

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

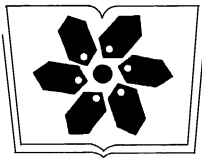
Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 14 期 Vol.31 No.14 **2011**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 14 期

2011 年 7 月 (半月刊)

目 次

厦门市三个产业土地利用变化的敏感性·····	黄 静,崔胜辉,李方一,等 (3863)
黄河源区沙漠化及其景观格局的变化·····	胡光印,董治宝,逯军峰,等 (3872)
岩溶山区景观多样性变化的生态学意义对比——以贵州四个典型地区为例·····	罗光杰,李阳兵,王世杰,等 (3882)
基于城市地表参数变化的城市热岛效应分析·····	徐涵秋 (3890)
北京市土地利用生态分类方法·····	唐秀美,陈百明,路庆斌,等 (3902)
长白山红松臭冷杉光谱反射随海拔的变化·····	范秀华,刘伟国,卢文敏,等 (3910)
臭冷杉生物量分配格局及异速生长模型·····	汪金松,张春雨,范秀华,等 (3918)
渔山岛岩礁基质潮间带大型底栖动物优势种生态位·····	焦海峰,施慧雄,尤仲杰,等 (3928)
食物质量差异对树麻雀能量预算和消化道形态特征的影响·····	杨志宏,邵淑丽 (3937)
桂西北典型喀斯特区生态服务价值的环境响应及其空间尺度特征·····	张明阳,王克林,刘会玉,等 (3947)
隔沟交替灌溉条件下玉米根系形态性状及结构分布·····	李彩霞,孙景生,周新国,等 (3956)
不同抗病性茄子根系分泌物对黄萎菌的化感作用·····	周宝利,陈志霞,杜 亮,等 (3964)
镧在草-菇-土系统中的循环与生物富集效应·····	翁伯琦,姜照伟,王义祥,等 (3973)
鄱阳湖流域泥沙流失及吸附态氮磷输出负荷评估·····	余进祥,郑博福,刘娅菲,等 (3980)
柠条细根的分布和动态及其与土壤资源有效性的关系·····	史建伟,王孟本,陈建文,等 (3990)
土壤盐渍化对尿素与磷酸脲氮挥发的影响·····	梁 飞,田长彦 (3999)
象山港海域细菌的分布特征及其环境影响因素·····	杨季芳,王海丽,陈福生,等 (4007)
近地层臭氧对小麦抗氧化酶活性变化动态的影响·····	吴芳芳,郑有飞,吴荣军,等 (4019)
抑制剂和安全剂对高羊茅根中酶活性和菲代谢的影响·····	龚帅帅,韩 进,高彦征,等 (4027)
南苜蓿高效共生根瘤菌土壤的筛选·····	刘晓云,郭振国,李乔仙,等 (4034)
汉江上游金水河流域土壤常量元素迁移模式·····	何文鸣,周 杰,张昌盛,等 (4042)
基于地理和气象要素的春玉米生育期栅格化方法·····	刘 勤,严昌荣,梅旭荣,等 (4056)
日光温室切花郁金香花期与外观品质预测模型·····	李 刚,陈亚茹,戴剑锋,等 (4062)
冀西北坝上旱干区南瓜油葵间作的水分效应·····	黄 伟,张俊花,李文红,等 (4072)
专论与综述	
鸟类分子系统地理学研究进展·····	董 路,张雁云 (4082)
自然保护区空间特征和地块最优选择方法·····	王宜成 (4094)
人类活动是导致生物均质化的主要因素·····	陈国奇,强 胜 (4107)
冬虫夏草发生的影响因子·····	张古忍,余俊锋,吴光国,等 (4117)
自然湿地土壤产甲烷菌和甲烷氧化菌多样性的分子检测·····	余晨兴,全 川 (4126)
研究简报	
塔里木河上游典型绿洲不同连作年限棉田土壤质量评价·····	贡 璐,张海峰,吕光辉,等 (4136)
高山森林凋落物分解过程中的微生物生物量动态·····	周晓庆,吴福忠,杨万勤,等 (4144)
生物结皮粗糙特征——以古尔班通古特沙漠为例·····	王雪芹,张元明,张伟民,等 (4153)
不同海拔茶园害虫、天敌种群及其群落结构差异·····	柯胜兵,党凤花,毕守东,等 (4161)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 306 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-07



封面图说:内地多呈灌木状的沙棘,在青藏高原就表现为高大的乔木,在拉萨河以及雅鲁藏布江沿岸常常可以看到高大的沙棘林和沼泽塔头湿地相映成趣的美丽景观。

彩图提供:陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

周宝利, 陈志霞, 杜亮, 谢玉宏, 叶雪凌. 不同抗病性茄子根系分泌物对黄萎菌的化感作用. 生态学报, 2011, 31(14): 3964-3972.

Zhou B L, Chen Z X, Du L, Xie Y H, Ye X L. Allelopathy of the root exudates from different resistant eggplants to verticillium wilt (*Verticillium dahliae* Kleb.). Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(14): 3964-3972.

不同抗病性茄子根系分泌物对黄萎菌的化感作用

周宝利*, 陈志霞, 杜亮, 谢玉宏, 叶雪凌

(沈阳农业大学园艺学院, 沈阳 110161)

摘要:以不同抗病性茄子为试材, 即抗病类型 *Solanum torresii*, 耐病类型立原紫茄, 感病类型西安绿茄, 研究了不同茄子品种抗黄萎病特性, 根际微生物结构与黄萎菌数量的变化, 茄子根系分泌物对黄萎菌的化感作用, 并利用 GC-MS 对根系分泌物的成分进行了鉴定。结果表明: 抗病类型的根系分泌物既可以直接影响黄萎菌的生长、发育, 又可以通过调节土壤微生物种群结构间接影响黄萎菌的生长, 达到抗病效果。而感病类型则正相反。推断这可能是因为抗病类型根系分泌物中存在醇类、胺类、吡喃类、茚类等特殊物质, 而感病类型根系分泌物中酮类、酚类、酯类、酚酸类物质种类或含量较高。

关键词: 茄子; 根系分泌物; 黄萎菌; 化感作用

Allelopathy of the root exudates from different resistant eggplants to verticillium wilt (*Verticillium dahliae* Kleb.)

ZHOU Baoli*, CHEN Zhixia, DU Liang, XIE Yuhong, YE Xueling

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

Abstract: Verticillium Wilt is one of the most destructive diseases of eggplant in China. Up to now, the allelochemicals from eggplant root exudates have been found in relation to the outbreak of Verticillium Wilt. However, the relationship between root exudates from different eggplant cultivars and their resistance to Verticillium Wilt has not been determined. Four eggplant cultivars were inoculated with Verticillium Wilt (*Verticillium dahliae* Kleb.) to assess their resistance to Verticillium Wilt in the present study. The results showed that *Solanum torresii* and *S. sis* were resistant, “Liyuanzhiqie” was tolerant, and “Xi’anlvqie” susceptible. The variation of main microorganism and *Verticillium dahliae* in rhizospheric soil, the allelopathy of root exudates to mycelium growth of *Verticillium dahliae* and the chemical substances of root exudates from eggplant cultivars with different resistance to Verticillium Wilt were investigated in this experiment. The experiment results exhibited that the root exudates of resistant and susceptible types inhibited the mycelium growth of *Verticillium dahliae*, while the susceptible one promoted the mycelium growth, during the whole incubation period. But the influence was waned gradually with time elapsing. The number of *Verticillium dahliae* sclerotia in the soils of all cultivars was increased with eggplant growth. The resistant types showed significantly lower population of *Verticillium dahliae* at each growth stage compared to the susceptible one. These conclusions were consistent with the disease incidence and the disease index of Verticillium wilt in the field. The root exudates of resistant types could not only affect the growth and development of *Verticillium dahliae*, but also influence *Verticillium dahliae* indirectly through regulating soil microbial community composition. With the reduction of bacterium, the population of total microorganisms (including bacterium, actinomyces and fungi) in rhizosphere decreased, especially “Xi’anlvqie”. Comparing with the eggplants without inoculation, the population of actinomyces in rhizosphere of “Xi’anlvqie” phased down, the number of actinomyces decreased by 29.70%.

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

收稿日期: 2010-05-05; **修订日期:** 2010-08-25

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

in 14 days after inoculation. But the population of actinomyces of resistant and tolerant types increased, the increasing rate showed as $S. tor > S. sis > Z$. The population of fungi increased in all cultivars during the whole period. As a result, the ratios of B to F and A to F increased gradually until 14 days after inoculation, then decreased, and appeared as $S. tor > S. sis > \text{“Liyuanziqie”} > \text{“Xi’anlvqie”}$. The microorganisms, especially those in the rhizospheric soils, affected the production and transformation of root exudates, and were fed by the root exudates or some component parts. The root exudates of different resistant eggplant cultivars mainly contained Hydrocarbon, Ketone, Ester, Phenol, Phenolic acid, Aldehyde, Alcohol, Quinones and others detected by gas chromatography mass spectrometry. The category and quantity of these chemical substances were in close relation to the resistance to Verticillium wilt. It was inferred that the resistant types contained some special components, such as Alcohol, Amide, Pyranoid, Fluorene. This may be one of the reasons for the increase of disease resistance. However, the susceptible type exhibited an opposite trend. It comprised more components, i. e., Phenol, Ester and Phenolic acid. Many of these chemical substances were found to be allelochemical. The change of allelochemicals may be one of the reasons of resistant difference.

Key Words: eggplant; root exudates; *Verticillium dahliae*; allelopathy.

茄子黄萎病(Verticillium Wilt)是一种主要由大丽轮枝菌(*Verticillium dahliae* Kleb.)引起的土传病害,素有植物癌症之称,给生产带来巨大损失。黄萎菌一方面通过菌丝堵塞维管束,或产生毒素对植株产生直接危害;另一方面由于其在土壤的积累,破坏土壤正常的微生物平衡,改变土壤微生物的组成,影响植株正常生长。近年来,利用植物之间(包括微生物)的相生相克作用——化感作用,防治病虫害已经成为研究热点。化感作用是通过向环境释放化感物质实现的,而植物根系分泌的化感物质可直接作用于根际微生物,对土传病害的病原菌产生直接或间接的作用^[1]。袁虹霞等对棉花不同抗黄萎病品种根系分泌物进行测定,发现抗病品种根系分泌物对病菌的孢子萌发和菌丝生长有一定的抑制作用,而感病品种根系分泌物则能刺激病菌生长^[2]。韩雪等认为抗病黄瓜品种根系分泌物抑制了黄瓜枯萎病病原菌的孢子萌发、菌丝生长及病原菌生物量,而感病品种则起显著促进作用^[3]。潘凯等研究发现不同抗性黄瓜品种根系分泌物对根区土壤真菌的数量增长有促进作用,尤其是对尖孢镰刀菌的增加具有明显的促进作用,且感病品种的促进作用大于抗病品种,并认为这可能与根系分泌物中氨基酸的种类与数量有关^[4-5]。周宝利、廉华和王茹华等研究发现,茄子砧木、嫁接茄子的根系分泌物对黄萎菌的生长及孢子萌发存在抑制作用^[6-7]。刘娜研究发现,茄子/番茄嫁接植株的根系分泌物能够抑制黄萎菌的生长,并认为这可能与根系分泌物的物质种类及含量变化有关^[8]。以往对茄子根系分泌物与黄萎病关系的研究均集中于嫁接对茄子根系分泌物的影响,而针对不同抗病性茄子品种根系分泌物的研究尚未见报道。本文以不同抗病性茄子品种(抗病、耐病、感病3种类型)为研究对象,调查田间发病情况、土壤微生物结构变化、室内抑菌效果等,并利用气质联用仪对其根系分泌物进行系统研究,综合分析根系分泌物成分与抗病性的关系,旨在揭示茄子抗病品种抗黄萎病的生物化学基础,为生产上鉴定、培育茄子抗黄萎病品种提供化感理论依据。

1 实验方法

1.1 试验材料

经前期品种筛选试验,选择不同抗病性茄子:抗病类型 *Solanum tor*、*S. sis*,耐病类型立原紫茄(以 Z 表示),感病类型西安绿茄(以 L 表示)为试材。

1.2 试验设计

试验于2009年2月至6月,在沈阳农业大学园艺学院日光温室进行。采用生产常规方法浸种、催芽、播种,待苗二叶一心时选用13cm×13cm营养钵分苗,一部分转入育苗基质中,用于提取根系分泌物;一部分转入大田土:草炭:马粪=3:2:1(体积分数)的基质中,用于土壤相关指标的调查。正常田间管理,定期取样调查。

1.3 茄子黄萎菌悬浮液的制备与接菌处理

由田间病株提取茄子黄萎菌,根据柯赫氏法则(Koch's postulate)进行分离、接种、再分离,获得病原菌。经沈阳农业大学植物保护学院真菌室鉴定后使用。

将黄萎菌转入 PDA 培养基中,27℃ 培养 14d 后,将菌块放入盛有无菌水的三角瓶中,充分振荡,4 层纱布过滤即为黄萎菌悬浮液。使用血球计数板调整孢子浓度为 1×10^7 cfu/mL,四叶一心时接菌处理,每钵接入黄萎菌悬液 10mL。每处理 15 株,3 次重复。

1.4 田间抗病情况调查

从出现病株开始调查,第 17、22、27、32 天调查发病情况,计算发病率和病情指数。

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 以上至萎蔫枯死。

$$\text{发病率}(\%) = (\text{发病株数} / \text{总株数}) \times 100\% ;$$

$$\text{病情指数} = \sum (\text{级数} \times \text{株数}) / (\text{最高级数} \times \text{总株数}) \times 100$$

抗黄萎病类型:抗病(R), $DI \leq 15$;中抗(MR), $15 < DI \leq 30$;耐病(T), $30 < DI \leq 50$;中感(MS), $50 < DI \leq 70$;感病(S), $DI > 70$ ^[9]。

1.5 根际土壤微生物组成及黄萎菌数量测定

采用土壤悬液稀释培养法进行土壤微生物分离培养,计算出每克干土中根际微生物的数量。真菌采用马丁氏培养基,细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基,放线菌采用改良高氏一号培养基^[10]。每种微生物每个稀释浓度接 3 皿,即 3 次重复。27℃ 下暗培养,根据生长情况及时计数。参照贾涛的方法,分离、测定根际土壤中黄萎菌的数量^[11]。

1.6 根系分泌物的收集、浓缩及其对黄萎菌的化感作用

于接菌后第 14 天采取浸根法,分别收集各品种接菌与未接菌植株的根系分泌物。每个处理取 10 株苗,室温下连续通气培养 10h,将收集液过滤^[12]。利用旋转蒸发器将收集液浓缩至每毫升根系分泌物为 0.5m² 活跃吸收面积分泌的量。采用生长速率法测定根系分泌物对黄萎菌生长的影响。将制备好的根系分泌物 1 mL,加入到直径 9cm 的培养皿中,再倒入已灭菌并冷却至 45℃ 的 PDA 培养基(每 100mL 培养基中加入 1% 氯霉素抑菌剂 0.3mL),混匀静置。冷凝后每皿接 1 个直径为 0.6cm 的黄萎菌菌片,每处理重复 3 次。以蒸馏水处理为对照。于 27℃ 下暗培养,3d 后用十字交叉法测定菌落直径,连续测定 5d。测定结果参照 Williamson 和 Richardson 的方法以化感作用效应指数(RI)表示^[13]:当 $T \geq C$ 时, $RI = 1 - C/T$;当 $T \leq C$ 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。

1.7 根系分泌物成分鉴定

将浓缩后的根系分泌物用等体积乙醚萃取 3 次,萃取液经无水 Na₂SO₄ 滤至三角瓶中,再将其浓缩至原体积。应用气相色谱-质谱仪(GC-MS)检测根系分泌物的成分,具体操作参照 Liu 的方法^[14]。为消除实验误差,按照相同测定条件以萃取剂乙醚作空白试验。根据峰面积,采用归一法计算各种成分的相对含量,与标准图谱核对确定物质名称。

2 结果与分析

2.1 不同茄子品种抗黄萎病特性比较

由表 1 可以得出,不同抗病性茄子发病情况差异显著。L、Z 发病较早,接种后第 17 天发病率即达 10% 和 5%。接种后第 22 天,L 发病率达 50%,病情指数达 23.8%,而此时 S. tor 和 S. sis 仍未发病。至接种后第 32 天,L 发病率达 80%,病情指数为 71.7%,Z 的发病率和病情指数也分别达到 60% 和 43.3%,而 S. tor 的发病率仅为 8.7%,病情指数仅为 6.7%。确定 L 为感病类型,Z 为耐病类型,而 S. sis 和 S. tor 为抗病类型。

2.2 不同抗病性茄子接菌后根际微生物组成及黄萎菌数量变化

由表 2 可以看出,相对于未接菌对照,接菌后各茄子品种根际细菌数量呈现先增加后减少的趋势,进而导

致接菌后细菌、真菌和放线菌 3 种微生物总数减少,且 L 减少量极显著大于其它。但由于接菌后细菌的增长速度小于未接菌对照,故各种茄子根际细菌变化率均为负值,且差异极显著或显著。放线菌的变化差异显著,L 各时期放线菌数量均比未接菌对照减少,接菌第 14d 放线菌降低率最高,为-29.70%。而 Z、S. sis、S. tor 放线菌数量比对照增加,增长率为 S. tor>S. sis>Z,差异极显著。不同抗病性茄子接菌后真菌数量均逐渐增长,增长率 L>Z>S. sis>S. tor,但随时间延长增长率逐渐减小。B/F、A/F 值 S. tor>S. sis>Z>L,差异极显著或显著,且呈现为先增大后减小的趋势,接菌后第 14 天达最高值。接菌后,各茄子品种根际土壤中黄萎菌数量均呈上升趋势,品种之间差异显著或极显著。L 根际黄萎菌数量增长最快,接菌第 7 天其数量即显著高于其它,而接菌后第 21 天其根际黄萎菌数量是第 7 天时的 2.75 倍。

表 1 不同茄子品种黄萎病发病率及病情指数									
Table 1 The disease incidence and the disease index of Verticillium wilt									
品种 Cultivar	17d		22d		27d		32d		抗病类型 Resistant types
	发病率 /%	病情指数 Disease index	发病率 /%	病情指数 Disease index	发病率 /%	病情指数 Disease index	发病率 /%	病情指数 Disease index	
	Incidence	index	Incidence	index	Incidence	index	Incidence	index	
L	10.0	10.0	50.0	23.8	60.0	41.3	80.0	71.7	S
Z	5.0	2.5	25.0	6.3	44.7	23.5	60.0	43.3	T
S. sis	0.0	0.0	5.9	5.9	17.6	11.8	24.4	13.3	R
S. tor	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	4.4	8.7	6.7	R

表 2 不同抗病性茄子接菌后根际土壤微生物组成及黄萎菌数量变化										
Table 2 Variation of main microorganism and Verticillium dahliae in rhizosphere soil of different resistant eggplants										
接菌天数/d Days after inoculation	品种 Cultivars	细菌/(10 ⁵ cfu/g 干重) Bacterium (B)		放线菌/(10 ⁵ cfu/g 干重) Actinomyces (A)		真菌/(10 ⁵ cfu/g 干重) Fungi (F)		B/F	A/F	黄萎菌 /(cfu/g) Verticilliumdahliae
		数量 Number	变化率/% Change rate	数量 Number	变化率/% Change rate	数量 Number	变化率/% Change rate			
7	L	12375.10	-21.92dC	264.83	-6.87aA	14.34	74.78aA	862.98dD	18.47dD	82.33aA
	Z	15253.40	-12.97cB	282.41	1.27bB	11.85	47.58bB	1287.21cC	23.83cC	46.67bB
	S. sis	20714.17	-7.55bA	354.47	17.45cC	10.81	15.8cC	1916.20bB	32.79bB	41.00cC
	S. tor	23340.21	-4.6aA	391.76	20.89dD	10.32	14.44cC	2261.65aA	37.96aA	32.33dD
14	L	14024.68	-19.76dD	259.24	-29.70aA	16.13	48.37aA	1290.22dD	23.85cC	149.33aA
	Z	18614.89	-17.41cC	246.20	3.95bB	13.08	29.88bB	1848.55cC	24.45cC	124.00bB
	S. sis	23501.87	-12.51bB	347.37	27.65cC	11.16	13.76cC	2105.90bB	31.19bB	66.50cC
	S. tor	28600.02	-7.94 aA	387.22	45.11 dD	10.79	9.91 dD	2915.39aA	39.47aA	48.34dD
21	L	9095.21	-38.11 d C	255.21	-25.69 aA	14.20	28.82 aA	640.51cC	17.97dD	226.68aA
	Z	15281.17	-18.92 cB	259.78	8.45 bB	11.20	23.34 bB	1363.17bB	23.17cC	174.00bB
	S. sis	17905.22	-13.72 bA	351.01	21.07 cC	13.32	7.39 cC	1344.24bB	26.35bB	97.00cC
	S. tor	23404.54	-10.81 aA	438.42	40.02 dD	12.86	6.45 dC	1819.95aA	34.09aA	90.00dC

各列数据后的大小写字母分别代表在同一次取样中 P=0.01 和 P=0.05 水平显著性差异

2.3 不同抗病性茄子根系分泌物对黄萎菌的化感作用

由表 3 可知,根系分泌物对黄萎菌的化感作用因品种抗性而异。抗性类型 S. sis、S. tor 和耐病类型 Z 的根系分泌物极显著地抑制了黄萎菌的生长,而感病类型 L 则表现为促进作用。同时,化感作用强度随时间延长而减弱。Z 和 S. sis 根系分泌物对黄萎菌的化感抑制作用自第 4 天至第 8 天持续减弱,尤其是 Z 化感作用强度在 5d 内降低了 86.30%。而 S. tor 化感抑制作用减弱幅度较小,5d 内仅降低了 12.60%。结果表明,S. tor 根系分泌物对黄萎菌生长的抑制作用最强,作用时间最长。

2.4 不同抗病性茄子根系分泌物成分鉴定

鉴定结果表明(表 4),不同抗病性茄子根系分泌物中的化学物质主要包括烃类、酮类、酯类、酚类、酚酸

类、醛类、醇类等。物质的种类与含量,因抗病性及接菌而异。L 接菌后酮类物质的种类及含量远高于其它,酯类、酚类物质含量与其它相比增加量较大。而抗性类型 *S. tor* 接菌后酮类、酯类、酚类物质的含量均比未接菌对照降低。从酯类物质总量上看,抗性类型 *S. tor*、*S. sis* 及耐病类型 *Z* 接菌后酯类含量均减少,感病类型 *L* 反而增加。而酚酸物质仅在接菌后的 *L* 中检测到。2,6-二叔丁基苯醌、2,4-二叔丁基苯酚、邻苯二甲酸二丁酯、邻苯二甲酸二异丁酯是所有处理中均含有的含量较高的几种物质。*S. tor*、*S. sis*、*Z* 接菌后 2,6-二叔丁基苯醌含量有所减少,而 *L* 则有所增加。2,4-二叔丁基苯酚、邻苯二甲酸二丁酯、邻苯二甲酸二异丁酯的含量在接菌后基本呈增加趋势。另外,抗病类型 *S. tor* 的根系分泌物中检测出存在胺类、吡喃类、茆类等特异物质。而醇类仅在接菌后的 *Z* 中检测出。不同茄子品种对黄萎病的抗性差异很可能与这些物质的种类与含量相关。

表 3 不同抗病性茄子根系分泌物对黄萎菌菌落生长的化感作用

Table 3 Allelopathy of root exudates from different resistant eggplants on mycelium growth of <i>Verticillium dahliae</i>					
根系分泌物 Root exudates	化感效应指数 (RI) RI value				
	4d	5d	6d	7d	8d
L	0.0613 a A	0.1369 a A	0.0653 a A	0.0676 a A	0.0636 a A
Z	-0.3510 b B	-0.2010 b B	-0.1060 b B	-0.1003 b B	-0.0481 b B
<i>S. sis</i>	-0.5900 c C	-0.4741 b B	-0.4853 c C	-0.3020 c C	-0.2656 c C
<i>S. tor</i>	-0.6513 c C	-0.6842 c C	-0.6373 d D	-0.6487 d D	-0.5693 d D

表 4 不同抗病性茄子品种根系分泌的化学物质组成

Table 4 The chemical substances of the root exudates from different resistant eggplants								
化学物质名称 Name of the chemical	相对含量 Relative content/%							
	未接菌 Without inoculation				接菌 Inoculation			
	<i>S. tor</i>	<i>S. sis</i>	<i>Z</i>	<i>L</i>	<i>S. tor</i>	<i>S. sis</i>	<i>Z</i>	<i>L</i>
烃类 Hydrocarbon	32.74	33.23	61.48	30.23	23.14	29.94	34.66	19.05
十二碳烯 1-Dodecene	1.48	—	—	—	0.63	—	—	—
月桂烷 Dodecane	1.76	1.36	—	2.24	2.72	1.38	—	1.61
2,4-二甲基庚烷 Heptane, 2,4-dimethyl-	1.02	—	—	—	—	0.72	1.21	—
正十五烷 Pentadecane	2.90	2.74	2.10	1.18	2.82	2.20	0.78	0.55
2,3,4-三甲基己烷 Hexane, 2,3,4-Trimethyl-	—	—	—	—	0.65	—	2.95	—
正二十烷 Eicosane	0.63	2.05	1.16	0.73	0.63	—	0.57	1.73
十八烷 Octadecane	—	—	4.20	0.61	—	2.60	—	—
2,4-二甲基十一烷 Undecane, 2,4-dimethyl-	2.26	0.79	—	—	—	0.80	2.95	2.48
十四烷 Tetradecane	—	1.53	3.17	1.65	—	1.29	1.18	1.64
二十六烷 Hexacosane	1.37	0.75	—	0.63	3.48	0.65	—	0.85
十九烷 Nonadecane	—	2.24	5.31	1.00	1.80	—	0.54	—
二十四烷 Tetracosane	0.76	0.83	4.11	3.16	1.11	2.37	0.55	—
2,6,10-三甲基十四烷 2,6,10-trimethyltetradecane	—	2.06	3.26	—	—	—	1.98	—
3,8-二甲基癸烷 Decane, 3,8-dimethyl-	1.15	3.62	6.28	1.77	1.80	1.37	0.53	0.85
二十二烷 Docosane	6.83	0.98	6.41	—	—	0.66	1.15	0.49
7,9-二甲基十六烷 Hexadecane, 7,9-dimethyl-	2.53	—	5.49	5.89	—	—	—	—
2-甲基十七烷 Heptadecane, 2-methyl-	1.30	2.24	2.97	—	2.45	4.82	6.60	—
十三烯 1-Tridecene	—	—	—	—	—	—	—	0.59
十六烷 Hexadecane	0.73	0.70	6.86	0.56	—	0.66	—	1.73
2-甲基十五烷 Pentadecane, 2-methyl-	0.92	1.15	—	—	—	—	—	—
植烷 Hexadecane, 2,6,10,14-tetramethyl-	—	0.71	—	0.79	0.88	—	3.84	0.63
蒎烷 (1R)-(+)-Trans-Pinane	—	—	—	0.56	—	—	—	—
二十七烷 Heptacosane	—	1.47	—	1.17	—	0.69	—	1.02

续表								
化学物质名称 Name of the chemical	相对含量 Relative content/%							
	未接菌 Without inoculation				接菌 Inoculation			
	S. tor	S. sis	Z	L	S. tor	S. sis	Z	L
二十五烷 Pentacosan	1. 18	1. 33	1. 80	0. 58	—	2. 94	0. 44	—
2-甲基十六烷 Hexadecane, 2-methyl-	0. 76	0. 87	—	3. 60	0. 72	—	0. 87	1. 07
正十七烷 Heptadecane	0. 76	—	8. 36	2. 28	0. 65	0. 81	0. 47	0. 90
3-甲基十七烷 Heptadecane, 3-methyl-	—	1. 06	—	—	—	0. 66	0. 88	0. 75
3-甲基十八烷 Octadecane, 3-methyl-	3. 03	1. 24	—	—	—	0. 78	3. 06	—
降值烷 2,6,10,14-Tetramethylpentadecane	—	—	—	0. 65	—	—	—	1. 03
三十烷 Triacontane	—	—	—	—	—	0. 62	0. 94	1. 13
2,6,11-三甲基十二烷 Dodecane, 2,6,11-trimethyl-	—	—	—	—	1. 25	1. 68	—	—
正二十八烷 Octacosane	1. 37	3. 51	—	1. 18	1. 55	2. 24	3. 17	—
酮类 Ketone	2. 98	0. 00	0. 00	0. 00	2. 71	0. 66	1. 16	5. 58
2-乙酰环戊酮 2-Acetylcyclopentanone	—	—	—	—	1. 1	—	—	—
2-甲基-4 癸酮 2-Methyl-4-decanone	—	—	—	—	—	0. 66	1. 16	—
4-甲基-5-壬酮 4-Methyl-5-nonanone	—	—	—	—	—	—	—	0. 64
4-十二酮 4-Dodecanone	—	—	—	—	—	—	—	0. 75
6-十二酮 6-Dodecanone	—	—	—	—	0. 66	—	—	1. 11
5,8-十三烷二酮 5,8-Tridecadione	—	—	—	—	0. 95	—	—	3. 08
2,3-二氢-2-甲基-7-苯基香豆酮 Benzofuran,3-dihydro-2-methyl-7-phenyl	2. 98	—	—	—	—	—	—	—
酯类 Ester	4. 76	4. 86	4. 99	3. 62	3. 88	4. 36	4. 53	5. 66
2-羟基十六烷酸甲酯 Hexadecanoic acid, 2-hydroxy-,methyl ester	—	—	—	0. 90	—	—	0. 46	0. 87
乙二醇月桂酸酯 Ethanol,2-(dodecyloxy) -	—	—	2. 15	—	—	—	—	—
四乙胺苯醋酯 Butetamate	1. 93	—	—	—	0. 65	—	—	—
邻苯二甲酸二异丁酯 1,2-Benzenedicarboxyli acid, bis(2-methylpropyl) ester	0. 93	1. 94	1. 49	1. 38	1. 27	1. 84	2. 30	2. 45
邻苯二甲酸二丁酯 Dibutyl phthalate	1. 90	2. 92	1. 35	1. 34	1. 96	2. 52	1. 77	2. 34
酚类 Phenol	22. 10	22. 60	24. 60	27. 90	19. 60	24. 10	26. 50	31. 10
2,4-二叔丁基苯酚 phenol,2,4-Bis(1,1-dimethylethyl)	22. 10	22. 60	24. 60	27. 90	19. 60	24. 10	26. 50	31. 10
酚酸类 Phenolic acid	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00	1. 24
3,5-二叔丁基苯甲酸 3,5-Di-tert-butylbenzoic acid	—	—	—	—	—	—	—	0. 49
2,4,6-三异丙基苯甲酸 2,4,6-Triisopropylbenzoic acid	—	—	—	—	—	—	—	0. 75
醛类 Aldehyde	0. 71	1. 87	—	0. 61	—	2. 56	2. 43	—
十四烷醛 Tetradecanal	—	1. 16	—	—	—	1. 9	1. 57	—
3,5-二叔丁基-4-羟基苯甲醛 3,5-di-tert-Butyl-4-hydroxybenzaldehyd	0. 71	0. 71	—	0. 61	—	0. 66	0. 86	0. 56
醇类 Alcohol	—	—	—	—	—	—	2. 58	—
植物醇 Phytol	—	—	—	—	—	—	0. 73	—
2-丁基辛醇 1-octano,2-butyl-	—	—	—	—	—	—	1. 85	—
醌类 Quinones	1. 46	1. 77	1. 92	0. 48	0. 84	1. 56	1. 74	0. 95
2,6-二叔丁基苯醌 2,5-Cyclohexadiene-1,4-dione, 2,6-bis(1,1-dimethylethyl)	1. 46	1. 77	1. 92	0. 48	0. 84	1. 56	1. 74	0. 95
其他 Others	2. 99	0. 00	0. 00	0. 00	4. 96	0. 00	0. 49	0. 00

续表

化学物质名称 Name of the chemical	相对含量 Relative content/%							
	未接菌 Without inoculation				接菌 Inoculation			
	S. tor	S. sis	Z	L	S. tor	S. sis	Z	L
双十二烷基乙醚 Dodecane, 1,1'-oxybis-	—	—	—	—	—	—	0.49	—
γ-壬内酯 2(3H)-Furanone, dihydro-5-pentyl-	—	—	—	—	1.21	—	—	—
早熟素Ⅱ 6,7-dimethoxy-2,2-dimethyl-2h-1-benzopyra;	—	—	—	—	3.75	—	—	—
N-癸基苯甲酰胺 Benzamide, N-decyl-	1.51	—	—	—	—	—	—	—
9-甲基-9-丁基芴 9H-Fluorene, 9-butyl-9-methyl-	1.48	—	—	—	—	—	—	—

3 讨论

众多研究表明,根系分泌物或其某些组成成分与土传病害的发生有密切关系。王宏乐利用 Real-time PCR 对土壤中黄瓜枯萎病病原物进行监测,结果表明:抗病品种根系分泌物抑制枯萎病菌在土壤中的存活,处理第 14 天已经不能检出;而感病品种根系分泌物却能延长枯萎病菌的存活时间,第 21 天仍可以检出^[15]。本研究中,抗病类型及耐病类型根系分泌物极显著抑制了黄萎菌菌落的生长,而感病类型则促进其生长。这种抑制或促进作用随时间延长而减弱。田间试验中,黄萎菌数量的变化更加说明了根系分泌物对于黄萎病的发生起到重要作用。接菌后,各品种根际黄萎菌的数量均不断增多,但感病品种增长快、增幅大。这一点与田间发病情况相吻合。

根系分泌物在对病原菌生长发育产生直接影响的同时,也可通过对土壤微生物的生态分布及多样性的影响,间接影响病原菌的生长^[16,5,17]。本研究也得出了相似结论:接菌后,由于土壤中黄萎菌数量剧增,造成与其它微生物的营养竞争,打破了已有的微生物间的平衡关系,导致细菌数量减少。除感病品种外,各茄子品种根际放线菌的数量均有所增长。而根际的真菌数量均增长,但感病品种的增长率极显著大于其它品种。由于细菌个体较小,生育期短,而在根际土壤中占有比重最大,所以接菌后细菌数量的减少,导致根际微生物总量的减少。但 B/F、A/F 值随品种抗性增强而增大,这很可能是由于抗病品种的根际分泌作用,使土壤保持了较高了细菌和放线菌比例即“细菌型”,或使土壤向“真菌型”转变减缓,进而减轻了土传病害的发生。

已有研究表明,根系分泌物通过其中某些化感物质对植株、土壤微生物(包括病原菌)的化感作用调节病害的发生、发展。叶素芬研究发现自毒物质肉桂酸能作用于根系细胞膜结构,从而使镰刀菌枯萎病菌更易入侵根部,破坏维管束系统进而影响植株生长及加速枯萎病的发生^[18]。胡元森研究发现根分泌物中的酚酸物质苯甲酸、对羟基苯甲酸、香草酸、苯丙酸、阿魏酸等苯甲酸的衍生物,对黄瓜连作病害发生有双重作用,一方面它使植株本身受到伤害,使其生长势变弱,抗逆性下降。另一方面,它直接刺激病原菌的生长^[19]。也有研究者认为,化感物质己二酸二异丁酯、邻苯二甲酸二丁酯、棕榈酸、肉豆蔻酸、香草醛、肉桂酸分别对茄子黄萎菌、辣椒枯萎菌的生长存在化感作用^[20-23]。本研究发现,苯甲酸的衍生物仅存在于感病类型 L 接菌后的根系分泌物中,而且酮类、酯类物质的种类与含量也明显增多,这可能是造成 L 的发病原因之一。而抗病类型 S. tor 接菌后产生的特异物质,早熟素Ⅱ已被证明为化感物质,具有强烈的化感作用,且与其它化感物质存在协同作用^[24-25]。另外,本研究鉴定出的邻苯二甲酸二丁酯、邻苯二甲酸二异丁酯等已经被证实为化感物质^[26-27]。也有研究证实,2,6-二异丙基苯酚、2,6-二叔丁基对甲酚、2,6-二叔丁基苯酚具有化感作用^[28-29]。而本研究中各茄子品种根系分泌物中普遍存在,且含量较高的物质,2,6-二叔丁基苯醌、2,4-二叔丁基苯酚,是否具有化感活性则有待进一步证实。有研究发现,咖啡树地上部的水淋溶液中存在的主要化感物质包括 C₁₂-C₁₈ 正烷烃,这些化感物质进入土壤后在微生物和其他理化因子作用下可以转化成脂肪酸,并随后进行甲酯化作用,而脂肪酸以及脂肪酸甲酯是对大多数植物都能产生化感效应的广谱性化感物质^[30]。本研究中,鉴定出十二烷(月桂烷)、十四烷、十六烷存在广泛,且存在相应的醚、酮、醛、酯类等物质,推断可能是由烷类经一系

列反应得到的产物,或者是由于检测中气化过程造成的,这一点需进行相应验证。不同抗病性茄子根系分泌物中决定其对黄萎病抗性的主要化感物质,各化感物质之间的相互作用及其化感作用机理等需经进一步试验验证。

4 结论

本研究发现,接种黄萎菌后不同抗病性茄子根际微生物的数量变化存在明显差异,抗病类型根际微生物结构更趋向于“细菌型”,B/F、A/F 值随抗性增强而增大。而根际黄萎菌数量则不断增加,且抗病类型菌量极显著小于耐病与感病类型。室内抑菌实验结果也再次证实,不同茄子品种根系分泌物对黄萎菌的化感作用与其抗病性相关,抗病类型根系分泌物抑制黄萎菌菌丝的生长,而感病类型则促进其生长,并且抑制或促进作用随作用时间延长而逐渐变弱。这些均与田间发病情况相吻合。对于根系分泌的鉴定结果为此提供了生物化学基础:抗病类型根系分泌物含有胺类、吡喃类、茚类等特异物质,而醇类仅存在于接菌后的耐病类型中,酚酸类仅存在于接菌后的感病类型中。另外,接菌后感病类型根系分泌中的酮类、酯类、酚类物质含量与其它类型相比增加量较大。化感物质的差异可能是造成不同茄子品种抗黄萎病差异的原因之一。

References:

- [1] Han X, Wu F Z, Pan K. Review on the relation between the root exudates and soil-spread disease. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 22 (2): 316-318.
- [2] Yuan H X, Li H L, Wang Y, Fang W P, Wang Z Y. The root exudates of cotton cultivars with the different resistance and their effects on *Verticillium dahliae*. Acta Phytopathologica Sinica, 2002, 32(2): 127-131.
- [3] Han X, Pan K, Wu F Z. Effect of Root exudates from cucumber cultivars on pathogen of Fusarium wilt. China Vegetable, 2006, (5): 13-15.
- [4] Pan K, Wu F Z. Correlation analysis of amino acids components in cucumber root exudates and fusarium wilt resistance. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(5): 1945-1950.
- [5] Pan K, Yao Y. Influence of different cucumber varieties' root exudates on the rhizosphere soil microorganisms and soil nutrient. Northern Horticulture, 2008, (8): 18-20.
- [6] Zhou B L, Jiang H, Zhao X. Relation between characteristics of resistance to *Verticillium* wilt of eggplant by graftage and root exudates of eggplant. Journal of Shenyang Agricultural University, 2001, 32(6): 414-417.
- [7] Lian H, Wang R H. Allelopathic effects of the root exudates of grafted eggplants on the *Verticillium* wilt, *Verticillium dahliae*. Plant Protection, 2009, 35(3): 63-65.
- [8] Liu N, Zhou B L, Li Y X, Hao J, Fu Y W. Allelopathy of the eggplant/tomato grafted eggplants root exudates to *Verticillium* wilt (*Verticillium dahliae*). Acta Horticulturae Sinica, 2008, 35(9): 1297-1304.
- [9] Yi J X, Chen J H, Gao J. Identification of resistance to *Verticillium dahliae* Kleb. In eggplant germplasm. Jiangsu Agricultural Sciences, 2000, (6): 54-57.
- [10] Xu G H, Zheng H Y. Edaphon Analyzing Method Manual. Beijing: Agricultural Press, 1986: 102-128.
- [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] Wang R H, Zhou B L, Zhang F L, Zhang Q F. Allelopathic effects of root extracts on *Verticillium* wilt (*Verticillium dahliae*). Allelopathy Journal, 2005, 15(1): 75-84.
- [13] Williamson G B, Richardson D. Bioassays for allelopathy: measuring treatment responses with independent controls. Journal of Chemical Ecology, 1988, 14(1): 181-187.
- [14] Liu N, Zhou B L, Zhao X, Lu B, Li Y X, Hao J. Grafting eggplant onto tomato rootstock to suppress *Verticillium dahliae* infection: the effect of root exudates. HortScience, 2009, 44(7): 2058-2062.
- [15] Wang H L. Effects of root exudates of cucumber on population of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum* in soil as detected by Real-time PCR. Journal of Shanghai Jiaotong University: Agricultural Science, 2010, 28(1): 41-45.
- [16] Yin Y L, Zhou B L, Li Y P, Fu Y W. Allelopathic effects of grafting on rhizosphere microorganisms population of eggplants. Acta Horticulturae Sinica, 2008, 35(8): 1131-1136.
- [17] Yin Y L, Zhou B L, Li Y P. Effects of grafting on rhizosphere microorganisms of eggplants. Allelopathy Journal, 2009, 23(1): 149-156.
- [18] Ye S F. Research on Promotive Effects of Fusarium wilt in *Cucumis sativus* by Cinnamic Acid, an Autotoxin in Root Exudates of *Cucumis sativus* L., and Mitigation Mechanism by Grafting and Cinnamic Acid-Degrading Microbial Strains. Huangzhou: Zhenjiang University, 2004.
- [19] Hu Y S, Li C X, Du G Y, Liu Y S, Jia X C. Identification of allelochemicals in cucumber root exudates and its allelopathy to radicle and *Fusarium oxysporum*. Ecology and Environment, 2007, 16(3): 954-957.
- [20] Liu N, Zhou B L, Li Y X, Lu B. Effects of diisobutyladipate on *Verticillium* wilt (*Verticillium dahliae*) and seedling growth of eggplant.

- Allelopathy Journal, 2009, 24(2): 291-300.
- [21] Zhou B L, Yin Y L, Zhang F L, Ye X L. Allelopathic effects of root exudates of grafted eggplants on *Verticillium dahliae* and their constituents' identification. Allelopathy Journal, 2010, 25(2): 393-402.
- [22] Li X, Zhou B L, Chen S L, Lin S S. Effects of the autotoxic substance in eggplants on pepper seed germ ination and *Fusarium oxysporum* f. sp. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(2): 960-965.
- [23] Zhang S X, Gao Z Q. Continuous cropping obstacle and rhizospheric microecology II. Root exudates and phenolic acids. Chinese Journal of Applied Ecology, 2000, 11(1): 152-156.
- [24] Kong C H, Xu T, Hu F. Allelopathy of *Ageratum conyzoides* II. Releasing mode and activity of main allelochemicals. Chinese Journal of Applied Ecology, 1998, 9(3): 257-260.
- [25] Kong C H, Hu F, Huang S S. Allelopathic potential and chemical constituents of volatile oil from *Ageratum conyzoides* under varying environment. Journal of Chemical Ecology, 2002, 28: 1578-1589.
- [26] Geng G D, Zhang S Q, Cheng Z H. Effects of different allelochemicals on mineral elements absorption of tomato root. China Vegetable, 2009, (4): 48-51.
- [27] Ren L Y, Zeng L, Zhang M X, Xu Y J. Deterrent effect of volatiles from *Cyclosorus parasiticus* on adult of *Liriomyza sativae*. Journal of South China Agricultural University: Natural Science Edition, 2004, 25(4): 35-38.
- [28] Zhou Y L. Research on Allelopathy and Allelochemicals of Garlic (*Allium sativum* L.) Root Exudates. Xian: Northwest A and F University, 2007.
- [29] Wang Y J, Yu J H, Zhang Y, Zhu H. Effects of two allelochemicals on growth and physiological characteristics of eggplant seedlings. Journal of Gansu Agricultural University, 2007, 42(3): 47-50.
- [30] Waller G R, Kumari D, Friedman J, Frideman N, Chou C H. Caffeine autotoxicity in *Coffea arabica* L. // Putnam A R, Tang C S, eds. The Science of Allelopathy. New York: John Wiley and Sons, 1986: 243-265.

参考文献:

- [1] 韩雪, 吴凤芝, 潘凯. 根系分泌物与土传病害关系之研究综述. 中国农学通报, 2006, 22(2): 316-318.
- [2] 袁虹霞, 李洪连, 王烨, 房卫平, 王振跃. 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.
- [3] 韩雪, 潘凯, 吴凤芝. 不同抗性黄瓜品种根系分泌物对枯萎病病原菌的影响. 中国蔬菜, 2006, (5): 13-15.
- [4] 潘凯, 吴凤芝. 枯萎病不同抗性黄瓜 (*Cucumis sativus* L.) 根系分泌物氨基酸组分与抗病的相关性. 生态学报, 2007, 27(5): 1945-1950.
- [5] 潘凯, 姚友. 不同黄瓜品种根系分泌物对根际土壤微生物及土壤养分的影响. 北方园艺, 2008, (8): 18-20.
- [6] 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.
- [7] 廉华, 王茹华. 嫁接茄子根系分泌物对黄萎病菌的化感作用. 植物保护, 2009, 35(3): 63-65.
- [8] 刘娜, 周宝利, 李铁修, 郝晶, 付亚文. 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, 2008, 35(9): 1297-1304.
- [9] 易金鑫, 陈静华, 高军. 茄子种质资源抗黄萎病性评估. 江苏农业科学, 2000, (6): 54-57.
- [10] 许光辉, 郑洪元. 土壤微生物分析方法手册. 北京: 农业出版社, 1986: 102-128.
- [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.
- [15] 王宏乐. 荧光定量 PCR 监测黄瓜根分泌物对土壤中枯萎病菌生物量的影响. 上海交通大学学报: 农业科学版, 2010, 28(1): 41-45.
- [16] 尹玉玲, 周宝利, 李云鹏, 付亚文. 嫁接对茄子根际土壤微生物种群的化感效应. 园艺学报, 2008, 35(8): 1131-1136.
- [18] 叶素芬. 黄瓜根系自毒物质对其根系病害的助长作用及其缓解机制研究. 杭州: 浙江大学, 2004.
- [19] 胡元森, 李翠香, 杜国营, 刘亚峰, 贾新成. 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.
- [22] 李夏, 周宝利, 陈绍莉, 蔺姗姗. 茄子自毒物质对辣椒种子萌发及枯萎菌的化感效应. 生态学报, 2009, 29(2): 960-965.
- [23] 张淑香, 高子勤. 连作障碍与根际微生态研究 II. 根系分泌物与酚酸物质. 应用生态学报, 2000, 11(1): 152-156.
- [24] 孔垂华, 徐涛, 胡飞. 胜红蓟化感作用研究 II. 主要化感物质的释放途径和活性. 应用生态学报, 1998, 9(3): 257-260.
- [26] 耿广东, 张素勤, 程智慧. 不同化感物质对番茄根系吸收矿质元素的影响. 中国蔬菜, 2009, (4): 48-51.
- [27] 任立云, 曾玲, 张茂新, 许益鏖. 华南毛蕨挥发油对美洲斑潜蝇成虫的行为干扰作用. 华南农业大学学报: 自然科学版, 2004, 25(4): 35-38.
- [28] 周艳丽. 大蒜 (*Allium sativum* L.) 根系分泌物的化感作用研究及化感物质鉴定. 西安: 西北农林科技大学, 2007.
- [29] 王玉洁, 郁继华, 张韵, 朱虹. 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, 2007, 42(3): 47-50.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 14 July, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

The sensitivity of Xiamen's three industrial sectors to land use changes	HUANG Jing, CUI Shenghui, LI Fangyi, et al (3863)
Desertification and change of landscape pattern in the Source Region of Yellow River	 HU Guangyin, DONG Zhibao, LU Junfeng, et al (3872)
Comparison of ecological significance of landscape diversity changes in karst mountains: a case study of 4 typical karst area in Guizhou Province	 LUO Guangjie, LI Yangbing, WANG Shijie, et al (3882)
Analysis on urban heat island effect based on the dynamics of urban surface biophysical descriptors	 XU Hanqiu (3890)
Primary exploration on the ecological land use classification in Beijing	TANG Xiumei, CHEN Baiming, LU Qingbin, et al (3902)
Changes of spectral reflectance of <i>Pinus koraiensis</i> and <i>Abies nephrolepis</i> along altitudinal gradients in Changbai Mountain	 FAN Xiuhua, LIU Weiguo, LU Wenmin, et al (3910)
Biomass allocation patterns and allometric models of <i>Abies nephrolepis</i> Maxim	 WANG Jinsong, ZHANG Chunyu, FAN Xiuhua, et al (3918)
Niche analysis of dominant species of macrobenthic community at a tidal flat of Yushan Island	 JIAO Haifeng, SHI Huixiong, YOU Zhongjie, et al (3928)
The influence of different food qualities on the energy budget and digestive tract morphology of Tree Sparrows <i>passer montanus</i>	 YANG Zhihong, SHAO Shuli (3937)
The response of ecosystem service values to ambient environment and its spatial scales in typical karst areas of northwest Guangxi, China	 ZHANG Mingyang, WANG Kelin, LIU Huiyu, et al (3947)
Root morphology characteristics under alternate furrow irrigation	LI Caixia, SUN Jingsheng, ZHOU Xinguo, et al (3956)
Allelopathy of the root exudates from different resistant eggplants to verticillium wilt (<i>Verticillium dahliae</i> Kleb.)	 ZHOU Baoli, CHEN Zhixia, DU Liang, et al (3964)
Biological cycle and accumulation of lanthanum in the forage-mushroom-soil system	 WENG Boqi, JIANG Zhaowei, WANG Yixiang, et al (3973)
Evaluation of soil loss and transportation load of adsorption N and P in Poyang Lake watershed	 YU Jinxiang, ZHENG Bofu, LIU Yafei, et al (3980)
Effects of soil resource availabilities on vertical distribution and dynamics of fine roots in a <i>Caragana korshinskii</i> plantation	 SHI Jianwei, WANG Mengben, CHEN Jianwen, et al (3990)
Effects of soil salinization on ammonia volatilization characteristics of urea and urea phosphate	 LIANG Fei, TIAN Changyan (3999)
Distribution of marine bacteria and their environmental factors in Xiangshan Bay	 YANG Jifang, WANG Haili, CHEN Fusheng, et al (4007)
Concentration of O ₃ at the atmospheric surface affects the changes characters of antioxidant enzyme activities in <i>Triticum aestivum</i>	 WU Fangfang, ZHENG Youfei, WU Rongjun, et al (4019)
Effects of inhibitor and safener on enzyme activity and phenanthrene metabolism in root of tall fescue	 GONG Shuaishuai, HAN Jin, GAO Yanzheng, et al (4027)
Screening of highly-effective rhizobial strains on Alfalfa (<i>Medicago polymorpha</i>) in soil	 LIU Xiaoyun, GUO Zhenguo, LI Qiaoxian, et al (4034)
Geochemical evolution processes of soil major elements in the forest-dominated Jinshui River Basin, the upper Hanjiang River	 HE Wenming, ZHOU Jie, ZHANG Changsheng, et al (4042)
Integrating geographic features and weather data for methodology of rasterizing spring maize growth stages	 LIU Qin, YAN Changrong, MEI Xurong, et al (4056)
A model for predicting flowering date and external quality of cut tulip in solar greenhouse	 LI Gang, CHEN Yaru, DAI Jianfeng, et al (4062)
Moisture effect analysis of pumpkin and oil sunflower intercropping in semi-arid area of northwest Hebei Province	 HUANG Wei, ZHANG Junhua, LI Wenhong, et al (4072)
Review and Monograph	
Theoretical backgrounds and recent advances in avian molecular phylogeography	DONG Lu, ZHANG Yanyun (4082)
A review on spatial attributes of nature reserves and optimal site-selection methods	WANG Yicheng (4094)
Human activities are the principle cause of biotic homogenization	CHEN Guoqi, QIANG Sheng (4107)
Factors influencing the occurrence of <i>Ophiocordyceps sinensis</i>	ZHANG Guren, YU Junfeng, WU Guangguo, et al (4117)
Molecular detection of diversity of methanogens and methanotrophs in natural wetland soil	SHE Chenxing, TONG Chuan (4126)
Scientific Note	
Soil quality assessment of continuous cropping cotton fields for different years in a typical oasis in the upper reaches of the Tarim River	GONG Lu, ZHANG Haifeng, LÜ Guanghui, et al (4136)
Dynamics of microbial biomass during litter decomposition in the alpine forest	 ZHOU Xiaoqing, WU Fuzhong, YANG Wanqin, et al (4144)
The aerodynamic roughness length of biological soil crusts: a case study of Gurbantungut Desert	 WANG Xueqin, ZHANG Yuanming, ZHANG Weimin, et al (4153)
Differences among population quantities and community structures of pests and their natural enemies in tea gardens of different altitudes	KE Shengbing, DANG Fenghua, BI Shoudong, et al (4161)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 14 期 (2011 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 14 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元