

化感物质己二酸二异丁酯对茄子黄萎病及幼苗生长的效应

刘 娜¹, 周宝利^{1*}, 李轶修¹, 张 健¹, 陈 丰¹, 贾 倩¹, 鲁 博²

(¹沈阳农业大学园艺学院, 沈阳 110161; ²上海市农业科学院农业科技信息研究所, 上海 201106)

摘 要: 采用模拟的方法, 研究了化感物质己二酸二异丁酯对茄子黄萎菌及茄子种子萌发、幼苗生长的效应。结果表明, 己二酸二异丁酯在黄萎菌培养的前阶段极显著地抑制了菌丝的生长, 培养 7 d 时, $1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的抑制作用最大。田间抗病试验结果表明, 各浓度己二酸二异丁酯均提高了茄子幼苗对黄萎病的抗性, 其中以 $0.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理最好。己二酸二异丁酯低浓度时促进了茄子种子的萌发, 增加了幼苗的株高、茎粗、地上和地下部干鲜质量、叶绿素含量和根系活力, 而随着浓度增大, 促进作用减弱或者表现出抑制作用。低浓度的己二酸二异丁酯对叶片丙二醛 (MDA) 含量和细胞膜相对透性起化感抑制作用, 并随浓度增加作用强度增大; 但浓度增至 $1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 表现化感促进作用。

关键词: 茄子; 根系分泌物; 化感作用; 黄萎菌

中图分类号: S 641.1 文献标识码: A 文章编号: 0513-353X (2009) 07-1065-06

Allelopathy of Hexanedioic Acid, Bis (2-methylpropyl) Ester to Verticillium Wilt (*Verticillium dahliae*) and Eggplant Seedling Growth

LIU Na¹, ZHOU Bao-li^{1*}, LI Yi-xiu¹, ZHANG Jian¹, CHEN Feng¹, JIA Qian¹, and LU Bo²

(¹College of Horticulture, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China; ²The Information Research Institute, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201106, China)

Abstract: Allelopathy of hexanedioic acid, bis (2-methylpropyl) ester exuded by grafted eggplant roots to Verticillium wilt (*Verticillium dahliae*) and seedling growth was studied by using simulative method. The results showed that hexanedioic acid, bis (2-methylpropyl) ester had a significant suppression to the mycelium growth in early stage during culturing *Verticillium dahliae*. When the mycelium growing to 7 d, $1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ had the best inhibitory effect. The results of field investigation indicated that hexanedioic acid, bis (2-methylpropyl) ester enhanced the disease resistance of eggplants at all the concentrations and the best effect presented in $0.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ treatment. Hexanedioic acid, bis (2-methylpropyl) ester exhibited allelopathic promotion at a low concentration and allelopathic inhibition at a high concentration on eggplant seed germination, seedling growth. While the MDA content and relative electricity conductivity were inhibited by hexanedioic acid, bis (2-methylpropyl) ester at a low concentration, and the inhibitory rates were enhanced with the increasing concentration. Up to $1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, hexanedioic acid, bis (2-methylpropyl) ester presented allelopathic promotion.

Key words: eggplant; root exudate; allelopathy; Verticillium wilt

茄子黄萎病是由 *Verticillium dahliae* 引起的茄子典型土传病害, 在我国普遍发生, 一般发病后产量损失 20% ~ 30%, 严重时损失达到 60%。嫁接是预防茄子黄萎病, 克服连作障碍简单有效的技术

收稿日期: 2008 - 12 - 30; 修回日期: 2009 - 04 - 30

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30771469); ‘十一五’ 国家科技支撑计划重点项目 (2008BADA6B02); 国家 ‘863’ 计划项目 (2004AA247010); 辽宁省教育厅高等学校创新团队项目 (2006TI18)

* 通讯作者 Author for correspondence (E-mail: zblaaa@163.com)

措施。目前,人们采用野生茄子品种和抗病番茄品种作为砧木进行嫁接,并取得了理想的抗病效果。许多研究表明,以番茄为砧木嫁接茄子后,嫁接植株与自根茄相比田间表现出明显的抗病性 (Ginaux & Douple, 1985; 王茹华等, 2003; 刘玉石和丁九敏, 2006)。茄子/番茄嫁接植株的根系分泌物对茄子黄萎病菌有较强的化感抑制作用 (Wang et al, 2005)。在进一步对茄子/番茄嫁接植株和自根茄子根系分泌物中的成分进行 GC-MS检测后发现,茄子与番茄嫁接后嫁接植株根系分泌物中物质的种类和相对含量发生了一定程度的变化,成分上的这种变化与生产中嫁接抗病有关;嫁接后,植株根系分泌物中脂肪酸酯类物质的相对含量增加 (刘娜等, 2008)。脂肪酸及其衍生物在自然界中广泛存在,是一类潜在的化感物质。近几年许多研究证明脂肪酸酯类物质是植物源物质,并在很多植物的根系分泌物中检测出来 (Tran et al, 2006)。有报道,油菜 (杨瑞吉和牛俊义, 2006)、玉米 (柴强和冯福学, 2007)、大豆 (韩丽梅等, 2003)、辣椒 (侯永侠等, 2007) 的根系分泌物中均分离鉴定出该类物质。但是,有关此类物质化感作用方面的报道还不是很多。嫁接茄子根系分泌物中含量最多的脂肪酸酯类物质对其自身和黄萎病的化感效应还有待于进一步研究。作者是在过去以番茄为砧木,茄子为接穗采用劈接法嫁接后,对嫁接植株根系分泌物成分全面检测基础上 (刘娜等, 2008),选取其中相对丰度较高的己二酸二异丁酯 [Hexanedioic acid, bis (2-methylpropyl) ester],通过室内外生物检测的方法,研究其对黄萎病和茄子种子萌发、幼苗生长的化感作用,以期为进一步解释嫁接预防茄子黄萎病提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

选取茄子/番茄嫁接植株根系分泌物中化感物质己二酸二异丁酯 (刘娜等, 2008),采用化学分析纯作为外源模拟生化试剂。按照该物质在根系分泌物中的峰值并结合预备试验,设置4个浓度:0 (对照)、0.1、0.5和1.0 mmol·L⁻¹。茄子黄萎病菌 (*Verticillium dahliae*) 来源于茄子连作病圃发病植株,分离纯化后经沈阳农业大学植物保护学院真菌室鉴定。茄子试材选用‘西安绿茄’。

1.2 抑菌试验

将制备好的己二酸二异丁酯各浓度溶液1 mL,分别加入到49 mL已融化并冷却至40℃的灭菌PDA培养基中,混合均匀后倒入培养皿中,每皿接3个直径为0.6 cm的黄萎菌菌片,每处理重复3次。于25℃下暗培养4、7和11 d后用十字交叉法测定菌落直径。测定结果参照Williamson和Richardson (1988)的方法,采用化感作用效应指数(RI)表示。当T=C时,RI=1-C/T;当T>C时,RI=T/C-1。其中C为对照值,T为处理值。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。均以RI值作为原始数据,采用DPS数据处理系统进行统计分析。

1.3 防病试验

2008年3月在沈阳农业大学蔬菜基地进行。常规营养钵育苗,待幼苗长至四叶一心时选取健康、长势一致的茄子幼苗施加不同浓度的己二酸二异丁酯溶液,每个处理在植株根际约10 cm范围内均匀施加100 mL,每隔3 d施加一次,连续施加3次。3 d后采用伤根法接种黄萎菌。黄萎菌孢子悬浮液浓度为1×10⁷ cfu·mL⁻¹,每株接种100 mL。从田间出现病株开始,每5 d调查一次病情,连续调查5次,计算病情指数。每处理20株,随机排列,3次重复。

黄萎病病情分级标准:0级,无病株;1级,全株黄化萎蔫叶片少于1/4;2级,全株黄化萎蔫叶片占1/4~2/4;3级,全株黄化萎蔫叶片占2/4~3/4;4级,全株黄化萎蔫叶片达到3/4以上至全部萎蔫枯死。病情指数(%)=(级数×株数)/(最高级数×总株数)×100。

1.4 种子萌发试验

采用滤纸培养皿法,取各浓度溶液5 mL分别加入铺有2层定性滤纸的培养皿中,每皿放入经

10% H_2O_2 消毒的茄子种子 50 粒, 置多功能气候培养箱中培养。每天补充适量水分, 以保持滤纸湿度。培养至种子发芽后, 每 24 h 观察种子萌发状况, 记录发芽率, 7 d 后测定总发芽率、胚根长和苗长, 并计算发芽速度指数 (I) 和化感效应指数 (RI)。各处理均设 3 次重复。

$I = 2 \times (7 \times X_1 + 6 \times X_2 + 5 \times X_3 + 4 \times X_4 + 3 \times X_5 + 2 \times X_6 + 1 \times X_7)$, X 为每隔 24 h 发芽的种子数, $X_1 = 24$ h 记录的发芽数, $X_2 = 48$ h 记录的发芽数, 以此类推。

1.5 茄子幼苗生长试验

选取发芽势一致的茄子种子播于盛有珍珠岩、草炭与蛭石 (3:2:1) 基质的营养钵 (13 cm \times 12 cm) 中。待四叶一心时浇灌不同浓度的试剂。每个处理施加 100 mL, 于处理后第 7 天对茄子的株高、茎粗、鲜样质量、干样质量、叶绿素含量、叶片丙二醛 (MDA) 含量、叶片细胞膜相对透性和根系活力等指标进行测定。每个处理 10 株, 3 次重复。叶绿素含量采用丙酮和无水乙醇 (1:1) 混合浸提液黑暗浸提; 丙二醛含量采用硫代巴比妥酸进行测定; 根系活力采用氯化三苯基四氮唑 (TTC) 法进行测定; 细胞膜相对透性用外渗电导法测定 (郝建军和刘延吉, 2001)。

采用 Excel 软件对数据进行处理和制图, 采用 DPS 软件进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 己二酸二异丁酯对茄子黄萎病的化感作用

2.1.1 对黄萎病菌菌丝生长的影响 由表 1 可知, 培养 4 d 时, 各浓度己二酸二异丁酯溶液处理与对照相比, 除了 $0.1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 促进菌丝生长外, 其余浓度处理均抑制了菌丝的生长, 并且随浓度增大抑制作用增强。当培养至 7 d 时, 各浓度处理对菌丝的生长起到了极显著的化感抑制作用, 其中 $1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的作用强度最大, 抑制率为 10.36%; 培养 11 d 后, 所有处理对黄萎病菌菌丝生长均起化感促进作用, 以 $0.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的促进作用最小。

表 1 化感物质己二酸二异丁酯对黄萎病菌菌丝生长的作用

Table 1 Allelopathy of hexanedioic acid, bis (2-methylpropyl) ester on mycelium growth of Verticillium wilt

浓度 / ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) Concentration	4 d		7 d		11 d	
	菌落直径 /cm Colony diameter	RI 值 RI value	菌落直径 /cm Colony diameter	RI 值 RI value	菌落直径 /cm Colony diameter	RI 值 RI value
0	1.878 bA	0 bB	3.282 aA	0 aA	4.237 dB	0 dD
0.1	1.920 aA	0.0222 aA	3.040 bB	-0.0767 bB	4.272 bA	0.0082 bB
0.5	1.841 cB	-0.0213 cC	2.995 cC	-0.0909 cC	4.259 cB	0.0050 cC
1.0	1.780 dC	-0.0534 dD	2.942 dD	-0.1081 dD	4.288 aA	0.0125 aA

注: 数字后不同大小写字母分别表示差异达 1%, 5% 显著水平。下同。

Note: Different small and capital letters mean significant differences at 0.05 and 0.01 levels respectively. The same below.

2.1.2 对黄萎病病情指数的影响 从表 2 可以看出, 茄子幼苗在调查日期范围内, $0.1 \sim 1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理的病情指数小于对照, 表现出不同程度的抗病性。其中以 $0.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理的茄子抗病性最强, 4 月 20 日比对照降低了 7.40%, 至 5 月 10 日, 病情指数为 68.80%, 而对照已高达 90.21%。

表 2 己二酸二异丁酯对茄子黄萎病病情指数的影响

Table 2 Effects of hexanedioic acid, bis (2-methylpropyl) ester on the disease index of Verticillium wilt

浓度 / ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) Concentration	04 - 20	04 - 25	04 - 30	05 - 05	05 - 10
0	56.40 aA	60.72 aA	62.35 aA	72.25 aA	90.21 aA
0.1	33.83 bB	53.30 cB	60.12 aA	65.73 bB	85.40 bB
0.5	15.00 cC	36.75 dC	41.70 bB	58.33 cC	68.80 dC
1.0	36.70 bB	55.35 bAB	60.72 aA	64.80 bB	81.70 cB

2.2 己二酸二异丁酯对茄子种子萌发的化感作用

如表 3 所示, 己二酸二异丁酯对茄子种子萌发表现为“低促高抑”, 与对照相比, 当浓度为 $0.1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时促进了种子萌发, 发芽率和发芽速度指数分别增加了 5.64% 和 10.53%, 其余浓度则表现为化感抑制效应, 并且随着浓度的增加抑制作用增强。1.0 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时对发芽率和发芽速度指数的抑制率最大, 分别为 15.49% 和 22.66%。当浓度为 $0.1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时胚根长和苗长分别增加 16.70% 和 19.01%, 随着浓度增大促进作用减弱, 当浓度增至 $1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时起极显著的抑制作用, 胚根长和苗长比对照分别减少了 9.84% 和 10.92%。

表 3 己二酸二异丁酯对茄子种子萌发的化感作用

Table 3 Allelopathy of hexanedioic acid, bis (2-methylpropyl) ester on seed germination of eggplant

浓度 / ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) Concentration	发芽率 / % Germination rate	发芽率 R 值 R I value of germination rate	发芽速度指数 Germination rate index	胚根长 / cm Root length	胚根长 R 值 R I value of root length	苗长 / cm Shoot length	苗长 R 值 R I value of shoot length
0	89.93 bB	0 bB	2 136 bB	3.467 bB	0 cC	6.801 bB	0 bB
0.1	95.00 aA	0.0528 aA	2 361 aA	4.046 aA	0.1431 aA	8.094 aA	0.1597 aA
0.5	86.67 cC	- 0.0363 cC	1 874 cC	3.586 bB	0.0332 bB	6.800 bB	- 0.0001 bB
1.0	76.00 dD	- 0.1549 dD	1 652 dD	3.126 cC	- 0.0984 dD	6.058 cC	- 0.1092 cC

2.3 己二酸二异丁酯对茄子幼苗生长发育的化感作用

2.3.1 对幼苗生长指标的影响 由表 4 和表 5 可以看出, 与对照相比, 己二酸二异丁酯在 $0.1 \sim 0.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时对茄子幼苗各生长指标均起到不同程度的化感促进作用, 并且随着浓度的增大促进作用增强; 当浓度增至 $1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 对株高和地上部鲜样质量的促进作用减弱, 对茎粗、地下部鲜样质量和地上部、地下部干样质量起化感抑制作用。从作用强度上看, 茎粗和地下部干样质量的各浓度处理化感效应值 (R I) 的绝对值较小, 作用强度较小; 株高的 R I 绝对值较大, 作用较强。

2.3.2 对茄子幼苗生理特性的影响 如表 6 所示, 己二酸二异丁酯 $0.1 \sim 0.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 范围内叶片叶绿素含量高于对照, 并随浓度增大叶绿素含量增加幅度加大, 但 $1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理起抑制作用; MDA 含量和相对电导率随着处理浓度的增加先减少再增加, 以 $0.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时的化感作用最强; 己二酸二异丁酯 $0.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理对根系活力的促进幅度最大, 当浓度增至 $1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时促进作用减弱。己二酸二异丁酯在一定浓度范围内可以促进茄子幼苗的生长。

表 4 己二酸二异丁酯对茄子幼苗株高、茎粗的影响

Table 4 Effects of hexanedioic acid, bis (2-methylpropyl) ester on height and stem diameter of eggplant seedling

浓度 / ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) Concentration	株高 / cm Stem height	株高 R I R I value of stem height	茎粗 / cm Stem diameter	茎粗 R I R I value of stem diameter
0	3.98 cC	0 dD	0.325 abA	0 cC
0.1	4.61 aA	0.1367 bB	0.329 abA	0.0123 bB
0.5	4.80 aA	0.1708 aA	0.331 aA	0.0169 aA
1.0	4.49 bB	0.1136 cC	0.322 bB	- 0.0101 dD

表 5 己二酸二异丁酯对茄子幼苗地上部干鲜样质量、地下部干鲜样质量的影响

Table 5 Effects of hexanedioic acid, bis (2-methylpropyl) ester on fresh and dry weight of eggplant seedling

浓度 / ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) Concentration	鲜样质量 / g Fresh weight				干样质量 / g Dry weight			
	地上 Shoot	地上 R I R I value of shoot	地下 Root	地下 R I R I value of root	地上 Shoot	地上 R I R I value of shoot	地下 Root	地下 R I R I value of root
0	3.47 bB		1.20 bAB		0.8033 cC		0.1726 aA	
0.1	3.59 bB	0.0344 bB	1.23 bcAB	0.0244 bB	0.8782 bB	0.0853 bB	0.1733 aA	0.0040 bB
0.5	4.45 aA	0.2210 aA	1.36 aA	0.1176 aA	1.0200 aA	0.2125 aA	0.1748 aA	0.0126 aA
1.0	3.48 bB	0.0038 cC	1.16 bB	- 0.0333 cC	0.7900 cC	- 0.0166 cC	0.1725 aA	- 0.0006 cC

表 6 己二酸二异丁酯对茄子幼苗生理特性的化感作用

Table 6 Allelopathy of hexanedioic acid, bis (2-methylpropyl) ester on physiological characteristics of eggplant seedling

浓度 / (mmol · L ⁻¹) Concentration	叶绿素含量 / (mg · g ⁻¹) Chlorophyll content	MDA 含量 / (nmol · g ⁻¹) MDA content	相对电导率 / % Relative electricity conductivity	根系活力 / (μg · g ⁻¹ · min ⁻¹) Root vigor
0	1.274 bcB	6.423 bB	20.24 bB	5.423 dD
0.1	1.376 bB	6.079 cB	17.58 cC	8.965 bB
0.5	1.508 aA	4.703 dC	13.02 dD	10.687 aA
1.0	1.256 cB	7.054 aA	23.40 aA	6.182 cC

3 讨论

根系分泌是植物体向土壤环境释放化感物质的主要途径之一，化感物质通过作用于根际土壤中的病原菌和其他微生物影响茄子的连作障碍。嫁接可以使植株根系分泌物中的成分发生一定程度的变化，这种变化也许是嫁接抗病的主要原因之一。根系分泌物中的化感物质可以抑制病原菌生长，任何一种化感物质对病原菌的作用都与其浓度有关（Kravchenko et al, 2003）。据报道，苯甲酸和肉桂酸低浓度时可以降低西瓜枯萎病的发病率，而高浓度促进了西瓜枯萎病的发生（王倩和李晓林，2003）。Wang等（2005）研究表明香草醛低浓度抑制黄萎菌孢子的萌发，高浓度表现促进作用。

本研究也得出相似结论。低浓度己二酸二异丁酯抑制了黄萎病的发表，而高浓度抑制作用减弱。黄萎菌培养的第4天和第7天，己二酸二异丁酯对菌丝的生长起抑制作用，随着浓度的增大抑制作用增强。可见，己二酸二异丁酯在茄子嫁接抗病过程中具有一定作用。

目前，脂肪酸酯类物质对植物种子萌发和幼苗生长的化感作用方面已有相关报道。王玉洁等（2007）报道，邻苯二甲酸二甲酯对茄子幼苗生长有明显抑制作用，且随处理浓度的增加抑制作用加强。本试验结果表明，己二酸二异丁酯对茄子种子萌发和幼苗的生长具有化感作用，并呈“低促高抑”趋势，这与化感物质对植物的作用表现为“低促高抑”的结论一致。己二酸二异丁酯在0.1 mmol · L⁻¹时促进茄子种子的萌发，随着浓度增大，促进作用减弱或者呈抑制作用，当浓度为0.1 ~ 0.5 mmol · L⁻¹时，促进了茄子幼苗的生长，而当浓度增至1.0 mmol · L⁻¹时，先前的作用强度或者作用效果发生了变化。茄子叶片中丙二醛（MDA）含量和细胞膜相对透性的变化说明，低浓度己二酸二异丁酯处理能够提高茄子清除活性氧的能力，降低膜脂过氧化程度，提高抗病性，但处理浓度过大，影响植物自我调节能力，膜脂过氧化作用增强，这与田间抗病性调查结果一致。

本研究发现，己二酸二异丁酯可以直接对茄子黄萎菌和茄子幼苗生长均起到一定程度的化感作用。另外，脂肪酸酯类物质也可以在环境作用下通过水解形成酸类物质或者与酸类物质混合后产生化感效应。邻苯二甲酸和丙二酸对根腐病原真菌有低浓度促进高浓度抑制的作用（鞠会艳等，2002）。周志红等（1998）将化感作用较强的鞣酸或水杨酸分别与化感作用较弱的3种酯类按不同比例两两混合后对萝卜、生菜、白菜进行生物试验后发现两种生化成分混合后，增强化感的促进作用或抑制作用的现象相当普遍。因此，本试验所采用的己二酸二异丁酯还可能水解成己二酸或与根系分泌物中其他酸类物质共同产生更大的化感效应，进而提高植株的抗病性，这方面还有待于深入研究。

References

- Chai Qiang, Feng Fu-xue. 2007. Identification of root exudation of *Zea mays* L. and allelopathy of 1, 2-benzenedicarboxylic acid. Journal of Gansu Agricultural University, 42 (5): 43 - 48. (in Chinese)
- 柴 强, 冯福学. 2007. 玉米根系分泌物的分离鉴定及典型分泌物的化感效应. 甘肃农业大学学报, 42 (5): 43 - 48.
- Hao Jian-jun, Liu Yan-ji. 2001. Plant physiology experiment technology. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press. (in Chinese)

- 郝建军, 刘延吉. 2001. 植物生理学实验技术. 沈阳: 辽宁科学技术出版社.
- Han Limei, Wang Shu-qi, Ju Hui-yan, Yan Fei. 2003. GC-MS analysis on the kinds of soybean root exudates extracted with adsorption resin. *Soybean Science*, 22 (4): 301 - 305. (in Chinese)
- 韩丽梅, 王树起, 鞠会艳, 阎 飞. 2003. 吸附树脂提取的大豆根系分泌物种类的 GC-MS分析. *大豆科学*, 22 (4): 301 - 305.
- Hou Yong-xia, Zhou Bao-li, Wu Xiao-ling, Fu Ya-wen. 2007. Allelopathy of root exudates of pepper. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 38 (4): 504 - 507. (in Chinese)
- 侯永侠, 周宝利, 吴晓玲, 付亚文. 2007. 辣椒根系分泌物化感作用的研究. *沈阳农业大学学报*, 38 (4): 504 - 507.
- Ginaux G, Douple P. 1985. Greffe par perforation latérale de l'aubergine et de la tomate. *Rev Hört*, 253: 29 - 34.
- Ju Hui-yan, Han Limei, Wang Shu-qi, Cong Deng-li. 2002. Allelopathic effect of root exudates on pathogenic fungi of root rot in continuous cropping soybean. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 13 (6): 723 - 727. (in Chinese)
- 鞠会艳, 韩丽梅, 王树起, 丛登立. 2002. 连作大豆根系分泌物对根腐病原菌的化感作用. *应用生态学报*, 13 (6): 723 - 727.
- Kravchenko L V, Azarova T S, Leonova-Erko E I. 2003. Root exudates of tomato plants and their effect on the growth and antifungal activity of *Pseudomonas* strains. *Microbiology*, 7 (1): 37 - 41.
- Liu Yu-shi, Ding Jiu-min. 2006. Preliminary study of disease resistance and yield increase effects in xenoplastic grafting between eggplants and tomatoes. *Journal of Lianyungang Technical College*, 19 (2): 37 - 40. (in Chinese)
- 刘玉石, 丁九敏. 2006. 茄子、番茄异属间嫁接抗病增产效果初步研究. *连云港职业技术学院学报*, 19 (2): 37 - 40.
- Liu Na, Zhou Bo-li, Li Yi-xiu, Hao Jing, Fu Ya-wen. 2008. Allelopathy of the eggplant / tomato grafted eggplants root exudates to *Verticillium wilt (Verticillium dahliae)*. *Acta Horticulturae Sinica*, 35 (9): 1297 - 1304. (in Chinese)
- 刘 娜, 周宝利, 李轶修, 郝 晶, 付亚文. 2008. 茄子/番茄嫁接植株根系分泌物对茄子黄萎病菌的化感作用. *园艺学报*, 35 (9): 1297 - 1304.
- Tran Dang Xuan, Min Chung, Tran Dang Khanh, Shinkichi Tawata. 2006. Identification of phytotoxic substances from early growth of bamyard grass (*Echinochloa crusgalli*) root exudates. *J Chem Ecol*, 32: 895 - 906.
- Wang Qian, Li Xiao-lin. 2003. Effects of benzoic and cinnamic acids on watermelon seedling growth and fusarium wilt occurrence. *Journal of China Agricultural University*, 8 (1): 83 - 86. (in Chinese)
- 王 倩, 李晓林. 2003. 苯甲酸和肉桂酸对西瓜幼苗生长及枯萎病发生的作用. *中国农业大学学报*, 8 (1): 83 - 86.
- Williamson G B, Richardson D. 1988. Bioassays for allelopathy: Measuring treatment responses with independent controls. *Chen Ecol*, 14 (1): 181 - 187.
- Wang Yu-jie, Yu Ji-hua, Zhang Yun, Zhu Hong. 2007. Effects of two allelochemicals on growth and physiological characteristics of eggplant seedlings. *Journal of Gansu Agricultural University*, 42 (3): 47 - 50. (in Chinese)
- 王玉洁, 郁继华, 张 韵, 朱 虹. 2007. 两种化感物质对茄子生长及幼苗生理特性的影响. *甘肃农业大学学报*, 42 (3): 47 - 50.
- Wang Ru-hua, Zhou Bao-li, Zhang Qi-fa, Fu Ya-wen. 2003. Effect of eggplants/ tomato grafting on disease resistance and yield. *China Vegetable*, (4): 10 - 11. (in Chinese)
- 王茹华, 周宝利, 张启发, 付亚文. 2003. 茄子/番茄嫁接抗病增产效果初报. *中国蔬菜*, (4): 10 - 11.
- Wang R H, Zhou B L, Zhang F L. 2005. Allelopathic effects of root extracts on verticillium wilt. *Allelopathy Journal*, 15 (1): 75 - 84.
- Yang Rui-ji, Niu Jun-yi. 2006. Effect of phosphorus deficiency on root exudation of rape (*Brassica campestris* L.). *Journal of Southwest Agricultural University: Natural Science*, 28 (6): 895 - 899. (in Chinese)
- 杨瑞吉, 牛俊义. 2006. 磷胁迫对油菜根系分泌物的影响. *西南农业大学学报: 自然科学版*, 28 (6): 895 - 899.
- Zhou Zhi-hong, Luo Shi-ming, Mou Zi-ping. 1998. Study on allelopathic potentials of several chemical compounds of tomato. *J South China Agric Univ*, 19 (3): 56 - 60. (in Chinese)
- 周志红, 骆世明, 牟子平. 1998. 番茄植株中几种化学成分的化学效应. *华南农业大学学报*, 19 (3): 56 - 60.