

嫁接茄根系分泌物与抗黄萎病的关系及其组分分析

周宝利^{1,*}, 尹玉玲¹, 李云鹏², 徐妍¹, 陈绍莉¹, 叶雪凌¹

(1. 沈阳农业大学园艺学院, 沈阳 110161; 2. 黑龙江大学农业资源与环境学院, 哈尔滨 150080)

摘要:探讨了嫁接对茄子土传病害黄萎病抗性的影响,采用浸根法收集茄子根系分泌物,并利用气-质联用技术检测了根系分泌物的组分和含量,测定了茄子根系分泌物及其模拟化感物质对黄萎菌菌丝生长的化感作用,分析嫁接后茄子根系分泌物的组成差异,探讨了嫁接茄抗病性与其根系分泌物成分的关系。结果表明:嫁接使茄子发病率显著降低。土壤黄萎菌数量随发育时期的推进而显著低于自根茄。嫁接茄根系分泌物对黄萎菌菌丝生长有一定的抑制作用。GC-MS 检测结果显示,嫁接换根使茄子根系分泌物的组成成分发生一定的改变,嫁接根系分泌物中检测到了烃类、酯类、醇类、酚类、酮类、苯类和胺类物质,其中苯、醇和胺类在 ZG 中未检测到。但嫁接茄也缺少自根茄中检测到的炔类和菲啉。酚类公认的化感物质含量表现出自根茄大于嫁接茄。模拟物质对黄萎菌菌丝生长的影响表明:邻苯二甲酸二丁酯表现出在 0.05–0.5 mmol·L⁻¹ 浓度范围随浓度增加抑制作用增强,后随浓度增加抑制作用有所减弱。而豆蔻酸和棕榈酸均表现出随浓度增加先促进后抑制黄萎菌菌丝的生长。

关键词:嫁接;茄子;根系分泌物;化感作用;气质联用

Relationship between root exudates of grafted eggplants and *Verticillium* wilt resistance and their components identification

ZHOU Baoli^{1,*}, YIN Yuling¹, LI Yunpeng², XU Yan¹, CHEN Shaoli¹, YE Xueling¹

1 College of Horticulture, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China

2 College of Agricultural Resources and the Environment, Heilongjiang University, Harbin 150080, China

Abstract: Effect of grafting on soil-borne disease (*Verticillium* wilt) resistance of eggplants was studied in this paper. The root exudates of grafted eggplants were collected with root soaking method. Components and contents of root exudates of grafted eggplants were determined by Gas chromatography/mass spectrometry, and the components' variation of root exudates by grafting was analyzed. Effects of root exudates and their simulated allelochemicals on mycelium growth of *Verticillium dahliae* were studied. The relationship between root exudates of grafted eggplants and their resistance to *Verticillium* wilt was discussed. The results showed that grafted eggplants showed a decrease of disease incidence of *Verticillium dahliae*. The amounts of *Verticillium dahliae* in soil were significantly lower in grafted eggplant treatment than in self-rooted eggplant treatment with the development of eggplants. Mycelium growth was also inhibited by the root exudates of grafted eggplants. GC-MS analysis indicated that grafting changed the components of root exudates of eggplants. Hydrocarbon, ester, alcohol, phenol, ketone, benzene and amine were detected in the root exudates of grafted eggplants, while alcohol, benzene and amine were not in the root exudates of self-rooted eggplants. Alkyne and phenanthridine were detected in the root exudates of self-rooted eggplants, but not in grafted eggplants. The content of phenol (a allelochemical) in root exudates was lower in grafted eggplant treatment than in self-rooted eggplant treatment. Effects of simulated root exudates of eggplants on mycelium growth of *Verticillium dahliae* showed that inhibitory effect of dibutyl phthalate on mycelium growth of *Verticillium dahliae* increased at concentrations ranging from 0.05–0.5 mmol·L⁻¹, and reduced at the higher concentration. Inhibitory effects of tetradecanoic acid and hexadecanoic acid exhibited a decrease

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30771469); 国家科技支撑计划重点资助项目(2008BADA6B02); 辽宁省教育厅高等学校创新团队资助项目(2009T087)

收稿日期:2009-04-14; **修订日期:**2009-07-10

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

trend at the lower concentration range and an increase at the higher concentration range.

Key Words: grafting; eggplants; root exudates; allelopathy; GC/MS

根系是连接植物、土壤及土壤微生物的桥梁和纽带,直接或间接地影响土壤微生物包括病原微生物,根系分泌物及其化感活性研究成为当前研究连作障碍问题的热点^[1]。茄子黄萎病是由 *Verticillium dahliae* 引起的土传病害,该菌从根部侵染,通过维管束进入植株,植株感病后叶片发黄严重时干枯脱落,黄萎菌以微菌核的形式越冬,能够在土壤中长期存活,防治难度大,是茄子重要病害之一。随着蔬菜专业化生产和设施栽培的发展,茄子连作障碍加剧,黄萎病发生有越来越早的趋势,而且病害加重,严重影响茄子的正常产量。嫁接作为克服茄子连作障碍的一种有效的技术措施,已经在生产上广泛应用,防治黄萎病效果达到 90% 以上^[2]。关于嫁接抗病机理的报道有很多,周宝利等^[3] 和王茹华等^[4] 从植株的组织结构、生理生化特性等方面对茄子嫁接抗病机理进行了研究,周宝利等^[5],王茹华等^[6-7] 和张凤丽等^[8] 又研究了嫁接对茄子根系分泌物中氨基酸和酚酸种类和含量的影响及它们对黄萎菌的化感作用,而植物根系分泌物中还普遍存在着酮类、酯类、脂肪族醛和有机酸等化感活性物质^[9]。那么嫁接换根也必然会对茄子根系分泌物中的其它化感活性物质产生影响,目前还未见这方面的研究报道,而嫁接后茄子根系分泌物组成成分的鉴定及活性物质的差异分析对深入研究嫁接抗病增产机制起着尤为关键的作用。因此,本试验以野生茄子托鲁巴姆为砧木嫁接茄子,探讨了嫁接对茄子黄萎病抗性的影响及其根系分泌物对黄萎菌的化感作用,并采用气质联用技术对嫁接茄子根系分泌物的成分进行检测分析,明确嫁接换根对茄子根系分泌物活性物质组成的影响,采用模拟物质的生物测定方法,阐明嫁接茄根系分泌物与抗病性的关系,旨在以此为切入点,进一步研究茄子嫁接抗病增产机理。

1 材料与方法

1.1 实验材料

嫁接茄砧木为托鲁巴姆 (*Solanum torvum*),接穗为西安绿茄,采用劈接法嫁接;种子均由沈阳农业大学园艺学院提供。试验设嫁接苗(JJ)和西安绿茄自根苗(ZG)两处理。

1.2 实验方法

2008 年于沈阳农业大学蔬菜基地进行。2008 年 1 月 18 日播种野生茄子托鲁巴姆砧木,2 月 13 日播种接穗,3 月 20 日采用劈接法嫁接。嫁接后常规管理,待嫁接苗成活后,一部分苗定植于温室连作土壤中进行田间病情调查和黄萎菌分离,一部分转入盛有基质(草炭:蛭石=2:1)的黑钵中栽培供根系分泌物的收集。每处理 10 盆,每盆一株,随机排列,10 次重复。

1.2.1 田间黄萎菌发病情况及土壤黄萎菌数量调查

在自根茄田间开始发病后,对嫁接茄进行病情指数和发病率调查,每 12 d 调查 1 次,共调查 5 次,黄萎病的病情指数参照周宝利等^[10] 的标准分级。采用土壤水筛法及 PDA 改良培养基^[11],每隔约 35d 分离 1 次茄子土壤黄萎菌,共分离 3 次。

1.2.2 根系分泌物的收集与处理

5 月 25 日,采用浸根法收集茄子根系分泌物:将茄苗从基质中取出,先后用清水和蒸馏水充分清洗附着在根系上的基质,后将根系放入盛有蒸馏水(水量浸没根部)并包有黑塑料布的烧杯中,室温下连续通气培养 5h 后收集,连续收集 3 次,分别合并各处理收集液,5 次重复,然后过滤并于 28℃ 下旋转蒸发浓缩至 50mL,再与等体积无水乙醚混合,经分液漏斗分离,收集乙醚层,水相再用等体积无水乙醚萃取,重复 2 次,合并 3 次乙醚层,经无水 Na_2SO_4 干燥后于通风橱中自然蒸发至 1.0mL,供 GC-MS 分析测试用。

1.2.3 GC-MS 分析

气相色谱-质谱仪(6890GC/5973MSD)为 Agilent 公司,色谱柱 HP-5MS,毛细管柱 30m × 0.32mm,0.25 μm (滤膜)。程序升温柱温 60℃,以 10℃/min 升至 140℃,保持 2min,再以 15℃/min 升至 220℃,保持 2min,再

以 20℃/min 升至 240℃,保持 10min。进样口温度 220℃,载气 He,流速 1mL/min;进样量为 1μL。

质谱条件:电离方式 EI,电子能量 70eV,离子源温度 230℃,四极杆温度 150℃,全扫描方式,扫描范围 30—600m/z。通过谱图库 NIST98 检索确定化合物。采用归一法计算各种成分的相对含量。

1.2.4 根系分泌物对黄萎菌菌丝生长测定

制备 PDA 培养基,根系分泌物用细菌过滤器过滤,并在倒 PDA 平板前按培养基体积 1/4 比例加入到培养基中摇匀,每皿接 3 个直径为 0.6 cm 的菌片,每处理重复 3 皿,于 25℃ 温箱内培养 3 d 后测定菌落直径,连续测定 5 次。

1.2.5 模拟化感物质对黄萎菌菌丝生长测定

模拟在 GC-MS 中鉴定出的茄子根系分泌物成分邻苯二甲酸二丁酯、棕榈酸和豆蔻酸均购自上海化学试剂公司,测定 3 种物质对黄萎菌菌丝生长的影响,均设定 5 个浓度,分别是邻苯二甲酸二丁酯为 0.05、0.1、0.5、1mmol·L⁻¹和 4mmol·L⁻¹;棕榈酸和肉豆蔻酸都为 0.05、0.5、1、2mmol·L⁻¹和 5mmol·L⁻¹,浓度由低到高均用 A、B、C、D 和 E 表示。按浓度比例加入到培养基中,每皿接 1 个直径为 0.6 cm 的菌片,每处理重复 4 皿,于 25℃ 温箱内培养 3—4d 后,测定菌落直径。

均以蒸馏水为对照。参照 Williamson^[12]的方法,采用化感作用效应指数(RI)表示根系分泌物对黄萎病菌菌丝生长的化感效应,其中,C 为蒸馏水处理值,T 为根系分泌物处理值,RI 为化感作用效应,RI>0 为促进作用,RI<0 为抑制作用,绝对值大小与作用强度一致。用 DPS(7.05)对 RI 值数据进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 嫁接对茄子抗黄萎病效果的影响

由表 1 可知,JJ 抗病效果明显,其病情指数和发病率均显著低于对照,病情指数增加幅度较对照小且表现出发病晚的特点,说明嫁接在减少发病率的同时还通过减轻发病严重程度达到抗病的效果。

2.2 嫁接对茄子土壤黄萎菌数量的影响

由表 2 可见,JJ 和 ZG 茄子土壤黄萎菌数量随种植时间的增加均表现为逐渐增加的趋势,但 JJ 处理各时期黄萎菌数量均显著低于 ZG,JJ 土壤黄萎菌数量增幅也小于 ZG,说明嫁接一定程度地抑制了茄子黄萎菌在土壤中的增殖,从而提高了茄子对黄萎病的抗性。

2.3 嫁接茄根系分泌物对黄萎菌菌落生长的影响

通过化感作用指数反映茄子根系分泌物对黄萎菌生长的促进或抑制的效果。由表 3 可以看出,在培养期间,JJ 一定程度地抑制了黄萎菌菌丝生长,ZG 促进了黄萎菌菌丝的生长。在培养到第 3 天时,JJ 对黄萎菌菌丝的生长的化感效应指数为负,即呈现出了抑制作用,而 ZG 则呈现出促进作用,JJ 与 ZG 差异达到极显著水平,培养到第 7 天时,两者均抑制了黄萎菌菌丝的生长,而抑制作用表现出 JJ>ZG。

2.4 嫁接对茄子根系分泌物组分的影响

由表 4 可见,嫁接后茄子根系分泌物的生化组成发生了较大变化,JJ 根系分泌物中新增了苯类、醇类、胺类和酯类中的邻苯二甲酸二异壬酯等物质。而酯类和

表 1 嫁接对茄子抗黄萎病效果的影响

Table 1 Resistance effect of grafted eggplant on *Verticillium wilt*

日期 Date	处理 Treatment	病情指数 Disease index	发病率 Disease incidence
06-14	JJ	0.00 aA	0.00 aA
	ZG	0.56 bB	2.22 bB
06-26	JJ	0.30 aA	1.19 aA
	ZG	4.76 bB	9.52 bB
07-08	JJ	0.60 aA	2.38 aA
	ZG	11.31 bB	26.19 bB
07-20	JJ	2.08 aA	5.95 aA
	ZG	36.16 bB	53.57 bB
08-01	JJ	2.38 aA	8.33 aA
	ZG	50.89 bB	67.85 bB

小写和大写字母分别表示处理之间存在 $P=0.05$ 和 $P=0.01$ 水平显著性差异

表 2 嫁接对茄子土壤黄萎菌数量的影响

Table 2 Effect of grafting on amount of *Verticillium dahliae* in soil of eggplants

时期 Date	处理 Treatment	黄萎菌/(个·g ⁻¹) <i>Verticillium dahliae</i>
06-19	JJ	6.1 aA
	ZG	10.6 bB
07-30	JJ	9.8 aA
	ZG	21.6 bB
08-30	JJ	20.2 aA
	ZG	35.3 bB

a 和 A 分别表示处理之间存在 $P=0.05$ 和 $P=0.01$ 水平显著性差异

酮类物质的相对含量, JJ 也较 ZG 增加, 其中包括邻苯二甲酸二丁酯、邻苯二甲酸二异丁酯和棕榈酸酯等物质, 邻苯二甲酸二丁酯的相对含量占总分泌物的 13.55%。邻苯二甲酸等衍生物已作为根系分泌物中的化感物质被广泛研究。嫁接也使茄子根系分泌物减少或缺少了酚类和炔类等物质, 其中酚类是被公认的化感自毒物质。总之, 嫁接后茄子根系分泌物的组成成分发生了变化, 这些变化可能与嫁接茄的抗病性有一定的关系。

表 3 嫁接茄根系分泌物对黄萎菌菌丝生长的影响/*RI*

Table 3 Effect of root exudates from grafted eggplants at different growth stages on mycelium growth/*RI*

处理 Treatment	化感效应指数 Allelopathy index <i>RI</i>				
	3 d	4 d	5 d	6 d	7 d
JJ	-0.0085bB	0.0139 aA	0.0183 aA	0.065 aA	-0.0185 aA
ZG	0.0099aA	0.0263 aA	0.0076 aA	0.0019 aA	-0.0145 aA

小写和大写字母分别表示处理之间存在 $P=0.05$ 和 $P=0.01$ 水平显著性差异

表 4 嫁接对茄子根系分泌物组分的影响

Table 4 Grafting on compounds from the root exudates of eggplants

物质类别 Sort of compounds	化合物 Compound	JJ	ZG
1 烃类 Hydrocarbon	长链烷烃 straight chain alkyl	67.6	75.15
	4,4-二丙基-庚烷 4,4-Dipropylheptane	64.82	72.47
	3,8-二甲基癸烷 3,8-dimethyl-Decane	0.10	
	二甲氧基二甲基硅烷 dimethoxydimethyl-Silane	0.18	0.38
	二乙氧基甲烷 diethoxy-Methane		0.73
	溴十八烷 (有机合成中间体) 1-bromo-Octadecane	0.03	
	1,2-二甲氧基丙烷 1,2-dimethoxy-Propane		1.57
	1,2-二乙氧基乙烷 1,2-diethoxy-Ethane	0.85	
	环十五烷 Cyclopentadecane	0.94	
	烯烃 alkene	1.11	3.76
2 酯类 Ester		27.54	15.69
	邻苯二甲酸二丁酯 Dibutyl phthalate	13.55	6.80
	邻苯二甲酸二辛酯 Bis(2-ethylhexyl) phthalate		2.19
	邻苯二甲酸二异壬酯 1,2-Benzenedicarboxylic acid, diisononyl ester	0.76	
	邻苯二甲酸二异丁酯 Diisobutyl phthalate	1.87	1.45
	乙二酸二乙酯 Ethanedioic acid, diethyl ester	0.06	
	棕榈酸异丙酯 (IPP) Isopropyl Palmitate	4.77	2.30
	肉豆蔻酸酯 Tetradecanoic acid, trimethylsilyl ester	6.53	2.95
3 酚类 Phenol		1.57	3.86
	2,4-二叔丁基苯酚 2,4-bis(1,1-dimethylethyl)-Phenol	1.57	3.86
4 醇类 Acohol		1.15	0.00
	2-(十二烷基)乙醇 2-(dodecyloxy)-Ethanol	0.35	
	2-乙氧基乙醇 2-ethoxy-Ethanol	0.03	
	1-十八硫醇 1-Octadecanethiol	0.77	
5 酮类 Ketone		1.69	0.92
	3,3,5-三甲基环己酮 3,3,5-trimethyl-Cyclohexanone	1.69	0.92
6 炔类 Alkyne		0.00	2.00
	1,4-双(三甲基甲硅烷基)-1,3-丁二炔 1,4-Bis(trimethylsilyl)butadiyne		2.00
7 苯类 Benzene		0.45	0.00
	2,7-二甲基萘 2,7-dimethyl-Naphthalene	0.19	
	1,6-二甲基萘 1,6-dimethyl-Naphthalene	0.26	
8. 胺类 Amine		0.65	0.00
	羟胺 O-decyl-Hydroxylamine	0.65	
9 其他		0.00	0.62
	菲啉 Phenanthridine		0.62

2.5 3 种模拟化感物质对黄萎菌菌丝生长的影响

由表 5 可见,3 种模拟化感物质对黄萎菌菌丝生长均表现出了一定的抑制作用。邻苯二甲酸二丁酯表现出在一定浓度范围随浓度增加抑制作用增强,后随浓度增加抑制作用有所减弱。而豆蔻酸和棕榈酸均表现出随浓度增加先促进后抑制黄萎菌菌丝的生长,两者抑制效果相差不多。说明化感物质的作用效果与其浓度有很大关系。

表 5 3 种模拟化感物质对黄萎菌菌丝生长的影响
Table 5 Effecto of three simulated allelochemicals to mycelium growth of *Verticillium dahliae*

浓度 Concentration/(mmol·L ⁻¹)	化感效应指数 Allelopathy index		
	邻苯二甲酸二丁酯	豆蔻酸	棕榈酸
A	0.053aA	-0.11226 cAB	-0.0639 abA
B	-0.029bB	-0.09499 bcAB	-0.04836 abA
C	-0.094cC	-0.019 abA	-0.04663 abA
D	-0.093cC	-0.08117 abcAB	-0.08117 bAB
E	-0.054bBC	-0.15026 cB	-0.15717 cB

3 讨论

嫁接换根后显著降低了茄子黄萎病的病情指数和发病率,且嫁接茄土壤中黄萎菌数量也显著减少。而植物根系是连接植株与土壤的纽带,除从土壤中吸收矿质营养和水分外,根系代谢向土壤中释放大量的分泌物,这些物质对植物根际其他有机体的生长和发育具有明显的影响^[13]。那么可以推断嫁接茄根系分泌物对黄萎菌生长有一定化感抑制作用,而这种作用是由于嫁接换根使得茄子根系分泌物中的活性成分物质变化引起的。对嫁接茄根系分泌物的室内抑菌试验及其成分的鉴定证明了这一点,嫁接换根使得茄子根系分泌物成分发生一定的变化,从而抑制了土壤黄萎菌生长,由此嫁接茄表现出抗病的特点。

作物抗性的差异可以通过根系分泌物的化感作用反映出来的。黄奔立等^[14]和吴玉香等^[15]研究感病品种根系分泌物促进病原菌的生长,而抗病品种和黑籽南瓜根系分泌物则抑制了病菌生长。本试验的嫁接茄根系分泌物较自根茄一定程度抑制了黄萎菌菌丝生长,与其研究结果相一致。

很多学者对作物根系分泌物的组分进行了检测研究,检测手段常采用气相色谱质谱联用技术。张汝民等^[16]发现梭梭幼苗根系分泌物对寄生植物肉苁蓉种子萌发有抑制作用,在对梭梭幼苗根系分泌物中的化合物组分检测后发现其成分 2,5-二羟基对苯醌、2,6-二正丁基对苯醌和 2,6-二正丁基苯酚与对寄生植物肉苁蓉种子萌发有抑制作用的 2,6-二甲氧基-对-苯醌有相似的结构。有关文献报道,邻苯二甲酸、苯甲酸的衍生物、直链醇、稀醇、脂肪醛、酮、苯、酚、烃类及其衍生物等低分子有机化合物是常见报道的根系分泌物,而且这些物质对很多植物具有化感作用,被认为是化感物质^[9,17]。本试验也采用气质联用技术在嫁接和自根茄根系分泌物中检测到酯、酚、酮、苯、长链烃等物质,而且嫁接增加了茄子根系分泌物中的邻苯二甲酸二丁酯的相对含量,其含量占总酯类的 83.44%。嫁接茄与自根茄根系分泌物的脂肪酸酯类差异较大,Macías^[18]认为最具化感潜力的次生代谢物质为萜类和脂肪酸(作用浓度为 2.5×10^{-8} — 10^{-2} mol/L,而不是习惯上认为的酚酸、醌或生物碱。作为一类潜在的化感物质,它们一般要在较高的浓度下起化感作用,也可能在环境作用下通过水解形成酸类物质而起作用。各处理中检测到的长链烃种类均较多,陈秋波等在分析桉树根及土壤中的化感物质时发现长链烃类较多,认为其中的鲸蜡烷可能是来自树根中十六酸的还原产物,其分子量较小,结构也较简单,但化感作用较强^[19]。本研究发现嫁接使得茄子减少或缺少了自根茄的酚类和炔类等物质,与陈绍莉等人^[20]研究的嫁接调控根系分泌物中酚类含量变化的结果相一致。

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^[21-22];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^[23]。李勇等研究发现人参(*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- α -(4-羟基苯基)丙烷对人参致病菌及绿色木霉的化感效应与对土传病害抗性有一定关系^[24]。还有研究表明脂肪酸类物质在一定浓度范围对黄瓜和番茄的病原菌菌丝生长有抑制作用^[25]。通过对嫁接茄与自根茄根系分泌物成分差异分析,选出 3 个差异性大的化感物质,3 模拟化感物质对黄萎菌菌丝生长均表现出了一定的抑制作用。而豆蔻酸和棕榈酸表现出在高浓度范围较强的抑菌效果。说明嫁接后这些化感物质的增加与其抗病性有一定关系。而孔垂华等^[26]研究认为酚酸和脂肪酸类物质不是水稻的直接根分泌物,而是由糖甙类化感分子转化而来。虽然其抑菌机理还不是很清楚,但许多电镜观察表明脂肪酸可以被病原物内吞入胞质中,从而造成细胞质紊乱,细胞膜瓦解,蛋白质合成受阻等一系列效应^[27]。总之,嫁接提高茄子抗病性与其根系分泌物的变化有一定关系。

References:

- [1] Song H K, Ahn J K, Ahmad A. Identification of allelochemicals in rice root exudates at various phenological phases and their influence on barnyardgrass. *Allelopathy Journal*, 2004, 13(2):173-188.
- [2] Zhou B L, Jiang H. The progress on cultural effect and disease resistance and increase yield mechanism of grafted eggplants. *China Vegetables*, 2001, 4: 52-54.
- [3] Zhou B L, Lin G R, Gu Y W. Study on the relationship between disease resistance and increase yield effect and POD activity in grafted eggplants. *Horticulture Research Progress (II)* NanJing: Southeast University Press, 1998: 425-428.
- [4] Wang R H, Zhou B L, Zhang Q F, Zhang F L, Fu Y W. Effects of grafting on rhizosphere microbial populations of eggplants. *Acta Horticulturae Sinica*, 2005, 32(1):124-126.
- [5] Zhou B L, Jiang H, Zhao X. Resistance characterization on *Verticillium* wilt in different stock of grafted eggplants and the relationship with their root exudates. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2001, 32(6):414-417.
- [6] Wang R H, Zhou B L, Zhang Q F, Lian H, Fu Y W. Effects of vanillin and cinnamic acid in root exudates of eggplants on *Verticillium dahliae* etc. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(9):3152-3155.
- [7] Wang R H, Zhou B L, Zhang F L, Zhang Q F. Allelopathic effects of root extracts of eggplants on *Verticillium* wilt (*Verticillium dahliae*). *Allelopathy Journal*, 2005, 15(1):75-78.
- [8] Zhang F L, Zhou B L, Wang R H, He Y. Allelopathic effects of grafted eggplant root exudates. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(4):750-753.
- [9] Yan F, Yang Z M, Han L M. Review on research methods for allelopathy and allelochemicals in plant. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(4):692-696.
- [10] Zhou B L, Gao Y X, Lin G R, Fu Y W. Relationship between disease resistance and electrolytic leakage, proline content and PAL activity in grafted eggplant. *Acta Horticulturae Sinica*, 1998, 25(3):300-302.
- [11] Jia T, Yang J R. A new selective medium to simplify isolate *Verticillium dahliae* in cotton from naturally infested soil. *Cotton Science*, 2005, 17(3):151-154.
- [12] Williamson G B. Bioassay for allelopathy: Measuring treatment responses with independent controls. *Journal of Chemistry Ecology*, 1988, 14(1):181-187.
- [13] Bais H P, Weir T I, Perry L G. The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. *Annual Review of Plant Biology*, 2006, 57:233-266.
- [14] Huang B L, Xu Y D, Wu Y, Zhang S Q, Chen X H. Effects of root exudates from cucumber and squash on *Fusarium* wilt occurrence. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(3):559-563.
- [15] Wu Y X, Shen X J, Fang W P, Jin K Y, Zhu S J. The effects of cotton root exudates on growth and development of *Verticillium dahliae*. *Cotton Science*, 2007, 19(4):286-290.
- [16] Zhang R M, Zhang D, Bai J, Chen H W, Gao Y. Constituents in root secretions of *Haloxylon ammodendron* (C. A. Mey.) Bunge seedlings at different ages. *Acta Botanica Boreali-Occident. Sinica*, 2006, 26(10):2150-2154.
- [17] Litjerot E, Bath E, Mathisson I. Root exudation and rhizoplane bacterial abundance of barley in relation to nitrogen fertilization and root growth. *Plant and Soil*, 1984, 16(4):315-322.
- [18] Macías F A. Allelopathy in the search for natural herbicide models//*Allelopathy*: Inderjit, K. M. M. Dakshini, F. A. Einhellig eds. *Organisms, Processes, and Applications*. ACS Symposium Series, American Chemical Society, Washington, DC. 1995, 582:310-329.
- [19] Chen Q B, Peng L X, He L M, Xie D F, Feng X P. Allelopathic Substances in root and rhizosphere-soil of *Eucalyptus* 12ABL. *Chinese Journal*

- of Tropical Agriculture, 2002, 22(4):28-34.
- [20] Chen S L, Zhou B L, Wang R H, Fu Y W. Regulation effects of grafting on cinnamic acid and vanillin in eggplant root exudates. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(11):2394-2399.
- [21] 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 autotoxin in root exudates. Plant and Soil, 2004, 263:143-150.
- [22] Seheffknecht S, Mammerler R, Steinkellner S, Vierheilig H. 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.
- [23] Nóbrega F M, Santos I S, Da Cunha M, Carvalho A O, Gomes V M. 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.
- [24] Li Y, Liu S L, Huang X F, Ding W L. Allelopathy of ginseng root exudates on pathogens of ginseng. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(1):161-168.
- [25] Li J, Ruan W B, Chen Y Z, Xu H, Liu S Y, Wu J B, Zheng L B, Gao Y B. Effects of natural fatty acids on the growth of cucumber (*Cucumis sativus* L.) and tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) seedlings in the continuously mono-cropped soil in greenhouse. Journal of Agro-Environment Science, 2008, 27(3):1022-1028.
- [26] Kong C H, Xu X H, Hu F, Chen X H, Lin B, Tan Z W. Using specific secondary metabolites as markers to evaluate allelopathic potentials of rice varieties and individual plants. Chinese Science Bulletin, 2002, 47(3):203-206.
- [27] Rayan P, Stenzel D, McDonnell P A. The effects of saturated fatty acids on *Giardia duodenalis* trophozoites in vitro. Parasitol Research, 2005, 97:191-200.

参考文献:

- [2] 周宝利, 姜荷. 茄子嫁接栽培效果和抗病增产机制的研究进展. 中国蔬菜, 2001, 4:52-54.
- [3] 周宝利, 林桂荣, 付亚文. 嫁接茄子防病增产效果与 PPO、SOD、EST 同工酶关系的研究//侯喜林, 常有宏. 园艺学进展(II). 南京:东南大学出版社, 1998, 425-428.
- [4] 王茹华, 周宝利, 张启发, 付亚文. 茄子/番茄嫁接植株的生理特性及其对黄萎病的抗性. 植物生理学通讯, 2003, 39(4):330-332.
- [5] 周宝利, 姜荷, 赵鑫. 不同砧木嫁接茄子抗黄萎病特性及其与根系分泌物关系. 沈阳农业大学学报, 2001, 32(6):414-417.
- [6] 王茹华, 周宝利, 张启发, 廉华, 付亚文. 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.
- [8] 张凤丽, 周宝利, 王茹华, 何雨. 嫁接茄子根系分泌物的化感效应. 应用生态学报, 2005, 16(4):750-753.
- [9] 阎飞, 杨振明, 韩丽梅. 植物化感作用及其作用物的研究. 生态学报, 2000, 20(4):692-696.
- [10] 周宝利, 高艳新, 林桂荣, 付亚文. 嫁接茄子抗病性与电导率、脯氨酸含量及苯丙氨酸解氨酶活性的关系. 园艺学报, 1998, 25(3):300-302.
- [11] 贾涛, 杨家荣. 一种简便分离土壤棉花黄萎病菌的选择性培养基. 棉花学报, 2005, 17(3):151-154.
- [14] 黄奔立, 许云东, 伍烨, 张顺琦, 陈学好. 两个不同抗性黄瓜品种和云南黑籽南瓜根系分泌物对黄瓜枯萎病发生的影响. 应用生态学报, 2007, 18(3):559-563.
- [15] 吴玉香, 沈晓佳, 房卫平, 金奎英, 祝水金. 陆地棉根系分泌物对黄萎病菌生长发育的影响. 棉花学报, 2007, 19(4):286-290.
- [16] 张汝民, 张丹, 白静, 陈宏伟, 高岩. 不同苗龄梭梭根系分泌物组分分析. 西北植物学报, 2006, 26(10):2150-2154.
- [19] 陈秋波, 彭黎旭, 贺利民, 谢德芳, 冯信平. 刚果 12 号桉树根及根际土壤中化感物质的成分分析. 热带农业科学, 2002, 22(4):28-34.
- [20] 陈绍莉, 周宝利, 王茹华, 付亚文. 嫁接对茄子根系分泌物中肉桂酸和香草醛的调节效应. 应用生态学报, 2008, 19(11):2394-2399.
- [24] 李勇, 刘时轮, 黄小芳, 丁万隆. 人参(*Panax ginseng*)根系分泌物成分对人参致病菌的化感效应. 生态学报, 2009, 29(1):161-168.
- [25] 李晶, 阮维斌, 陈永智, 许华, 刘思蕴, 吴建波, 郑连斌, 高玉葆. 天然脂肪酸类物质对温室连作黄瓜和番茄幼苗生长的影响. 农业环境科学学报, 2008, 27(3):1022-1028.
- [26] 孔垂华, 徐效华, 胡飞, 陈雄辉, 凌冰, 谭中文. 以特征次生物质为标记评价水稻品种及单植株的化感潜力. 科学通报, 2002, 47(3):203-206.