

人参 (*Panax ginseng*) 根系分泌物成分对 人参致病菌的化感效应

李 勇¹, 刘时轮^{1,2}, 黄小芳¹, 丁万隆^{1,*}

(1. 中国医学科学院 北京协和医学院 药用植物研究所, 北京 100193; 2. 沈阳农业大学植物保护学院, 沈阳 110161)

摘要: 采用室内培养结合生物学测定的试验方法, 研究了不同浓度人参 (*Panax ginseng*) 根系分泌物成分苯甲酸、邻苯二甲酸二异丁酯、十六酸和 2,2-二(4-羟苯基)丙烷对人参立枯丝核菌 (*Rhizoctonia solani*)、黑斑菌 (*Alternaria panax*)、疫病菌 (*Phytophthora cactorum*)、菌核菌 (*Sclerotinia schinseng*)、锈腐菌 (*Cylindrocarpon destructans*) 和绿色木霉菌 (*Trichoderma viride*) 菌落生长及孢子萌发的化感效应。结果显示, 不同浓度人参根系分泌物成分对人参致病菌及绿色木霉菌的化感效应存在显著差异。苯甲酸浓度与人参立枯丝核菌、菌核菌和锈腐菌菌落生长以及人参黑斑菌、锈腐菌孢子萌发呈负相关, 与黑斑菌、绿色木霉菌菌落生长呈正相关; 对人参疫病菌菌落生长的化感效应表现为低浓度和高浓度抑制, 中浓度促进。邻苯二甲酸二异丁酯浓度与人参立枯丝核菌、黑斑菌、菌核菌和绿色木霉菌菌落生长以及人参黑斑菌孢子萌发呈负相关; 对人参锈腐菌菌落生长和孢子萌发表现为低浓度和高浓度抑制, 中浓度促进; 对人参疫病菌菌落生长表现为低浓度和中浓度抑制, 高浓度促进。2,2-二(4-羟苯基)丙烷浓度与人参立枯丝核菌、黑斑菌、疫病菌、绿色木霉菌菌落生长以及人参黑斑菌、锈腐菌孢子萌发呈负相关; 对人参菌核菌、锈腐菌菌落生长表现中浓度促进, 高浓度抑制。十六酸浓度与锈腐菌、疫病菌和绿色木霉菌菌落生长呈正相关, 与锈腐菌孢子萌发呈负相关, 对黑斑菌孢子萌发表现为中浓度抑制。4 种根系分泌物的等量混合物浓度与人参致病菌及拮抗木霉菌菌落生长速率呈负相关。

关键词: 人参; 根系分泌物; 致病菌; 化感效应

文章编号: 1000-0933(2009)01-0161-08 中图分类号: Q143, Q948, S154.1 文献标识码: A

Allelopathy of ginseng root exudates on pathogens of ginseng

LI Yong¹, LIU Shi-Lun^{1,2}, HUANG Xiao-Fang¹, DING Wan-Long^{1,*}

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

2 Plant Protection College, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(1): 0161 ~ 0168.

Abstract: We investigated the allelopathy effects of root exudates benzoic acid; 1,2-benzenedicarboxylic acid bis(2-methylpropyl) ester; hexadecanoic acid; and 2,2-bis(4-hydroxyphenyl) propane of ginseng (*Panax ginseng*) at different concentrations on the colony growth and conidia germination rates of *Rhizoctonia solani*, *Alternaria panax*, *Phytophthora cactorum*, *Sclerotinia schinseng*, *Cylindrocarpon destructans*, and *Trichoderma viride* of ginseng. The results showed a significant variation in the allelopathy effects of root exudates on pathogens and *Trichoderma viride*. Benzoic acid at concentrations that correlated negatively with the colony growths of *Rhizoctonia solani*, *Sclerotinia schinseng*, and *Cylindrocarpon destructans* and the conidia germination rates of *Alternaria panax* and *Cylindrocarpon destructans* correlated positively with the colony growths of *Alternaria panax* and *Trichoderma viride*. It inhibited the colony growth of *Phytophthora cactorum* at low and high concentrations and accelerated the growth at a medium concentration. 1,2-Benzenedicarboxylic acid bis(2-methylpropyl) ester at concentrations that correlated negatively with the colony growth of *Rhizoctonia solani*,

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30672619); 国家“十一五”科技支撑计划资助项目(2006BAI09B04-01)

收稿日期: 2008-07-05; 修订日期: 2008-10-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wlding@implad.ac.cn

Alternaria panax, *Sclerotinia schinseng*, and *Trichoderma viride*, inhibited the colony growth and the conidia germination rate of *Cylindrocarpon destructans* at low and high concentrations and accelerated them at a medium concentration. It inhibited the colony growth of *Phytophthora cactorum* at low and medium concentrations and accelerated it at a high concentration. Concentrations of 2,2-bis (4-Hydroxyphenyl) propane that correlated negatively with the colony growths of *Rhizoctonia solani*, *Alternaria panax*, *Phytophthora cactorum*, and *Trichoderma viride* and with the conidia germination rates of *Alternaria panax* and *Cylindrocarpon destructans*, inhibited the colony growths of *Sclerotinia schinseng* and *Cylindrocarpon destructans* at a high concentration and accelerated the growths at a medium concentration. Concentrations of hexadecanoic acid that correlated positively with the colony growth of *Cylindrocarpon destructans*, *Phytophthora cactorum* and *Trichoderma viride* correlated negatively with conidia germination rate of *Cylindrocarpon destructans* and inhibited the conidia germination of *Alternaria panax* at a medium concentration. Also we found that, mixture that mixed with four root exudates equally at concentrations correlated negatively with the colony growth of pathogens and antagonistic *Trichoderma* strain of ginseng.

Key Words: *Panax ginseng*; root exudates; pathogens; allelopathy

人参(*Panax ginseng* C. A. Mey.)为五加科人参属植物,我国传统名贵中药材。人参具有强忌连作的特性,栽参后的土地(俗称老参地)10~20a内不能重复栽参,否则会出现“烧须、烂根、病害多发、产量降低”等问题,严重时甚至绝收^[1,2]。农户不断开垦新林地以满足栽参的需要,不仅造成我国土地资源的极大浪费,同时也给当地自然生态环境造成毁灭性破坏^[3]。人参具有多年生(一般5~6a收获)的生长习性,即使用新林地土栽参,人参生长后期仍会出现植株长势减弱,产量、品质及抗病能力降低等问题^[4]。由于目前人参生产环节缺少必要的监管措施,农户为了追求高产和高病害防治效果,大量使用化学肥料和剧毒农药,在提高产量的同时却人为造成了人参品质的降低。目前,连作障碍已成为制约人参规范化种植的瓶颈。

笔者在研究了营养元素亏缺、病原菌侵染对人参根系分泌物的影响,人参生长过程中根系分泌物的动态变化规律以及人参根际土、老参地土提取物对人参种子生长的化感效应的基础上,还对人参根系分泌物及根际土壤提取物主成分进行了分析和鉴定,并就其中部分化合物对人参种子及幼苗生长的化感效应开展了研究。结果显示,人参根际土提取物对人参种子的生长存在极显著抑制作用,根系分泌物中某些化合物也表现类似的化感效应。上述研究结果表明,根系分泌物与人参连作障碍间存在密切联系。

病害高发是人参连作障碍的突出表现。研究发现,与新林地土相比,老参地土壤微生物群落结构发生了明显变化,土壤有益微生物数量明显减少,而真菌特别是病原真菌比例明显升高^[5]。大量研究报道,根系分泌物对土壤微生物,特别是对土传病原微生物的生长发育有明显的化感效应^[6,7]。迄今,未见有关人参根系分泌物对人参病原菌化感效应的研究报道。为此,本文在前期开展了大量人参连作障碍相关研究的基础上,研究人参根系分泌物中特定主成分对人参病原菌的化感效应,进而为阐明人参连作障碍形成及作用机理提供有重要参考价值的理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试根系分泌物成分及工作液的制备

采用营养液培养的方法收集的人参根系分泌物经过硅烷化处理后,在GC6890N-MS5973型气相色谱-质谱联用仪上检测,结合质谱数据库NIST05和标准化合物对根系分泌物主成分进行分析和鉴定。供试根系分泌物成分包括苯甲酸(benzoic acid,A)、邻苯二甲酸二异丁酯(1,2-benzenedicarboxylic acid bis(2-methylpropyl) ester,B)、十六酸(hexadecanoic acid,C)和2,2-二(4-羟苯基)丙烷(2,2-bis(4-hydroxyphenyl) propane,D)用于人参致病菌及绿色木霉菌的化感效应研究。

称取苯甲酸,十六酸和2,2-二(4-羟苯基)丙烷各1.25 g,分别用蒸馏水配制浓度为2.5 g/L的母液。准确量取邻苯二甲酸二异丁酯1.25 ml,先用2 ml无水乙醇溶解,再用蒸馏水定容至500 ml,配制成浓度为2.5 g/L的母液。用移液器分别吸取灭菌后的单一化合物或4种化合物等量混合物母液1.0、0.1 ml和0.01 ml

于灭菌的 PDA 培养基中,充分混匀,得化合物或混合物浓度分别为 0.2 g/L(高浓度)、0.02 g/L(中浓度)和 0.002 g/L(低浓度)的 PDA 培养基,用于测试不同单一化合物或混合物对菌落生长的化感效应。用蒸馏水分别将浓度为 2.5 g/L 的化合物母液稀释成 0.4、0.04 g/L 和 0.004 g/L 的工作液,用于测试不同化合物对孢子萌发率的化感效应。

1.2 供试菌种

包括人参立枯丝核菌(*Rhizoctonia solani*)、人参黑斑菌(*Alternaria panax*)、人参疫病菌(*Phytophthora cactorum*)、人参菌核菌(*Sclerotinia schinseng*)、人参锈腐菌(*Cylindrocarpon destructans*)和绿色木霉菌(*Trichoderma viride*)。

1.3 根系分泌物成分对菌落生长的影响

用打孔器从长有人参病原菌及绿色木霉菌的 PDA 培养基上打菌饼($\varnothing=9$ mm),分别接种在含有不同浓度特定化合物的 PDA 培养基上,培养箱中 25℃ 恒温黑暗培养,每天测量 1 次菌落直径,连续测量 4 次,计算 4 次观测值的平均值,计算公式为:菌落生长速率 $V=(\text{菌落直径}-\text{菌饼直径})/(2\times\text{生长天数})$ 。每个处理 3 次重复,以纯 PDA 培养作为对照。

1.4 根系分泌物成分对孢子萌发的影响

采用孢子悬滴萌发法测定孢子萌发率。在凹玻片上分别等量混合 2 μl 孢子菌悬液(1×10^4 cfu/ml)和 3 种不同浓度的特定化合物工作液,使不同处理化合物浓度分别为 0.2 g/L(高浓度)、0.02 g/L(中浓度)和 0.002 g/L(低浓度)。将载有菌悬液的凹玻片倒置于保湿培养皿中,培养箱中 25℃ 恒温黑暗培养,12 h 后记录 10 倍目镜 $\times$ 40 倍物镜视野下 100 个孢子的萌发情况,计算孢子萌发率。每个处理 3 次重复。

1.5 统计分析

试验结果用 Excel 软件(2003 版)进行数据处理,利用 SPSS 11.0 中的单因素方差分析(One-way ANOVA)结合 LSD 法对统计结果进行显著性方差分析。不同处理间不含相同英文字母表示差异显著($P<0.05$),含有相同英文字母表示差异不显著($P>0.05$)。

2 结果与分析

2.1 根系分泌物成分对人参立枯丝核菌菌落生长的影响

苯甲酸、邻苯二甲酸二异丁酯和 2,2-二(4-羟苯基)丙烷浓度与菌落生长速率呈显著负相关。低浓度的苯甲酸对菌落生长有促进作用,中浓度处理菌落生长速率与对照接近,高浓度处理菌落生长速率显著降低。邻苯二甲酸二异丁酯低浓度处理菌落生长速率略高于对照,中、高浓度处理菌落生长速率受到显著抑制。低浓度的 2,2-二(4-羟苯基)丙烷对菌落生长有促进作用,中、高浓度处理菌落生长均被显著抑制。十六酸 3 种浓度处理菌落生长速率均高于对照,且浓度变化对菌落生长无显著影响(图 1)。

2.2 根系分泌物成分对人参黑斑菌菌落生长的影响

除十六酸外,其余三种化合物均对黑斑菌菌落生长有显著影响。苯甲酸低浓度处理菌落生长速率高于对照,中、高浓度时菌落生长速率显著增加,苯甲酸浓度与菌落生长速率呈正相关。邻苯二甲酸二异丁酯和 2,2-二(4-羟苯基)丙烷低浓度处理菌落生长速率高于对照,中、高浓度时菌落生长速率显著降低,二者浓度与菌落生长速率呈负相关。十六酸 3 种不同浓度处理菌落生长速率均高于对照,且浓度变化对菌落生长的影响不显著(图 2)。

2.3 根系分泌物成分对人参菌核菌菌落生长的影响

除十六酸外,其余 3 种化合物均对人参菌核菌菌落生长有显著影响。低浓度处理的苯甲酸菌落生长速率与对照相当,中浓度处理菌落生长速率有所降低,高浓度处理菌落生长受到显著抑制,苯甲酸浓度与菌落生长速率呈负相关。邻苯二甲酸二异丁酯在中、低浓度处理菌落生长速率均高于对照,高浓度处理菌落生长受到显著抑制。十六酸低浓度处理菌落生长速率略高于对照,中、高浓度处理菌落生长速率有所降低,但不显著。2,2-二(4-羟苯基)丙烷低浓度处理菌落生长速率略低于对照,中浓度处理菌落生长速率有所增加,高浓度处

理菌落生长受到显著抑制(图3)。

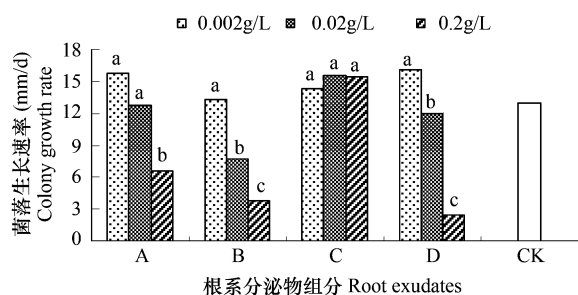


图1 根系分泌物组分对人参立枯丝核菌生长的影响

Fig. 1 Allelopathy of root exudates on the colony growth of *Rhizoctonia solani*

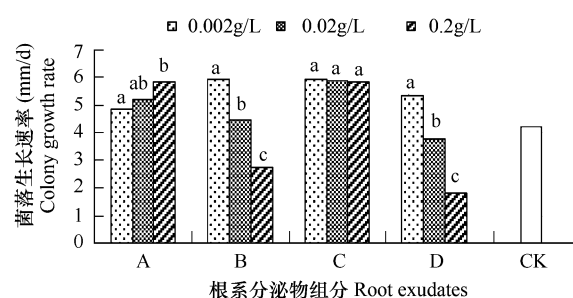


图2 根系分泌物组分对人参黑斑菌生长的影响

Fig. 2 Allelopathy of root exudates on the colony growth of *Alternaria panax*

2.4 根系分泌物成分对人参锈腐菌菌落生长的影响

苯甲酸低浓度处理菌落生长速率高于对照,中浓度处理菌落生长受到明显抑制,中、高浓度处理菌落生长速率无显著差异。邻苯二甲酸二异丁酯低浓度处理菌落生长速率高于对照,中浓度处理明显促进菌落生长,升高浓度时,菌落生长又被显著抑制。十六酸低浓度处理菌落生长速率略低于对照,中、高浓度处理菌落生长被显著促进。2,2-二(4-羟苯基)丙烷低浓度处理菌落生长速率高于对照,中浓度处理菌落生长速率有所升高,但不显著,高浓度处理菌落生长被显著抑制(图4)。

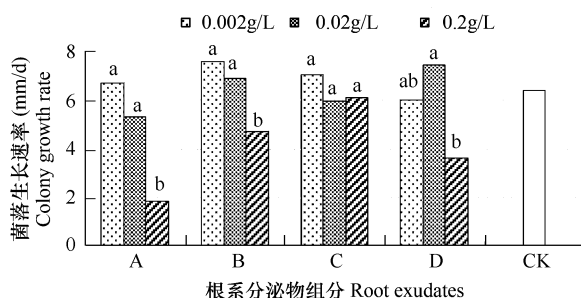


图3 根系分泌物组分对人参菌核菌生长的影响

Fig. 3 Allelopathy of root exudates on the colony growth of *Sclerotinia schinseng*

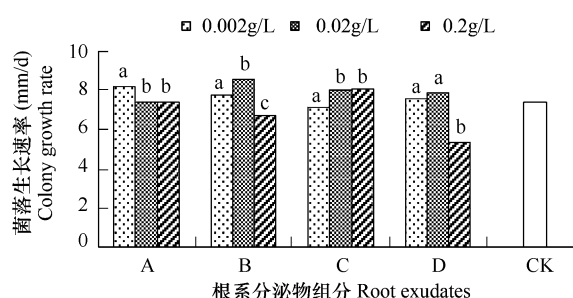


图4 根系分泌物组分对人参锈腐菌生长的影响

Fig. 4 Allelopathy of root exudates on the colony growth of *Cyindrocapon destructans*

2.5 根系分泌物成分对人参疫病菌菌落生长的影响

苯甲酸低浓度处理菌落生长速率略低于对照,中浓度处理菌落生长速率显著提高,高浓度处理菌落生长又被显著抑制。邻苯二甲酸二异丁酯三种浓度处理菌落生长速率均等于或高于对照,且不同浓度处理间菌落生长速率无显著差异。十六酸低浓度处理菌落生长速率低于对照,中浓度处理菌落生长速率有所增加,高浓度处理菌落生长速率与低浓度处理存在显著差异,十六酸浓度与菌落生长速率呈正相关。2,2-二(4-羟苯基)丙烷3种浓度处理菌落生长速率均低于对照水平,且不同处理间存在显著差异,2,2-二(4-羟苯基)丙烷浓度与菌落生长速率呈负相关(图5)。

2.6 根系分泌物成分对木霉菌菌落生长的影响

苯甲酸中、低浓度处理菌落生长速率菌略高于对照,两种处理间无显著差异,高浓度时菌落生长被显著促进,苯甲酸浓度与菌落生长速率呈正相关。邻苯二甲酸二异丁酯低浓度处理菌落生长速率略高于对照,中浓度处理菌落生长速率降低不显著,高浓度处理菌落生长速率显著低于低浓度处理,邻苯二甲酸二异丁酯浓度与菌落生长速率呈负相关。十六酸低浓度处理菌落生长速率高于对照,中浓度处理菌落生长速率升高不显

著, 高浓度处理菌落生长速率显著高于低浓度处理。2,2-二(4-羟苯基)丙烷低浓度处理菌落生长速率与对照相当, 中浓度时菌落生长降低不显著, 高浓度处理菌落生长受到显著抑制(图6)。

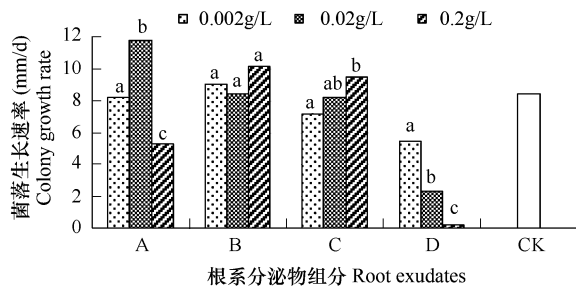


图5 根系分泌物组分对人参疫病菌生长的影响

Fig. 5 Allelopathy of root exudates on the colony growth of *Phytophthora cactorum*

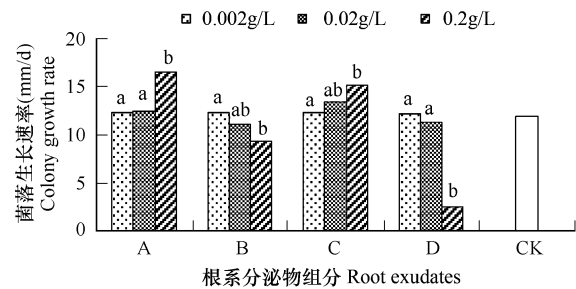


图6 根系分泌物组分对绿色木霉菌生长的影响

Fig. 6 Allelopathy of root exudates on the colony growth of *Trichoderma viride*

2.7 根系分泌物对人参致病菌及木霉菌菌落生长的影响

在4种根系分泌物混合物的共同作用下, 所有6种参试人参致病菌和拮抗绿色木霉菌的菌落生长速率均与混合物的处理浓度呈负相关(图7)。其中, 人参立枯丝核菌、锈腐菌、黑斑菌和菌核菌在低浓度处理的菌落生长速率与对照接近, 人参疫病菌和绿色木霉菌在中、低浓度处理的菌落生长速率均高于对照, 但随着处理浓度的增加, 所有致病菌及木霉菌菌落的生长都受到明显抑制。

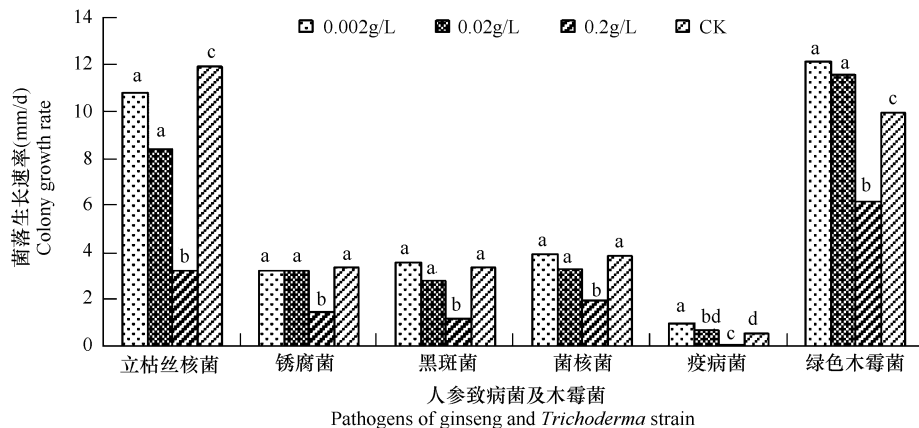


图7 根系分泌物对人参致病菌及木霉菌生长的影响

Fig. 7 Allelopathy of root exudates on the colony growth of pathogens and *Trichoderma* strain of ginseng

2.8 根系分泌物成分对人参黑斑菌孢子萌发的影响

苯甲酸、邻苯二甲酸二异丁酯和2,2-二(4-羟苯基)丙烷浓度与孢子萌发率负相关。苯甲酸低浓度处理黑斑菌孢子萌发率高于对照, 中浓度处理孢子萌发率略低于对照, 与低浓度处理相比显著降低, 高浓度处理孢子萌发率显著低于中浓度处理。邻苯二甲酸二异丁酯低浓度处理孢子萌发率高于对照, 中浓度处理孢子萌发率低于对照, 与低浓度处理相比显著降低, 高浓度处理孢子萌发率显著低于中浓度处理。2,2-二(4-羟苯基)丙烷低浓度处理孢子萌发率略低于对照, 中浓度处理孢子萌发率有所降低, 但不显著, 高浓度处理孢子萌发率显著低于中浓度处理。十六酸低浓度和高浓度处理孢子萌发率与对照接近, 中浓度处理孢子萌发率显著降低(图8)。

2.9 根系分泌物成分对人参锈腐菌孢子萌发的影响

4种化合物均对锈腐菌孢子萌发率有显著影响。苯甲酸低浓度处理孢子萌发率高于对照, 中浓度处理孢

子萌发率略高于对照,相比低浓度处理显著降低,高浓度处理孢子萌发率相比中浓度处理显著降低。邻苯二甲酸二异丁酯低浓度处理孢子萌发率与对照接近,中浓度处理孢子萌发率显著提高,高浓度处理孢子萌发率又显著降低。十六酸在低浓度时,孢子萌发率与对照相当,中浓度处理孢子萌发率显著降低,高浓度处理孢子萌发率显著低于中浓度处理。2,2-二(4-羟苯基)丙烷低浓度处理孢子萌发率明显高于对照,中浓度处理孢子萌发率显著降低,高浓度处理孢子萌发率与中浓度处理无显著差异(图9)。

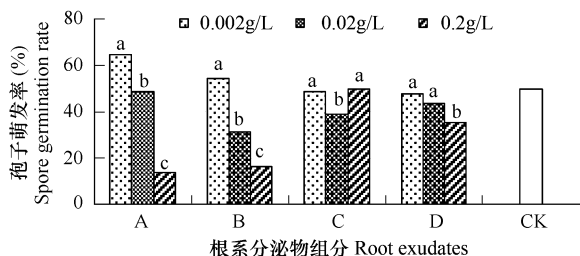


图8 根系分泌物组分对人参黑斑菌孢子萌发的影响

Fig. 8 Allelopathy of root exudates on the conidia germination of *Alternaria panax*

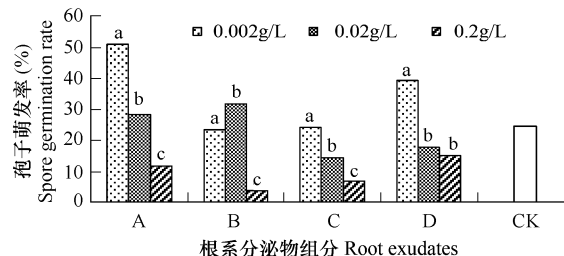


图9 根系分泌物组分对人参锈腐菌孢子萌发的影响

Fig. 9 Allelopathy of root exudates on the conidia germination of *Cyindrocarpon destructans*

3 讨论

连作障碍在农作物、蔬菜及药用植物栽培过程中多有报道。大量研究证实,不同植物连作障碍的产生机理存在普遍性和特殊性。普遍性表现在重茬后植物生长一般会受到不同程度的抑制作用,而且重茬次数越多抑制作用越显著,且重茬植物病害发生情况一般要重于非重茬植物^[8~10]。特殊性表现在不同植物的连作障碍的具体表现存在较大差异,有些以自毒作用为主,有些突出表现为病害高发,有些则是自毒作用和病害共同作用的结果^[11~13]。大量研究发现,根系分泌物中的氨基酸、多糖、脂类等成分能够为土传病原菌生存提供必要的碳源和氮源,对病原菌的繁殖或孢子萌发有明显促进作用,有助于病害的发生及为害程度的加重^[14~17];另外,少数根系分泌物对土传病原菌繁殖或孢子萌发有明显的抑制作用^[18~20]。研究还发现,即使是同种植物,不同基因型间根系分泌物对病原菌的化感效应也存在显著差异^[21~24]。

尽管目前人们对人参连作障碍的产生及作用机理迄今尚不明确,但前人开展的大量研究证实,连作障碍与土壤微生物区系的变化存在必然联系。李世昌等^[1]和郭淑华等^[5]研究发现,栽参后参地土壤不利于细菌、放线菌生长,却有利于真菌的繁殖,其中以镰刀菌的增长最为显著,木霉菌含量反而明显降低。本文在研究根系分泌物对人参病原菌的化感效应时发现,大部分参试根系分泌物在低浓度时对人参致病菌及木霉菌菌落生长及孢子萌发有促进作用,某些化合物甚至在中、高浓度时的促进作用比低浓度处理还显著。另外,陈长宝等^[25,26]研究发现,人参根际土壤中含有抑制人参生长的自毒性物质,其对人参种子萌发、种子酶活性、根系生活力均有影响,并进而从中鉴定出18种化感物质。笔者研究发现,人参根际土和老参地土甲醇浸提物对人参种子胚根及胚轴生长有显著抑制作用,其中含有多被报道具有化感活性的物质,对人参根系分泌物的深入研究证实根际土壤中的化感活性物质主要来自人参根系^[27~29]。综合上述研究结果我们推测,根系分泌物自毒作用和病原菌侵染是导致人参连作障碍产生的两个主要因素,而且重茬人参发病率的普遍升高与根系分泌物对土传病原菌菌落生长及孢子萌发的促进作用有关。

References:

- [1] Li S C, Liu M J, Lu F Y, et al. Effect on the ecological distribution of soil microorganisms and activities of soil enzymes by planting ginseng. *Acta Ecologica Sinica*, 1983, 3(1): 29–34.
- [2] Zhao R F. Study on the develop mechanism of continuous cropping obstacle in ginseng and American ginseng. *Special Wild Economic Animal and Plant Research*, 2001, 1: 40–45.

- [3] Yang L M, Chen C B, Wang X Q, *et al.* Ecological restoration and reused modes of old ginseng land in Changbai Mountainous area and its existing problems. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2004, 26(5): 546—549, 553.
- [4] Li X M, Zhao R F, Zhang Y Y, *et al.* Studies advances on ginseng cultivation using old ginseng soil. *Special Wild Economic Animal and Plant Research*, 1997, 2: 31—33.
- [5] Guo S H, Wang Y X, Geng Y Q, *et al.* Effect on the ecological distribution of soil microorganisms by ginseng-cultivating. *Acta Ecologica Sinica*, 1990, 10(3): 286—287.
- [6] Ju H Y, Han M, Wang S Q, *et al.* 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.
- [7] Yuan H X, Li H L, Wang Y, *et al.* The root exudates of cotton cultivars with the different resistance and their effects on *Verticillium dahliae*. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2002, 32(2): 127—131.
- [8] Zhang C L, Sun Q, Ye Q. Obstacle effect of continuous cropping on *Salvia miltiorrhiza* growth. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 2005, 25(5): 1029—1034.
- [9] Wang F, Wang J G. Study on the effect of continuous cropping on the growth of eggplant seedlings. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2005, 13(1): 79—81.
- [10] Qi Y Z, Zhen W C, Dai L, *et al.* Study on growth and root diseases of different strawberry cultivars from continuous cropping. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2008, 24(6): 374—378.
- [11] Liu H Y, Wang F, Wang Y P, *et al.* The causes and control of continuous cropping barrier in Dihuang (*Rehmannia glutinosa* Li bosch.). *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2006, 21(4): 131—132.
- [12] Guo L P, Huang L Q, Jiang Y X, *et al.* Soil deterioration during cultivation of medicinal plants and ways to prevent it. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2006, 31(9): 714—717.
- [13] Chen Z J, Liang Y L, Zhang F, *et al.* Effect of different crop successions on main diseases development in cucumber under sunlit greenhouse. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2008, 16(1): 71—74.
- [14] Nelson E B. Exudate molecules initiating fungal responses to seeds and roots. *Plant and Soil*, 1990, 129: 61—73.
- [15] Ye S F, Yu J Q, Peng Y H, *et al.* Incidence of Fusarium wilt in *Cucumis sativus* L. is promoted by cinnamic acid, an autotoxin in root exudates. *Plant and Soil*, 2004, 263: 143—150.
- [16] Scheffknecht S, Mammerler R, Steinkellner S, *et al.* Root exudates of mycorrhizal tomato plants exhibit a different effect on microconidia germination of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* than root exudates from non-mycorrhizal tomato plants. *Mycorrhiza*, 2006, 16: 365—370.
- [17] Huang B L, Zhu J X, Xu Y D, *et al.* Promotion of eggplant root exudates and extract on mycelial growth of three soil-borne pathogens. *Jiangsu J. of Agr. Sci.*, 2005, 21(4): 301—305.
- [18] Nóbrega F M, Santos I S, Da Cunha M, *et al.* Antimicrobial proteins from cowpea root exudates: inhibitory activity against *Fusarium oxysporum* and purification of a chitinase-like protein. *Plant and Soil*, 2005, 272: 223—232.
- [19] Wang R H, Zhou B L, Zhang Q F, *et al.* Effects of vanillin and cinnamic acid in root exudates of eggplants on *Verticillium dahliae* etc. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(9): 3152—3155.
- [20] Su S M, Ren L X, Yang X M, *et al.* Identification of the *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* and the effects of rice root exudates on its growth. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2008, 31(1): 57—62.
- [21] Naqvi S M A, Chauhan S K. Effect of root exudates on the spore germination of rhizosphere and rhizoplane mycoflora of chilli (*Capsicum annum* L.) cultivars. *Plant and Soil*, 1980, 55: 397—402.
- [22] Han L M, Ju H Y, Yang Z M. Allelopathy of root exudates from two genotypes soybeans on root rot pathogenic fungi. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(1): 137—141.
- [23] Zhao H, Gu Y, Kong C H. Effect of allelopathic rice (*Oryza sativa* L.) variety on soil microbial communities. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(8): 2770—2773.
- [24] Han X, Pan K, Wu F Z. Effect of root exudates from cucumber cultivars on pathogen of *Fusarium Wilt*. *China Vegetables*, 2006, 5: 13—15.
- [25] Chen C B, Liu J Y, Wang Y Y, *et al.* Allelopathy of ginseng rhizosphere and its effect on germination of seed. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2006, 28(5): 534—537, 541.
- [26] Chen C B, Wang Y Y, Liu J Y, *et al.* The identify for the allelochemical of the soil of ginseng rhizosphere. *Special Wild Economic Animal and Plant Research*, 2006, 2: 12—14.
- [27] Li Y, Zhu D L, Huang X F, *et al.* Inhibition of different soil extracts on growth of ginseng seeds. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2008, 39(7): 1070—1074.
- [28] Li Y, Huang X F, Ding W L, *et al.* Allelopathic effects of soil extracts on the growth of ginseng seeds and its chemical composition. *Ecology and*

Environment, 2008, 17(3): 1173–1178.

- [29] Li Y, Huang X F, Ding W L. Effects of nutrient deficiency on principal components of ginseng root exudates. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(8): 1688–1693.

参考文献:

- [1] 李世昌, 刘梅娟, 卢凤勇, 等. 栽参对土壤微生物生态及土壤酶活性的影响. 生态学报, 1983, 3(1): 29~34.
- [2] 赵日丰. 人参西洋参忌地形成机制. 特产研究, 2001, 1: 40~45.
- [3] 杨利民, 陈长宝, 王秀全, 等. 长白山区参后地生态恢复与再利用模式及其存在的问题. 吉林农业大学学报, 2004, 26(5): 546~549, 553.
- [4] 李晓明, 赵日丰, 张亚玉, 等. 老参地栽参问题的研究进展. 特产研究, 1997, 2: 31~33.
- [5] 郭淑华, 王玉香, 耿运琪, 等. 栽参对土壤微生物生态的影响. 生态学报, 1990, 10(3): 286~287.
- [6] 鞠会艳, 韩丽梅, 王树起, 等. 连作大豆根分泌物对根腐病原菌的化感作用. 应用生态学报, 2002, 13(6): 723~727.
- [7] 袁虹霞, 李洪连, 王烨, 等. 棉花不同抗性品种根系分泌物分析及其对黄萎病菌的影响. 植物病理学报, 2002, 32(2): 127~131.
- [8] 张辰露, 孙群, 叶青. 连作对丹参生长的障碍效应. 西北植物学报, 2005, 25(5): 1029~1034.
- [9] 王芳, 王敬国. 连作对茄子苗期生长的影响研究. 中国生态农业学报, 2005, 13(1): 79~81.
- [10] 齐永志, 甄文超, 代丽, 等. 连作条件下不同品种草莓生长发育和根部病害发生状况的研究. 中国农学通报, 2008, 24(6): 374~378.
- [11] 刘红彦, 王飞, 王永平, 等. 地黄连作障碍因素及解除措施研究. 华北农学报, 2006, 21(4): 131~132.
- [12] 郭兰萍, 黄璐琦, 蒋有绪, 等. 药用植物栽培种植中的土壤环境恶化及防治策略. 中国中药杂志, 2006, 31(9): 714~717.
- [13] 陈志杰, 梁银丽, 张锋, 等. 温室土壤连作对黄瓜主要病害的影响. 中国生态农业学报, 2008, 16(1): 71~74.
- [17] 黄奔立, 朱键鑫, 许云东, 等. 茄根分泌物及其浸提液对3种土传病原菌生长的促进作用. 江苏农业学报, 2005, 21(4): 301~305.
- [19] 王茹华, 周宝利, 张启发, 等. 茄子根系分泌物中香草醛和肉桂酸对黄萎菌的化感效应. 生态学报, 2006, 26(9): 3152~3155.
- [20] 苏世鸣, 任丽轩, 杨兴明, 等. 西瓜专化型尖孢镰刀菌的分离鉴定及水稻根系分泌物对其生长的影响. 南京农业大学学报, 2008, 31(1): 57~62.
- [22] 韩丽梅, 鞠会艳, 杨振明. 两种基因型大豆根分泌物对大豆根腐病菌的化感作用. 应用生态学报, 2005, 16(1): 137~141.
- [23] 赵华, 谷岩, 孔垂华. 水稻化感品种对土壤微生物的影响. 生态学报, 2006, 26(8): 2770~2773.
- [24] 韩雪, 潘凯, 吴凤芝. 不同抗性黄瓜品种根系分泌物对枯萎病原菌的影响. 中国蔬菜, 2006, 5: 13~15.
- [25] 陈长宝, 刘继永, 王艳艳, 等. 人参根际化感作用及其对种子萌发的影响. 吉林农业大学学报, 2006, 28(5): 534~537, 541.
- [26] 陈长宝, 王艳艳, 刘继永, 等. 人参根际土壤中化感物质鉴定. 特产研究, 2006, 2: 12~14.
- [27] 李勇, 朱殿龙, 黄小芳, 等. 不同土壤浸提物对人参种子生长抑制作用的研究. 中草药, 2008, 39(7): 1070~1074.
- [28] 李勇, 黄小芳, 丁万隆, 等. 不同土壤提取物的化感效应及其化学组成. 生态环境, 2008, 17(3): 1173~1178.
- [29] 李勇, 黄小芳, 丁万隆. 营养元素亏缺对人参种子生长根系分泌物主成分的影响. 应用生态学报, 2008, 19(8): 1688~1693.