

茄子自毒物质对辣椒种子萌发及枯萎菌的化感效应

李 夏, 周宝利*, 陈绍莉, 蔺姗姗

(沈阳农业大学园艺学院, 沈阳 110161)

摘要: 运用模拟的方式, 采用生物测定和室内培养的方法, 研究了两种茄子自毒物质香草醛和肉桂酸各浓度对辣椒种子萌发和幼苗生长的化感效应, 及其对辣椒枯萎菌菌丝生长的影响。结果表明: 这两种自毒物质对辣椒种子萌发和幼苗生长具有低浓度促进, 高浓度抑制的化感效应。香草醛和肉桂酸对辣椒和茄子种子的化感效应存在较大差异, 辣椒种子受这两种自毒物质的抑制强度明显弱于茄子种子。香草醛和肉桂酸对辣椒枯萎菌菌丝生长表现为各浓度 (0.1, 0.5, 1, 4 mmol/L) 下均具有抑制作用, 作用强度随着浓度增加而增强, 肉桂酸低浓度时对菌丝生长的抑制作用即达到显著水平。

关键词: 香草醛; 肉桂酸; 辣椒; 枯萎菌; 化感效应

文章编号: 1000-0933(2009)02-0960-06 中图分类号: Q143, Q945, Q948 文献标识码: A

Effects of the autotoxic substance in eggplants on pepper seed germination and *Fusarium oxysporum* f. sp

LI Xia, ZHOU Bao-Li*, CHEN Shao-Li, LIN Shan-Shan

Horticultural College of Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(2): 0960 ~ 0965.

Abstract: Allelopathic effects of vanillin and cinnamic acid, two eggplant autotoxic substances, on pepper seed germination, seedling growth and mycelium growth of *Fusarium oxysporum* f. sp with different concentrations were studied in laboratory and bioassay experiments by a simulative way. The results showed that both two autotoxic substances exhibited allelopathic promotion at low concentration and allelopathic inhibition at high concentration on pepper seed germination and seedling growth. Allelopathic effect on the peppers and eggplants seed were obviously different. The pepper seeds appeared an apparent lower inhibition comparing to eggplant seeds after treating with two autotoxic substance. All the concentrations (0.1, 0.5, 1, 4 mmol/L) of vanillin and cinnamic acid restrained the mycelium growth of *Fusarium oxysporum* f. sp, and the stimulative rates were enhanced with the increased concentration. Also cinnamic acid at low concentration showed significant allelopathic inhibition to *Fusarium oxysporum* f. sp.

Key Words: vanillin; cinnamic acid; pepper; *Fusarium oxysporum* f. sp; allelopathy

茄子 (*Solanum melongena* L.) 是广泛栽培的茄果类蔬菜, 随着设施园艺的不断发展, 茄子的设施栽培面积和专业化生产也在日益扩大, 致使连作障碍日益严重, 已成为制约茄子生产的难点与重点问题^[1,2]。已初步证实, 茄子连作障碍与自毒作用有着密切的联系, 研究得出茄子根系分泌物的释放与积累是引发自毒作用、加重土传病害、导致土壤变化的根本原因^[3,4]。随着对连作障碍研究的深入, 许多学者指出蔬菜连作障碍的自毒作用主要是由根系分泌物中的自毒物质引起的, 根系分泌物的化感作用影响植物本身, 又影响根际微生物, 二者的变化都与连作障碍的发生和发展有关^[5~8]。并从茄子根系分泌物中检测出肉桂酸、香草醛、苯甲酸等

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 (2006T118)

收稿日期: 2008-08-10; 修订日期: 2008-12-30

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

多种化感物质,其中香草醛和肉桂酸是普遍存在的自毒物质,王茹华等人已研究证实,高浓度香草醛和肉桂酸具有抑制茄子种子萌发,促进茄子黄萎菌孢子萌发的化感效应^[9]。辣椒(*Capsicum annuum* L.)也是重要的茄果类蔬菜,生产上可采用与茄子轮作的方式,以减轻茄子连作障碍。因此,本试验选择茄子根系分泌物中的香草醛和肉桂酸两种自毒物质,运用模拟的方式,以茄子种子萌发为参照,采用了生物测定和室内培养的方法,从它们对辣椒种子萌发和辣椒枯萎菌菌丝生长的影响两个方面,研究其对辣椒种子及辣椒典型土传病害病原菌的化感效应,以明确这两种茄子自毒物质对辣椒的化感效应,为深入研究茄子化感物质与连作障碍、土传病害的相互作用提供新的资料,同时为减轻茄子连作障碍,建立合理有效的间、套和连作制度提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

供试材料辣椒品种为“牛角椒”、茄子品种为“西安绿茄”,供试菌种辣椒枯萎病病原菌(*F. oxysporum* Schl. f. sp. *vasinfectum*)由沈阳农业大学植物保护学院提供,试验于沈阳农业大学蔬菜栽培生理与生态实验室内进行。

1.2 香草醛和肉桂酸溶液的配制

茄子自毒物质香草醛和肉桂酸为外源酚酸,均为国产分析纯。二者配制浓度为 0,0.1,0.5,1,4mmol/L。肉桂酸先用少量乙醇溶解,再加入蒸馏水,调节各溶液乙醇含量达 1.5%。香草醛易溶于水,可直接用蒸馏水配制,但为了消除试验误差,也使各浓度溶液中乙醇含量达到 1.5%。

1.3 香草醛和肉桂酸对辣椒种子萌发和幼苗生长的影响

采用滤纸培养皿法,在铺有两张 φ9.0cm 定性滤纸的培养皿中,放入经 10% H₂O₂ 消毒处理,浸种膨胀均匀一致的辣椒种子各 50 粒,加入 5ml 香草醛或肉桂酸溶液。放入多功能气候培养箱中培养,以 25℃ 恒温管理,每天补充适量水分以保持滤纸湿度。培养至种子发芽后,连续 7 d 记录发芽数,计算发芽速度指数 I :

$$I = 2 \times (7 \times X_1 + 6 \times X_2 + 5 \times X_3 + 4 \times X_4 + 3 \times X_5 + 2 \times X_6 + 1 \times X_7)$$

式中, X 为指每隔 24h 发芽的种子数, X_1 为 24h 记录的发芽数, X_2 为 48h 记录的发芽数,依此类推。最后测定胚根长、苗高,总发芽率和发芽速度指数^[10]。各处理均设 3 次重复。参照 Williamson 等^[11]的方法,采用化感作用效应指数(RI)表示各溶液对辣椒与茄子种子发芽的化感效应。其中, C 为对照值, T 为处理值, 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。

$$RI = \begin{cases} 1 - C/T & \text{当 } T \geq C \text{ 时} \\ T/C - 1 & \text{当 } T < C \text{ 时} \end{cases}$$

1.4 香草醛和肉桂酸对辣椒枯萎菌菌丝生长的影响

1.4.1 供试菌种

将辣椒枯萎病菌病原菌用划线接种法接种于 PDA 斜面培养基,再用点接法接种于 PDA 平板培养基,放入多功能气候培养箱中,于 25℃ 下恒温培养,当直径长到 2cm 时,便可用于菌块的制作。

1.4.2 PDA 平板的制作及菌块接种

分别配制以 100ml 为溶液量的香草醛和肉桂酸的不同浓度的酒精溶液,不加蒸馏水,以 100ml 培养基为溶液,在倒入培养基时,分别吸取 1.5ml 不同浓度的酒精溶液,加入培养基中,摇匀,倒入培养皿中,每皿约 20ml。用打孔器打取直径为 0.6cm 的菌丝块,移入平板中,每皿接一个菌块,每处理重复 3 次,于 25℃ 温箱内培养 3~4d 后,测定菌落直径,计算抑菌率。参照 Williamson 等^[11]的方法,采用化感作用效应指数(RI)表示各溶液对枯萎菌菌丝生长的化感效应,采用 DPS 统计软件以 Duncan 新复极差法进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 香草醛对辣椒种子萌发和幼苗生长的影响

由表 1 所示,香草醛对辣椒和茄子种子萌发和幼苗生长的影响,均表现为低浓度促进高浓度抑制的化感效应,浓度增大,抑制作用增强。与对照相比,香草醛浓度为 4mmol/L 时对辣椒种子的发芽率的抑制作用达

到显著水平,抑制率为 9.59%。茄子种子的发芽率和发芽速度指数与对照相比,在香草醛浓度为 1mmol/L、4mmol/L 时都达到了显著水平,浓度为 4mmol/L 时达到极显著水平,发芽率最高抑制率达到 38.09%。茄子种子萌发的受抑制强度强于辣椒种子,并且差异达到了显著水平。辣椒和茄子幼苗根长及苗高的受抑制情况:与对照相比,只有浓度为 4mmol/L 时,对茄子苗高的抑制作用达到了显著水平,抑制率为 6.89%,对辣椒种子根长和苗高的抑制作用均没有达到显著水平。

表 1 香草醛对辣椒与茄子种子萌发和幼苗生长的影响(RI)

Table 1 Effect of vanillin on seed germination and seedling growth of pepper and eggplant (RI)

香草醛浓度 (mmol/L) Vanillin Concentration	品种 Variety	发芽率 GR	发芽速度指数 GRI	根长 RL	苗高 pH
0.1	辣椒 Pepper	0.144aA	0.150aA	0.075aA	0.236aA
	茄子 Eggplant	0.001abAB	0.004aAB	0.089aA	0.065abA
0.5	辣椒 Pepper	-0.068abcAB	-0.006aAB	-0.092aA	-0.100abA
	茄子 Eggplant	0.088abA	0.026aAB	0.118aA	0.120abA
1	辣椒 Pepper	-0.132bcABC	-0.029abAB	-0.060aA	-0.061abA
	茄子 Eggplant	-0.305cdBC	-0.319bcBC	-0.015aA	0.017abA
4	辣椒 Pepper	-0.164bcABC	-0.139abABC	-0.139aA	-0.125abA
	茄子 Eggplant	-0.472dC	-0.533cC	-0.109aA	-0.166bA
0	CK(辣椒 Pepper)	0.000abAB	0.000aAB	0.000aA	0.000abA
	CK(茄子 Eggplant)				

数字后大写和小写字母分别表示在 5% 和 1% 水平上的差异显著性;下同 The capital letter and lower case letter after the number stands for significant Difference on the level of 5% and 1% respectively when comparing with the CK in the test; the same below

2.2 肉桂酸对辣椒种子萌发和幼苗生长的影响

如表 2 所示,肉桂酸各处理中,低浓度时对辣椒种子萌发和幼苗生长都表现为促进作用,随浓度升高,促进作用减弱,浓度为 4mmol/L 时,则表现为抑制作用。肉桂酸浓度为 0.1mmol/L 时,对茄子种子萌发和幼苗生长具有促进作用,其余各浓度均表现为抑制作用。肉桂酸浓度为 4mmol/L 时,与对照相比,辣椒种子萌发和幼苗生长的受抑制程度都没有达到显著水平,茄子种子各项指标均达到显著水平。辣椒与茄子相比,肉桂酸浓度为 4mmol/L 时,除苗高外,其它各项指标均达到显著和极显著水平。

表 2 肉桂酸对辣椒与茄子种子萌发和幼苗生长的影响(RI)

Table 2 Effect of cinnamic acid on seed germination and seedling growth of pepper and eggplant(RI)

肉桂酸浓度 mmol/L Cinnamic acid Concentration	品种 Variety	发芽率 GR	发芽速度指数 GRI	根长 RL	苗高 pH
0.1	辣椒 Pepper	0.045abA	0.124aA	0.134aA	0.317aA
	茄子 Eggplant	0.121aA	0.074aA	0.123aA	0.123abAB
0.5	辣椒 Pepper	0.029abA	0.039abA	0.014aAB	0.111abAB
	茄子 Eggplant	-0.139bAB	-0.216bcAB	-0.220cCD	-0.052bedBC
1	辣椒 Pepper	0.016abA	0.017abA	0.002abAB	0.086bcAB
	茄子 Eggplant	-0.362cBC	-0.367cdB	-0.440cdCD	-0.116cdBC
4	辣椒 Pepper	-0.132bAB	-0.030abA	-0.217bcBC	-0.028bedBC
	茄子 Eggplant	-0.610dC	-0.469dB	-0.389dD	-0.233dC
0	CK(辣椒 Pepper)				
	CK(茄子 Eggplant)	0.000abA	0.000abA	0.000abAB	0.000bcBC

2.3 香草醛和肉桂酸对辣椒枯萎菌菌丝生长的影响

如表 3 所示,香草醛和肉桂酸各浓度对辣椒枯萎菌菌丝的生长均表现出抑制作用,并随着浓度的增大,抑制作用增强。香草醛和肉桂酸浓度为 4mmol/L 时,与对照相比,抑制率分别为 42.22% 和 11.61%。香草醛各浓度处理中,只有浓度为 4mmol/L 时,与对照和其它各浓度处理相比,差异达到显著和极显著水平。肉桂酸

各浓度处理与对照相比,均达到显著水平,浓度为 1mmol/L 和 4mmol/L 时达到极显著水平。

3 结论与讨论

近年来的研究已证明,酚酸类物质可对许多植物的种子发芽及幼苗的生长产生或促进或抑制的化感作用,且普遍表现为低浓度促进高浓度抑制的效果^[12,13]。王璞等人在研究冬小麦中检测到的对羟基苯甲酸、阿魏酸、香草酸 3 种化感物质对棉花种子萌发和幼苗生长的影响中,得出各物质在低浓度时表现为促进作用,高浓度时为抑制作用^[14]。有试验证明,香草醛和肉桂酸对杉木种子发芽具有化感作用,随着浓度增大,抑制作用增强^[15~18]。本试验也发现,香草

醛和肉桂酸对辣椒和茄子种子萌发也表现出“低促高抑”的化感效应,随着浓度增大,抑制作用增强,化感效应趋势与前人的研究结果是一致的。尤其本试验发现,高浓度下的香草醛和肉桂酸对茄子种子萌发和幼苗生长的抑制作用都明显强于辣椒,并且在肉桂酸浓度为 0.5mmol/L 和 1mmol/L 时,对辣椒种子萌发和幼苗生长表现为促进作用,而对茄子种子则表现为抑制作用。这说明,辣椒种子萌发和幼苗生长受这两种茄子自毒物质的抑制作用弱于茄子种子,且这两种物质中,肉桂酸对辣椒的抑制作用更小,在浓度小于 4 mmol/L 时还可能对辣椒生长具有促进作用。这为生产上可采用辣椒与茄子轮作,减轻茄子连作障碍提供了一定的理论依据。

植物组织中化感物质可通过其组织分解和根系分泌进入土壤环境,对土壤生物产生着直接或间接的影响^[19,20]。据报道,茄子连作能引起根际微生物区系组成的定向改变,有益菌减少,有害菌增殖,破坏了根际微生物的平衡,减弱或消除了有益菌对有害菌的拮抗作用^[5,19]。孔垂华等研究得出,化感水稻与非化感水稻的根系分泌物对其土壤微生物的数量和种群结构的影响,存在明显的不同,来自化感水稻的根系分泌物的化感物质,可以修正土壤微生物种群结构^[21]。李云鹏等研究证明,不同品种的野茄子腐解物对茄子黄萎菌的孢子萌发和菌丝生长具有化感抑制作用^[3]。王茹华研究得出香草醛和肉桂酸对茄子黄萎菌孢子萌发具有低浓度抑制,高浓度促进的化感作用^[5]。而本试验得出香草醛和肉桂酸对辣椒枯萎菌菌丝生长都具有化感抑制作用,随着浓度的增大,抑制作用增强。肉桂酸相对香草醛化感效应更明显,与对照相比,在浓度为 0.1mmol/L 时即达到显著水平,在浓度为 1mmol/L 时达到极显著水平。本试验结果与王茹华研究香草醛和肉桂酸对茄子黄萎菌孢子萌发有着不同的化感效应。胡元森鉴定出黄瓜根分泌物中主要有苯甲酸、对羟基苯甲酸,香草酸,阿魏酸,苯丙酸等苯甲酸的衍生物,并证明低质量浓度的酚酸对黄瓜枯萎病菌菌丝生长有刺激作用,高浓度则具有抑制作用^[22]。这与本试验结果还有类似之处,高浓度时都对病原菌菌丝生长具有抑制作用,这说明化感物质对于病原菌的化感效应,可能与化感物质的不同和病原菌所属种类有关,具体原因还有待进一步试验证明。

根系分泌物与土壤微生物以及植物之间的关系是很复杂的,化感物质可能被土壤微生物所降解,也可能协同进化,并且受土壤酸性和养分及土壤酶活性等多方面因素的影响,从而影响到植物本身^[22,23,24]。目前在辣椒植株和根系分泌物中并没有检测到香草醛和肉桂酸这两种化感物质,并且已有试验证明辣椒植株和根系分泌物对其自身也具有自毒作用^[25,26]。这说明辣椒与茄子对自身产生自毒作用的化感物质及作用方式可能是不同的。韩春梅等人最新报道指出,生姜根、茎、叶提取液对大豆和葱的种子发芽和幼苗生长具有抑制作用,其中相同浓度下茎的浸提液的抑制作用最强,并且随着浸提液浓度的增大,抑制作用增强。还指出大豆与葱的种子发芽存在差异,这可能与种子大小有关,种子越小吸水量越小,脂酶活性降低,从而间接影响种子发芽和幼苗生长。本试验中,牛角椒与西安绿茄虽为同科作物,但种子大小上也存在一定差异,这可能也是造成种子发芽和幼苗生长受抑制差异的原因之一^[27]。本试验是运用模拟的方法,在排除其它影响因素的情况下

表 3 不同浓度的香草醛和肉桂酸对辣椒枯萎菌菌丝生长的影响 (RI)

Table 3 Effect of vanillin and cinnamic acid on the mycelial growth of *Fusarium oxysporum* (RI)

浓度 mmol/L	菌丝长 Mycelia length (RI)	
	香草醛 Vanillin	肉桂酸 Cinnamic acid
0.000 (CK)	0.000aA	0.000aA
0.1	-0.028aA	-0.030bAB
0.5	-0.033aA	-0.039bcAB
1	-0.106aA	-0.065cB
4	-0.422bB	-0.116dC

进行的,仅限于这两种茄子自毒物质香草醛和肉桂酸对辣椒的化感效应的初步研究,其化感效应的具体原因,可能是多方面的。并且实际生产的条件下,是否与室内模拟条件下具有相同的化感效应,可根据本试验获得的结果,采取哪些措施来改善栽培效果,这还有待于进一步试验的研究,田间试验也将进一步展开,以深入探讨根系分泌物与土壤微生物、土传病害、植物化感之间的作用机理,维护健康、安全的栽培生态环境。

References:

- [1] Zhang F L, Zhou B L, Wang R H, *et al.* Allelopathic effects of grafted eggplant root exudates. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(4): 750—753.
- [2] Zhou B L, Jiang H, Zhao X, *et al.* Relation between characteristics of resistance to *Verticillium wilt* of eggplant by graftage and root exudates of eggplant. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2001-12, 32(6): 414—417.
- [3] Li Y P, Zhou B L, Li Z P, *et al.* Allelopathic effects of wild anti-disease eggplant decomposing products on *Verticillium Wilt* (*Verticillium dahliae*). *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2007-08, 38(4): 500—503.
- [4] 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—80.
- [5] Wang R H, Zhou B L, Zhang Q F, *et al.* Effects of grafting on rhizosphere microbial populations of eggplants. *Acta Horticulturae Sinica*, 2005, 32(1): 124—126.
- [6] Czarnota M A, Rimando A M, Weston L A. Evaluation of root exudates of seven sorghum accessions. *Journal of Chemical Ecology*, 2003, 29: 2073—2083.
- [7] Geng G D, Cheng Z H, Meng H W, *et al.* Study on allelopathy and its mechanism of watermelon (*Citrullus lanatus*). *Journal of Fruit Science*, 2005, 22(3): 247—251.
- [8] Zhou Z H, Luo S M, Mou Z P. Allelopathic effect of tomato. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1997, 8(4): 445—449.
- [9] 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.
- [10] Zeng R S. Review on bioassay methods for allelopathy research. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1992, 10(1): 123—126.
- [11] Williamson G B, Obee E M, Weidenhamer J D. Bioassays for allelopathy: Measuring treatment responses with independent controls. *J. Chem. Ecol.*, 1988, 14(1): 181—187.
- [12] Han L M, Wang S Q, Ju H Y, *et al.* Identification and study on allelopathy of soybean root exudates. *Soybean Science*, 2000, 19(2): 119—125.
- [13] Koeppe E D E, Southwick L M, Bittell J E. 1976. The relationship of tissue chlorogenic acid concentrations and leaching of phenolics from sunflowers grown under varying phosphates nutrient conditions. *Canad. J. Bot.*, 54: 593—599.
- [14] Wang P, Zhao X Q. Effect of allelochemicals on cotton seed germination and seedling growth. *Journal of China Agricultural University*, 2001, 6(3): 26—31.
- [15] Cao G Q, Lin S Z, Huang S G. Effects of the ferulic acid and cinnamic acid on the germination of Chinese-fir seeds. *Journal of Plant Resources and Environment*. 2001, 10(2): 63—64.
- [16] Chen L C, Liao L P, Wang S L, *et al.* Effect of vanillin and P-hydroxybenzoic acid on physiological characteristics of Chinese fir seedlings. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(10): 1291—1294.
- [17] Chen L C, Wang S L. Preliminary study of allelopathy of root exudates of Chinese fir. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(2): 393—398.
- [18] Lin S Z, Huang S G, Cao G Q. Autointoxication of Chinese fir. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(6): 661—664.
- [19] Liang W J, Zhang X K, Jiang Y, *et al.* Allelochemicals from root exudates and their effects on soil biota. *Advances in Science*, 2005, (20)3: 330—337.
- [20] Xiong M B, He J P, Song G Y. Effect of root exudates on ecological distribution of rhizospheric microorganisms. *Chinese Journal of Soil Science*, 2002, 33(2): 145—148.
- [21] Kong C H, Wang P, Zhao H, Xu X H, *et al.* Impact of allelochemicals exuded from allelopathic rice on soil microbial community. *Soil Biology & Biochemistry*, 2008, 40(7): 1862—1869.
- [22] Shi G R. Ecological effects of plant root exudates. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(1): 97—101.
- [23] Hu Y S, Li C X, Du G Y, *et al.* Identification of allelochemicals in cucumber root exudates and its allelopathy to radicle and *Fusarium oxysporum*. *Ecology and Environment*, 2007, 16(3): 954—957.
- [24] Pan K W, Wang J C, Ke L V, *et al.* Effects of leaf leachates of *Zanthoxylum bungeanum* on soil enzymes, chemical properties and its own seedlings growth. *Allelopathy Journal*, 2008, 22(1): 153—166.

- [25] Hou Y X, Zhou B L, Wu X L, *et al.* Allelopathy of root exudates of pepper. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2007, 08, 38(4): 504 – 507.
- [26] Hou Y X, Zhou B L, Wu X L, *et al.* Allelopathy of decomposing pepper stalk on pepper growth. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(4): 699 – 702.
- [27] Han C M, Pan K W, Wu N, *et al.* Allelopathic effect of ginger on seed germination and seedling growth of soybean and chive. *Scientia Horticulturae*, 2008, 116(2): 330 – 336.

参考文献:

- [1] 张凤丽,周宝利,王茹华,等.嫁接茄子根系分泌物的化感作用. *应用生态学报*,2005,16(4): 750 ~ 753.
- [2] 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*,2001-12, 32(6): 414 ~ 417.
- [3] 李云鹏,周宝利,李之璞,等.野生抗病茄植株腐解物对茄子黄萎病菌的化感作用研究. *沈阳农业大学学报*,2007-08,38(4): 500 ~ 503.
- [4] 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 ~ 80.
- [5] 王茹华,周宝利,张启发,等.嫁接对茄子根际微生物种群数量的影响. *园艺学报*,2005,32(1): 124 ~ 126.
- [7] 耿广东,程智慧,孟焕文,等.西瓜化感作用及其机理研究. *果树学报*,2005,22(3): 247 ~ 251.
- [8] 周志红,骆世明,牟子平.番茄(*Lycopersicon*)的化感作用研究. *应用生态学报*,1997,8(4): 445 ~ 449.
- [9] 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.
- [10] 曾任森.化感作用研究中的生物测定方法综述. *应用生态学报*,1992,10(1): 123 ~ 126.
- [12] 韩丽梅,王树起,鞠会艳,等.大豆根分泌物的鉴定及其化感作用的初步研究. *大豆科学*,2000,19(2): 119 ~ 125.
- [14] 王璞,赵秀琴.几种化感物质对棉花种子萌发及幼苗生长的影响. *中国农业大学学报*,2001,6(3): 26 ~ 31.
- [15] 曹光球,林思祖,黄世国.阿魏酸和肉桂酸对杉木种子发芽的效应. *植物资源与环境学报*,2001,10(2): 63 ~ 64.
- [16] 陈龙池,廖利平,汪思龙,等.香草醛和对羟基苯甲酸对杉木幼苗生理特性的影响. *应用生态学报*,2002,13(10): 1291 ~ 1294.
- [17] 陈龙池,汪思龙.杉木根系分泌物化感作用研究. *生态学报*,2003,23(2): 393 ~ 398.
- [18] 林思祖,黄世国,曹光球.杉木自毒作用的研究. *应用生态学报*,1999,10(6): 661 ~ 664.
- [19] 梁文举,张晓珂,姜勇,等.根分泌的化感物质及其对土壤生物产生的影响. *地球科学进展*,2005, (20)3: 330 ~ 337.
- [20] 熊明彪,何建平,宋光煜.根分泌物对根际微生物生态分布的影响. *土壤通报*,2002. 33(2): 145 ~ 148.
- [22] 史刚荣.植物根系分泌物的生态效应. *生态学杂志*,2004,23(1): 97 ~ 101.
- [23] 胡元森,李翠香,杜国营,等.黄瓜根分泌物中化感物质的鉴定及其化感效应. *生态环境*,2007,16(3): 954 ~ 957.
- [25] 侯永侠,周宝利,吴晓玲,等.辣椒根系分泌物化感作用的研究. *沈阳农业大学学报*,2007-08,38(4): 504 ~ 507.
- [26] 侯永侠,周宝利,吴晓玲,等.辣椒秸秆腐解物化感作用的研究. *应用生态学报*,2006,17(4): 699 ~ 702.