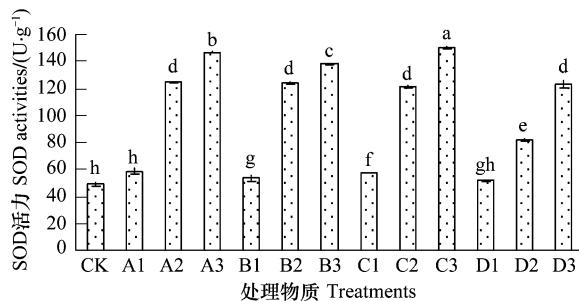


图2 不同酚酸对花生幼苗 SOD 的影响

Fig. 2 Effect of phenolic acids on SOD activity of peanut seedling

2.3.4 酚酸物质对花生幼苗 MDA 的影响

由图4可知,除了香豆酸的低浓度处理组MDA含量低于对照组外,其它各个处理组均有不同程度的增加,其中以香草酸、香豆酸及混合组高浓度处理组增加最为显著。结果说明酚酸加入后,花生幼苗细胞膜受到外界环境的胁迫,使花生幼苗细胞膜发生过氧化作用,细胞膜的完整性遭到破坏。

2.4 酚酸类物质对花生发病率及发芽率的影响

用不同浓度的酚酸处理被茄腐镰刀菌孢子悬液浸泡过花生的发病率及发芽率的结果(表4),说明酚酸处理可以使花生感染镰刀菌的概率增加,且随着酚酸浓度的增加而增加,其中香豆酸的促进作用最为显著,但是混合组没有显示出协同效应。同时,酚酸处理组中孢子悬液浸泡过花生的发芽率表现出了明显的降低,其中对羟基苯甲酸最为显著。这说明酚酸处理后,病原菌侵入花生种子,使花生的发芽率降低。

3 讨论

花生是连作障碍比较严重的作物之一,前人已经对其花生连作导致的土壤微生物区系,土壤酶活及各项生长指标生理指标的变化做过详细的研究,本文首次从南方红壤区不同连作年限的花生土壤中检测到对羟基苯甲酸、香草酸、香豆酸,且其含量随着连作年限的增加而增加,香豆素与苯甲酸含量很低且变化没有规律。刘萍等在分析花生根系分泌物时,分离到部分酚酸物质,还分离到脂肪酸类化合物^[15],如月桂酸、豆蔻酸等,但是其仅做了提取的根系分泌物的碱性、酸性及中性成分对根腐镰刀菌及固氮菌的影响,没有确定其对花生的化感作用。

酚酸物质对花生幼苗生长指标与生理指标的影响实验采用MS培养基的方法检测,可以排除其他因素的影响,直接检测酚酸物质对花生幼苗的化感作用。杜英君等也曾采用组培技术研究连作大豆的化感作用,并取得了较好的结果^[16]。本文结果表明高浓度的酚酸能使花生幼苗地上与地下部的干鲜重减小、株高与根长

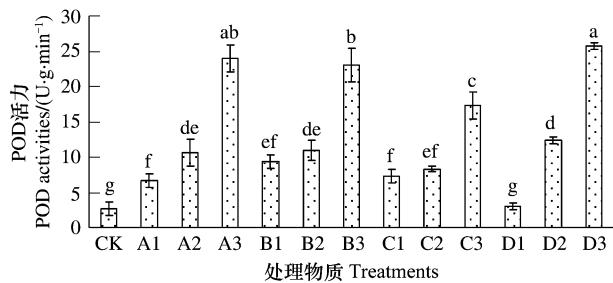


图3 不同酚酸对花生幼苗 POD 的影响

Fig. 3 Effect of phenolic acids on POD activity of peanut seedling

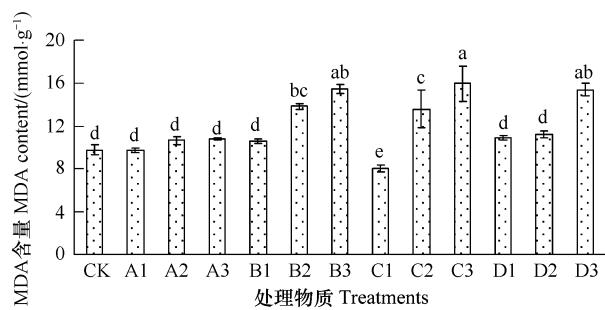


图4 不同酚酸对花生幼苗 MDA 的影响

Fig. 4 Effect of phenolic acids on MDA content of peanut seedling

表4 酚酸对花生发病率及发芽率的影响

Table 4 Effect of phenolics compounds on peanut disease incidence and sprouting

编号 Item	发病率/% Infection incidence	发芽率/% Germination
CK	22.2 ± 9.62 ^d	91.7 ± 3.93 ^{ab}
A1	27.8 ± 9.62 ^{cd}	91.7 ± 3.93 ^{ab}
A2	29.2 ± 7.22 ^{cd}	89.6 ± 2.95 ^{ab}
A3	55.6 ± 9.62 ^{ab}	62.5 ± 5.89 ^f
B1	38.9 ± 9.62 ^{bcd}	86.1 ± 3.93 ^{abc}
B2	45.8 ± 19.1 ^{ab}	85.4 ± 2.95 ^{bc}
B3	55.6 ± 9.62 ^{ab}	81.3 ± 2.95 ^{cd}
C1	27.8 ± 9.62 ^{cd}	91.7 ± 3.93 ^{ab}
C2	54.2 ± 7.22 ^{ab}	81.3 ± 2.95 ^{cd}
C3	58.3 ± 9.62 ^a	72.9 ± 2.95 ^e
D1	22.2 ± 4.81 ^d	93.2 ± 3.21 ^a
D2	41.7 ± 7.22 ^{bc}	85.4 ± 2.95 ^{bc}
D3	55.6 ± 13.9 ^{ab}	75.0 ± 2.36 ^{de}

下降,抑制花生的生长,各个酚酸物质之间没有明显的差异,酚酸混合液也没有出现协同效应,具体原因还有待进一步分析。

根系活力能反映根系吸收水分和养分能力的大小,加入酚酸物质后,花生幼苗的根系活力下降,且随着酚酸浓度的增加而下降。说明在花生连作后,其土壤中的酚酸物质会损伤花生的根系,从而影响花生幼苗以后的生长,导致花生植株偏弱。本研究发现,加入酚酸物质后,与对照相比,SOD 和 POD 活力增加,MDA 含量也增加,且都随着酚酸浓度的增加而增加,说明酚酸加入后,花生幼苗的细胞膜受到损伤,细胞内活性氧自由基增加,导致 MDA 含量增加,诱导 SOD、POD 活性增加。

研究发现酚酸能使孢子悬液浸泡过的花生感染根腐病病原菌的概率增加、使花生发芽率下降、花生染菌而腐烂。Wang^[17] 和 Peirce^[18] 研究发现根部渗出物及其中的自毒物质能够使作物根部疾病增加。Ye 等发现肉桂酸可通过引发黄瓜根部氧化应激反应,使黄瓜根受到损伤,导致感染镰刀菌枯萎病的概率增加^[19-20]。由以上的结果可以推测,在花生的幼苗期,酚酸物质会造成幼苗根系细胞膜的损伤,使细胞内活性氧自由基增加,破坏细胞膜的完整性,从而使连作土壤中的土传病原菌更加容易入侵,造成花生种腐烂或使花生携带病原菌,从而造成花生发病率增加。

花生连作后土壤 pH 降低(表 1),是否由酚酸积累导致的还有待进一步探讨,但是酸化环境有利于病原菌和真菌的繁殖。Qu 等研究发现外加酚酸物质可以改变土壤微生物群落结构,使病原真菌菌数量增加^[21],鞠会艳等认为根系分泌物能够显著的促进大豆根腐病病原菌的生长^[22],刘萍等发现花生的根系分泌物可以促进花生根腐镰刀菌生长^[15],本文对不同连作年限的花生土壤的理化性质检测结果表明营养元素与连作年限不存在显著相关性(表 1)。因此,认为酚酸使土壤微生物群落结构改变、病原真菌富集、微生物群落环境恶化,而恶化的微生物群落结构使土壤中的酚酸物质降解缓慢,造成酚酸物质积累,积累的酚酸不仅继续改变微生物群落结构,而且会抑制花生生长,提高花生发病率,如此恶性循环,产生花生连作障碍。随着花生连作年限的增加,土壤中积累的病原菌和酚酸数量增加,花生植株变矮、分枝减少、发病率增加、荚果数减少,最终导致花生产量与品质的下降。

本文所检测到的酚酸类物质对花生的生长发育有一定的影响,并探讨了其在花生生产连作障碍中的作用,但是仅就部分酚酸做了研究,是否还存在其他的化感物质还有待进一步的确认。

References:

- [1] Feng Y M, Zhang W D. The comparison of export competition among Chinese provinces. *Journal of Anhui Agriculture Science*, 2007, 35(34): 11275-11276.
- [2] Wang M Z, Chen X N. Obstacle and Countermeasure of sustainable high yield for peanut in low-hilly red soil region. *Journal of Peanut Science*, 2005, 34(2): 17-22.
- [3] Zheng L Y, Hu J F, Lin C H, Tang Q F, Guo Q Y. The production of succession cropping obstacles and its prevention and cure Steps. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2005, 25(2): 59-62.
- [4] Wu Z F, Cheng B, Wang C B, Zheng Y P, Liu J H, Chen D X, Gao X H. Effect of continuous cropping on peanut seedling physiological characteristics and pod yield. *Journal of Peanut Science*, 2006, 35(1): 29-33.
- [5] Xu R F, Wang X L. Relation of microbial population dynamics and nutrient in soil of continuous cropping with peanut. *Journal of Peanut Science*, 2003, 32(3): 19-24.
- [6] Sun X S, Feng H S, Wan S B, Zuo X Q. Changes of main microbial strains and enzymes activities in peanut continuous cropping soil and their interactions. *Acta Agronomica Sinica*, 2001, 27(5): 617-621.
- [7] Hu Y S, Wu K, Li C X, Sun F L, Jia X C. Effects of phenolic compounds on the growth of *Cucumis sativus* seedlings and *Fusarium oxysporum* hypha. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(11): 1738-1742.
- [8] Zhang S X, Gao Z Q, Liu H L. Continuous cropping obstacle and rhizospheric microecology III. Soil phenolic acids and their biological effect. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(5): 741-744.
- [9] Maniével S, Thierry D, François P. 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 hypogaea*). *Journal of Chemical Ecology*, 2000, 26(3): 625-637.

- [10] Jose C L, Marfa de los A B, Osvaldo P, Alfredo G, Mariela C, Alitza I, Boris G, Maritza E, Patricia E, Carlos B. Sugarcane micropagation and phenolic excretion. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 2001, 65: 1-8.
- [11] Yu J Q, Matsui. Autoimmunity of Root Exudates in *Pisum sativus*. *Acta Horticulturae Sinica*, 1999, 26(3): 175-179.
- [12] Zhao Q G. Nutrient Cycling in Red Soils and Their Management. Beijing: Science Press, 2002: 1-495.
- [13] Hartley R D, Buchan H. High-performance liquid chromatography of phenolic acids and aldehydes derived from the decomposition of organic matter in soil. *Journal of Chromatography A*, 1979, 180: 139-143.
- [14] Li H S. Principles and Techniques for Plant Physiological Biochemical Experiment. Beijing: Higher Education Press, 2000: 119-261.
- [15] 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.
- [16] Du Y J, Jin Y H. Simulations of allelopathy in continuous cropping of soybean. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(2): 209-212.
- [17] Wang B, Dale M L, Kochman J K, Obst N R. Effects of plant residue, soil characteristics, cotton cultivars and other crops on *Fusarium* wilt of cotton in Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 1999, 39: 203-209.
- [18] Peirce L C, Miller H G. Asparagus emergence in *Fusarium*-treated and sterile media following exposure of seeds or radicles to one or more cinnamic acids. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1993, 118: 23-28.
- [19] Ye S F, Yu J Q, Peng Y H, Zheng J H, Zou L Y. Incidence of *Fusarium* wilt in *Cucumis sativus* L. is promoted by cinnamic acid, an autoxin in root exudates. *Plant and Soil*, 2004, 263: 143-150.
- [20] Ye S F, Zhou Y H, Sun Y, Zou L Y, Yu J Q. Cinnamic acid causes oxidative stress in cucumber roots, and promotes incidence of *Fusarium* wilt. *Environmental and Experimental Botany*, 2006, 56: 255-262.
- [21] 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: 172-179.
- [22] Ju H Y, Han L M, Wang S Q, Cong D L. Allelopathic effect of root exudates on pathogenic fungi of root rot in continuous cropping soybean. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(6): 723-727.

参考文献:

- [1] 冯业茂, 张卫东. 中国省份间花生出口竞争力的比较. 安徽农业科学, 2007, 35(34): 11275-11276.
- [2] 王明珠, 陈学南. 低丘红壤区花生持续高产的障碍及对策. 花生学报, 2005, 34(2): 17-22.
- [3] 郑良永, 胡剑非, 林昌华, 唐群锋, 郭巧云. 作物连作障碍的产生及防治. 热带农业科学, 2005, 25(2): 58-62.
- [4] 吴正锋, 成波, 王才斌, 郑亚萍, 刘俊华, 陈殿绪, 高新华. 连作对花生幼苗生理特性及荚果产量的影响. 花生学报, 2006, 35(1): 29-33.
- [5] 徐瑞富, 王小龙. 花生连作田土壤微生物群落动态与土壤养分关系研究. 花生学报, 2003, 32(3): 19-24.
- [6] 孙秀山, 封海胜, 万书波, 左学青. 连作花生田主要微生物类群与土壤酶活性变化及其交互作用. 作物学报, 2001, 27(5): 617-621.
- [7] 胡元森, 吴坤, 李翠香, 孙富林, 贾新成. 酚酸物质对黄瓜幼苗及枯萎病菌菌丝生长的影响. 生态学杂志, 2007, 26(11): 1738-1742.
- [8] 张淑香, 高子勤, 刘海玲. 连作障碍与根际微生态研究 III. 土壤酚酸物质及其生物学效应. 应用生态学报, 2000, 11(5): 741-744.
- [11] 喻景权, 松井佳久. 豌豆根系分泌物自毒作用的研究. 园艺学报, 1999, 26(3): 175-179.
- [12] 赵其国. 红壤物质循环及其调控. 北京: 科学出版社, 2002: 1-495.
- [14] 李合生. 植物生理生化实验原理与技术. 北京: 高等教育出版社, 2000: 119-261.
- [15] 刘萍, 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.
- [16] 杜英君, 斯月华. 连作大豆植株化感作用的模拟研究. 应用生态学报, 1999, 10(2): 209-212.
- [22] 鞠会艳, 韩丽梅, 王树起, 丛登立. 连作大豆根分泌物对根腐病病原菌的化感作用. 应用生态学报, 2002, 13(6): 723-727.