

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第3期

Vol.33 No.3

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版



目次

典型排放源黑碳的稳定碳同位素组成研究	陈颖军,蔡伟伟,黄国培,李军,张干(673)
天山典型冰川区雪冰中碳质气溶胶浓度特征研究	王圣杰,张明军,王飞腾,李忠勤(679)
兰州市夏秋季颗粒物谱分布特征研究	赵素平,余晔,陈晋北,刘娜,何建军(687)
不同交通状况下道路边大气颗粒物数浓度粒径分布特征	杨柳,吴焯,宋少洁,郝吉明(694)
南京市夏季大气气溶胶新粒子生成事件分析	王红磊,朱彬,沈利娟,康汉青,刁一伟(701)
西北干旱区降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 变化特征及其水汽输送	李小飞,张明军,李亚举,王圣杰,黄小燕,马潜,马雪宁(711)
海南东部河口和近岸海域总溶解态无机砷的分布及季节变化	曹秀红,任景玲,张桂玲,张金娥,杜金洲,朱德弟(720)
大辽河口痕量元素砷的河口混合行为	简慧敏,姚庆祯,于立霞,田琳(727)
渤海湾表层沉积物各形态重金属的分布特征与生态风险评价	徐亚岩,宋金明,李学刚,袁华茂,李宁(732)
青岛近岸表层海水中 PAHs 的分布特征及物源初步解析	李先国,邓伟,周晓,唐旭利,魏新运,王岩(741)
广西乐业大石围天坑群多环芳烃的干湿沉降	孔祥胜,祁士华,黄保健,张原,李杰(746)
上海宝山区城市土壤铅污染来源的同位素判别	董辰寅,张卫国,王冠,马鸿磊,刘圆,刘莹,叶雷平,俞立中(754)
溶质迁移模型在地下水有机污染源识别中的应用	王树芳,王丽亚,王晓红,林沛,刘久荣,辛宝东,贺国平(760)
地下水污染风险评价中特征污染物量化方法探讨	王俊杰,何江涛,陆燕,刘丽雅,张小亮(771)
用于地下水回灌的再生水预处理工艺研究	高清端,张薛,赵璇,赵刚(777)
菲律宾蛤仔养殖对胶州湾沉积物-水界面生源要素迁移的影响	邓可,刘素美,张桂玲,陆小兰,张经(782)
南京市九乡河流域景观格局空间分异对河流水质的影响	胡和兵,刘红玉,郝敬峰,安静(794)
上海都市农业村域地表水非点源氮素的时空分异特征	王楠,毛亮,黄海波,张进忠,周培(802)
不同粒径地表街尘中重金属在径流冲刷中的迁移转化	何小艳,赵洪涛,李叙勇,连宾,王小梅(810)
新型人工湿地对工业区降雨径流的净化研究	何丽君,马邕文,王金泉,李东亚,王艳(817)
改性膨润土应急截留液态有机物的性能及机制	李宇,刘贤君,张兴旺,雷乐成(825)
卵圆卡盾藻香港株过氧化氢产生的影响因素研究	江涛,吴霓,钟艳,江天久(832)
芽孢杆菌 B1 胞外活性物质对球形棕囊藻的溶藻特性研究	李蕾,赵玲,尹平河(838)
底泥对洋河水库微囊藻和鱼腥藻生长影响的研究	储昭升,张玉宝,金相灿,徐颖,杨红君(844)
新型无极准分子光源深度处理水中含 N-杂环化合物	叶招莲,汪斌,路娟娟,李峰,张仁熙(849)
La/Ce 掺杂钛基二氧化铅电极的制备及电催化性能研究	郑辉,戴启洲,王家德,陈建孟(857)
DTT 对三苯基甲染料脱色的研究	潘涛,刘大伟,任随周,郭俊,孙国萍(866)
pH 及络合剂对亚铁活化 $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ 氧化去除活性艳蓝的影响研究	张成,王金泉,马邕文,王艳,黄明智,兰明(871)
臭氧降解高浓度腐殖酸动力学	郑可,周少奇,杨梅梅(879)
采用体积信息熵表征颗粒污泥系统稳定性及其稳定机制	李志华,姬晓琴,李胜,谢磊,赵海龙,王晓昌(885)
活性污泥的理化性质与絮凝调理投药量的关系	李婷,王毅力,冯晶,徐萌(889)
不同颗粒龄的好氧颗粒污泥性能的研究	周曼,杨昌柱,濮文虹,罗应东,龚建宇(896)
颗粒粒径与数量对硝化与反硝化过程的影响	李志华,曾金锋,李胜,姬晓琴,王晓昌(903)
氧化沟不同曝气模式对氮磷去除性能的优化与比较	郭昌梓,彭党聪,陈雪梅,王丹(910)
生物沥浸的酸化效应对城市污泥脱水性能的影响	朱海风,周立祥,王电站(916)
2 种不同生物接触氧化工艺性能差异的微生物生态研究	钱殷,全向春,裴元生,马景赞,陶锟(922)
微生物群落对土壤微生物呼吸速率及其温度敏感性的影响	范分良,黄平容,唐勇军,李兆君,梁永超(932)
干旱沙区人工固沙植被演变过程中土壤有机碳氮储量及其分布特征	贾晓红,李新荣,周玉燕,李元寿(938)
密云水库上游流域土壤有机碳和全氮密度影响因素研究	王淑芳,王效科,欧阳志云(946)
外加营养源作用下微生物黏结剂对土壤团聚体的影响	莫艳华,汤佳,张仁铎,李方舟(952)
低分子量腐殖酸改性蒙脱土对黄曲霉素的吸附作用	姚佳佳,康福星,高彦征(958)
液固比对土壤洗涤去除多环芳烃效果的影响	吴威,姜林,陈家军,彭胜(965)
基于 PPI 的土地利用优化研究	武晓峰,李婷(971)
若尔盖高原湿地藻类多样性研究	陈曦,刘如钢,王艳芬,张洪勋(979)
3 种杀真菌剂对 AM 真菌侵染和黄芩生长的影响	贺学礼,王平,马丽,孟静静(987)
崇明东滩夏季沉积物厌氧氨氧化菌群落结构与空间分布特征	郑艳玲,侯立军,陆敏,谢冰,刘敏,李勇,赵慧(992)
厌氧条件下 2,2',4,4'-四溴联苯醚的微生物降解	卢晓霞,陈超琪,张姝,欧阳,尹力,吴蔚(1000)
重金属对白腐菌降解十溴联苯醚的影响	熊士昌,尹华,彭辉,何宝燕,龙焰,叶锦韶,张娜,彭素芬(1008)
有机农药滴滴涕和毒死蜱生物降解机制的分子模拟研究	林玉珍,曾光明,张斌,陈明,蒋敏,张嘉超,鲁伦慧,刘利锋(1015)
高效木薯渣分解复合菌群 RXS 的构建及其发酵特性研究	何江,毛忠贵,张庆华,张建华,唐蕾,张宏建(1020)
四环素类抗生素污染畜禽粪便的厌氧消化特征	童子林,刘元璐,胡真虎,袁守军(1028)
上推流厌氧反应器连续干发酵猪粪产沼气试验研究	陈闯,邓良伟,信欣,郑丹,刘刈,孔垂雪(1033)
《环境科学》征稿简则(878) 《环境科学》征订启事(1007) 信息(759, 770, 870, 1027)	

3 种杀真菌剂对 AM 真菌侵染和黄芩生长的影响

贺学礼, 王平, 马丽, 孟静静

(河北大学生命科学学院, 保定 071002)

摘要: 为了合理施用杀真菌剂, 充分利用 AM (arbuscular mycorrhiza) 真菌资源提高中药材产量和品质, 减少农药投入和环境污染. 本试验在土培条件下, 以非灭菌土为生长基质, 研究了喷施苯菌灵、苯醚甲环唑和氟硅唑对 AM 真菌 (摩西球囊霉 *Glomus mosseae*) 侵染和黄芩 (*Scutellaria baicalensis*) 生长的影响. 结果表明, 同一施药条件下, 接种摩西球囊霉总体上表现出促进黄芩生长的趋势, 但菌根效应因杀真菌剂不同而有差异. 不同施药条件下, 未接种黄芩生长受到抑制, 接种株中, 喷施苯菌灵, 植株地上部 K 和地下部 Fe 含量显著降低; 喷施苯醚甲环唑, 植株全 N、地上部 K、地下部黄芩苷和 Ca 含量显著降低; 喷施氟硅唑, 菌根侵染率、植株全 P、黄芩苷、K、地上部 Cu、地下部全 N、Ca、Zn 和 Fe 含量显著降低. 氟硅唑对摩西球囊霉和黄芩生长抑制效果大于苯醚甲环唑和苯菌灵. 说明氟硅唑对摩西球囊霉毒性大. 因此, 为了减轻杀真菌剂对 AM 真菌的危害, 发挥菌根效应, 在达到防治病害的基础上应选用对 AM 真菌毒性小的杀真菌剂.

关键词: 杀真菌剂; 摩西球囊霉; 黄芩苷; 微量元素; 黄芩

中图分类号: X171 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)03-0987-05

Effects of Three Fungicides on Arbuscular Mycorrhizal Fungal Infection and Growth of *Scutellaria baicalensis* Georgi

HE Xue-li, WANG Ping, MA Li, MENG Jing-jing

(College of Life Sciences, Hebei University, Baoding 071002, China)

Abstract: To make full use of arbuscular mycorrhizal (AM) fungal resources to increase the quantity and quality of Chinese medicinal materials and reduce the use of fungicide and environmental pollution, this research was carried out under pot culture condition to study the effects of benomyl, difenconazole and flusilazol on AM fungal (*Glomus mosseae*) colonization and the growth of *Scutellaria baicalensis*. The results showed that *Glomus mosseae* generally promoted the growth of host plant under the same fungicide application, and the effect of *Glomus mosseae* was different with different fungicides. The growth of non-mycorrhizal *Scutellaria baicalensis* was inhibited by applying with different fungicides. On mycorrhizal plants, contents of K in shoot and Fe in root significantly decreased under benomyl treatment; the contents of total N, K in shoot, Baicalin and Ca in root significantly decreased under difenconazole treatment; mycorrhizal colonization, the contents of total P, Baicalin, K and Cu in shoot, total N, Ca, Zn and Fe in root significantly decreased under flusilazol. The inhibitory effects of flusilazol on the *Glomus mosseae* colonization and growth of *Scutellaria baicalensis* were greater than those of difenconazole and benomyl. It is reasonable to choose less toxic fungicides in *Scutellaria baicalensis* cultivation to reduce the harmful effects on arbuscular mycorrhizal fungi.

Key words: fungicide; *Glomus mosseae*; baicalin; microelement; *Scutellaria baicalensis*

中药黄芩为唇形科黄芩 (*Scutellaria baicalensis* Georgi) 植株干燥根, 具有清热燥湿、泻火解毒、止血、安胎等功效^[1]. 黄芩有效成分是黄酮类化合物, 其中以黄芩苷 (baicalin) 药理活性最强^[2].

AM (arbuscular mycorrhiza) 真菌是一类能与绝大多数高等植物根系形成共生关系的土壤有益微生物, 能够促进植物生根, 增加植物生物量, 促进植物生长^[3]. 近年来将 AM 真菌作为菌剂使用已成为提高药用植物产量和品质的有效途径, 而杀真菌剂的广泛使用虽然对保障药用植物正常生长、提高作物产量有重要作用, 但同时也产生了一些负面效应^[4]. 研究表明杀真菌剂的使用抑制 AM 真菌新陈代谢活动和生长, 对宿主植物根侵染产生胁迫和伤害^[5-8]. 目前关于杀真菌剂对 AM 真菌和黄芩生长

影响, 特别是对黄芩中黄芩苷和微量元素影响的研究尚鲜见报道.

本试验在盆栽条件下, 研究了喷施不同杀真菌剂 (苯菌灵、苯醚甲环唑、氟硅唑) 对 AM 真菌摩西球囊霉侵染和黄芩生长的影响, 旨在为合理施用杀真菌剂, 充分利用 AM 真菌资源提高中药材产量和品质提供依据.

1 材料与方法

1.1 试验材料

收稿日期: 2011-04-24; 修订日期: 2011-06-21

基金项目: 河北省自然科学基金项目 (C2010000273)

作者简介: 贺学礼 (1963 ~), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为药用植物资源利用及菌根生物技术, E-mail: xuellh1256@yahoo.com.cn

供试土壤取自河北保定农田土,土壤有机质 10.50 mg/g, 碱解 N 61.60 $\mu\text{g/g}$, 速效 P 12.68 $\mu\text{g/g}$, pH(H_2O) 8.30. 试验容器为 21.5 cm $\times$ 16 cm $\times$ 20.5 cm 的塑料盆.

供试植物为黄芩,种子购自河北省安国市药材市场. 接种剂是摩西球囊霉(*Glomus mosseae* Nicolson & Gerdemanne, GM), 经黑麦草、三叶草扩大繁殖后获得含有孢子、菌丝和侵染根段的根际土,每 10 g 菌土含 30 个孢子,侵染率为 78%.

1.2 试验设计

试验设 4 个施药条件,分别喷施苯菌灵、苯醚甲环唑、氟硅唑和清水(对照). 同一施药条件下设接种(GM)和不接种(CK)2 个处理,共 8 个处理,每个处理重复 4 次,接种处理每盆层施菌剂 40 g,对照处理每盆加等量灭菌菌剂.

非灭菌土、沙在装盆前过 2 mm 筛,按土:沙质量比 2:1 混匀,每盆装土沙混合基质 4 kg. 同时,每盆加 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 1.28 g、 KH_2PO_4 0.77 g 和 K_2SO_4 0.85 g. 试验盆随机排列. 2010-04-13 播种,出苗后间留 4 株,生长期间温室常规管理. 出苗后第 60 d 按使用说明配制杀真菌剂,分别喷施清水、2 000 倍 25% 苯菌灵、10 000 倍 25% 苯醚甲环唑和 1 000 倍 50% 氟硅唑,喷施量为 1 mL/株. 2010-07-28 收苗,进行各种相关指标测定.

1.3 测定方法

黄芩收获时菌根侵染率按文献[9]的方法测定;干重用称重法;全 N 用凯氏定氮法;全 P 用钒钼酸比色法^[10];黄芩苷用紫外分光光度法^[11];K、Ca、Mg、Mn、Fe、Cu、Zn 用火焰原子吸收法^[12].

1.4 数据处理

试验数据采用 Excel 和 SPSS 16.0 统计软件 One-way ANOVA 程序进行统计分析,不同杀真菌剂条件下接种或对照平均值按 Duncan 新复极差分析进行多重比较,同一杀真菌剂下接种摩西球囊霉与对照用 *t*-test 进行比较,接种摩西球囊霉和杀真菌剂处理作用以及二者之间的交互作用用 Univariate 程序进行双因子方差分析.

2 结果与分析

2.1 摩西球囊霉和不同杀真菌剂对黄芩植株生长的影响

2.1.1 菌根侵染率

由表 1 可知,同一施药条件下,接种摩西球囊霉后,喷施清水、苯菌灵和氟硅唑菌根侵染率均显著升高. 不同施药条件下,未接种株和接种株中,与喷施清水相比,仅喷施氟硅唑的菌根侵染率显著降低.

2.1.2 黄芩干重

同一施药条件下,接种摩西球囊霉后,喷施清水和苯醚甲环唑,地上部干重显著升高;喷施苯菌灵,地下部干重显著升高;喷施氟硅唑,植株干重无显著变化. 不同施药条件下,未接种和接种株中,与喷施清水相比,植株干重均无显著差异.

2.1.3 黄芩全 N 和全 P 含量

同一施药条件下,接种摩西球囊霉后,喷施清水,仅地上部全 P 含量显著升高;喷施苯菌灵,仅地下部全 P 含量显著升高;喷施苯醚甲环唑,全 N 和全 P 含量无显著变化;喷施氟硅唑,仅地上部全 N 含量显著升高.

表 1 不同杀真菌剂下 GM 对黄芩生长和化学成分的影响¹⁾

Table 1 Effects of GM on the growth and chemical components of *Scutellaria baicalensis* under different fungicides

项目	处理	侵染率/%	干重/g		全 N/%		全 P/%		黄芩苷/%	
			地上部	地下部	地上部	地下部	地上部	地下部	地上部	地下部
清水	CK	40.00a	0.91a	0.17a	1.48a	1.93a	0.21a	0.27a	0.98a	2.91a
	GM	68.50A*	1.26A*	0.23A	1.43A	2.14A	0.29A*	0.35AB	1.25A	3.42A*
苯菌灵	CK	31.65ab	0.92a	0.15a	1.27a	1.75a	0.21a	0.25a	0.92a	2.78ab
	GM	55.70A*	1.19A	0.21A*	1.52A	2.07AB	0.23AB	0.39A*	1.12AB	3.29AB
苯醚甲环唑	CK	26.50ab	0.75a	0.14a	1.42a	1.62b	0.17a	0.24ab	0.94a	2.72ab
	GM	49.50AB	1.12A*	0.18A	1.36B	1.80C	0.24AB	0.33AB	1.05AB	3.17BC
氟硅唑	CK	23.50b	0.79a	0.14a	1.24a	1.70ab	0.19a	0.20b	0.88a	2.58b
	GM	40.30C*	1.04A	0.17A	1.54A*	1.89BC	0.22B	0.28B	1.03B	3.05C
显著性	P(F)	0.000	0.000	0.005	0.905	0.098	0.225	0.056	0.013	0.001
	P(GM)	0.000	0.001	0.000	0.003	0.001	0.005	0.000	0.000	0.000
	P(F $\times$ GM)	0.700	0.724	0.109	0.492	0.571	0.343	0.820	0.349	0.975

1) GM: 接种摩西球囊霉, CK: 未接种; 同一列中不同小写字母表示喷施不同杀真菌剂时未接种株在 5% 水平上差异显著, 同一列大写字母表示喷施不同杀真菌剂时接种株在 5% 水平上差异显著, 同一列 * 表示在同一杀真菌剂下未接种与接种株在 5% 水平上差异显著; $P(F) < 0.05$ 表示喷施不同杀真菌剂在 5% 水平上差异显著, $P(GM) < 0.05$ 表示接种 GM 在 5% 水平上差异显著, $P(F \times GM) < 0.05$ 表示喷施杀真菌剂和接种 GM 在 5% 水平上有显著交互作用, 下同

不同施药条件下,未接种株中,与喷施清水相比,喷施苯菌灵,全 N 和全 P 含量无显著变化;喷施苯醚甲环唑,仅地下部全 N 含量显著降低;喷施氟硅唑,仅地下部全 P 含量显著降低. 接种株中,与喷施清水相比,喷施苯菌灵,全 N 和全 P 含量无显著变化;喷施苯醚甲环唑,全 N 含量显著降低;喷施氟硅唑,地下部全 N 和地上部全 P 含量显著降低.

2.1.4 黄芩苷含量

同一施药条件下,接种摩西球囊霉后,喷施清水,地下部黄芩苷含量显著升高;喷施苯菌灵、苯醚甲环唑和氟硅唑黄芩苷含量无显著变化.

不同施药条件下,未接种株中,与喷施清水相比,仅喷施氟硅唑地下部黄芩苷含量显著降低. 接种株中,与喷施清水相比,喷施苯菌灵,植株黄芩苷含量无显著变化;喷施苯醚甲环唑,地下部黄芩苷含量显著降低;喷施氟硅唑,植株黄芩苷含量显著降低.

双因子方差分析结果表明,杀真菌剂对黄芩菌根侵染率、植株干重、植株黄芩苷含量均有显著影响 ($P < 0.05$); 接种摩西球囊霉对菌根侵染率、植株干重、全 N、全 P、黄芩苷含量均有显著影响 ($P < 0.05$); 接种摩西球囊霉和喷施不同杀真菌剂对菌

根侵染率、植株干重、全 N、全 P 和黄芩苷含量均无显著交互作用 ($P > 0.05$).

2.2 黄芩宏量元素含量

由表 2 可知,同一施药条件下,接种摩西球囊霉后,喷施清水,K 和地下部 Ca 含量显著升高;喷施苯菌灵,K、Ca 和 Mg 含量无显著变化;喷施苯醚甲环唑,Ca、地上部 Mg 和地下部 K 含量显著升高;喷施氟硅唑,地下部 Ca 和 Mg 含量显著升高.

不同施药条件下,未接种株中,与喷施清水相比,喷施苯菌灵,地下部 Ca 和 K 含量显著升高;喷施苯醚甲环唑,K 和地上部 Ca 含量显著降低,地下部 Ca 含量显著升高;喷施氟硅唑,Mg 和地上部 K 含量显著降低. 接种株中,与喷施清水相比,喷施苯菌灵,地上部 K 和地下部 Ca 含量显著降低;喷施苯醚甲环唑和氟硅唑,地上部 K 和地下部 Ca 含量显著降低.

双因子方差分析结果表明,杀真菌剂对黄芩地下部 K、Ca 和 Mg 含量有显著影响 ($P < 0.05$); 接种摩西球囊霉对植株 K、地下部 Ca 和 Mg 含量有显著影响 ($P < 0.05$); 杀真菌剂和接种摩西球囊霉对地下部 K、Ca 和 Mg 有显著交互作用 ($P < 0.05$).

表 2 不同杀真菌剂下 GM 对黄芩宏量元素的影响/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$

Table 2 Effects of GM on the macroelement of <i>Scutellaria baicalensis</i> under different fungicides/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$							
项目	处理	K		Ca		Mg	
		地上部	地下部	地上部	地下部	地上部	地下部
清水	CK	1576.5a	1961.6ab	5352.8a	644.5c	969.9a	926.5a
	GM	1774.1A *	2401.4 A *	5137.1 A	2512.5A *	976.8A	915.2A
苯菌灵	CK	1564.0 a	2483.1a	5269.5a	2238.3a	944.9 a	907.2a
	GM	1702.6 B	2395.4 A	5345.9 A	2113.3BC	958.6A	908.8A
苯醚甲环唑	CK	1416.6 b	1365.7c	5050.8b	1241.6b	925.7ab	817.1ab
	GM	1641.3 B	2359.4A *	5370.5 A *	2384.0B *	959.1A *	923.5A
氟硅唑	CK	1495.9 b	1922.3b	5314.9a	752.1bc	938.6c	762.5b
	GM	1622.1 BC	2386.6A	5224.3 A	1769.2D *	947.4A	908.8A *
显著性	P(F)	0.531	0.011	0.939	0.000	0.300	0.001
	P(GM)	0.040	0.001	0.843	0.000	0.229	0.000
	P(F × GM)	0.962	0.018	0.384	0.000	0.871	0.004

2.3 黄芩微量元素含量

由表 3 可知,同一施药条件下,接种摩西球囊霉,喷施清水,地下部 Zn 和 Fe 含量显著升高,地上部 Fe 含量显著降低;喷施苯菌灵,地上部 Fe 和地下部 Cu 含量显著降低;喷施苯醚甲环唑,地下部 Cu、Mn、Zn 和 Fe 含量显著升高;喷施氟硅唑,Fe 含量显著升高.

不同施药条件下,未接种株中,与喷施清水相比,喷施苯菌灵,植株 Fe 和地上部 Mn 含量显著升

高;喷施苯醚甲环唑,植株 Mn 和地下部 Cu 含量显著降低,地下部 Fe 含量显著升高;喷施氟硅唑,植株 Cu 和地下部 Mn、Zn 和 Fe 含量显著降低,地上部 Zn 含量显著升高. 接种株中,与喷施清水相比,喷施苯菌灵,地下部 Zn 和 Fe 含量显著降低,地上部 Fe 含量显著升高;喷施苯醚甲环唑,地上部 Fe 含量显著升高;喷施氟硅唑,地上部 Cu 和地下部 Zn、Fe 含量显著降低,地上部 Fe 含量显著升高.

双因子方差分析结果表明,杀真菌剂对黄芩

表 3 不同杀真菌剂下 GM 对黄芩微量元素的影响/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$

Table 3 Effects of GM on the microelement of *Scutellaria baicalensis* under different fungicides/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$

项目	处理	Cu		Mn		Zn		Fe	
		地上部	地下部	地上部	地下部	地上部	地下部	地上部	地下部
清水	CK	13.9a	16.0a	43.8b	21.3a	18.9b	97.6a	385.1b [*]	403.0c
	GM	11.8A	11.4A	45.7A	21.9A	16.8A	134.7A [*]	295.0D	712.9A [*]
苯菌灵	CK	10.4ab	17.1a [*]	56.0a	20.2a	19.1 b	98.8a	557.9a [*]	544.8a
	GM	10.8A	12.9A	47.5A	19.7A	19.8 A	103.5B	339.6C	596.0C
苯醚甲环唑	CK	10.7ab	7.6b	36.2c	12.3b	18.2 b	95.8a	362.0b	431.6b
	GM	9.5A	11.8A [*]	48.4A	22.9A [*]	18.0 A	130.7A [*]	384.4B	669.5AB [*]
氟硅唑	CK	6.5b	9.1b	49.8b	11.2b	23.1 a	70.9b	373.9b	329.1d
	GM	6.9B	10.3AB	48.1A	20.6A	20.3 A	86.1B	438.3A [*]	598.6C [*]
显著性	P(F)	0.000	0.000	0.006	0.000	0.006	0.000	0.000	0.001
	P(GM)	0.318	0.132	0.569	0.000	0.142	0.000	0.000	0.000
	P(F×GM)	0.508	0.000	0.004	0.000	0.308	0.003	0.000	0.000

Cu、Mn、Zn 和 Fe 含量有显著影响 ($P < 0.05$)；接种摩西球囊霉对植株 Fe、地下部 Mn 和 Zn 含量有显著影响 ($P < 0.05$)；杀真菌剂和接种摩西球囊霉对植株 Fe、Mn、地下部 Zn 和 Cu 含量有显著交互作用 ($P < 0.05$)。

3 讨论

本试验中,同一杀真菌剂,接种摩西球囊霉提高了黄芩菌根侵染率. AM 真菌侵染植物根系后,菌丝在宿主植物根皮层细胞间或细胞内形成典型的泡囊-丛枝结构,也可向根外广泛分枝扩展形成庞大的根外菌丝体,扩大了宿主植物根系吸收面积,促进植株根系对土壤 N、P 等矿质元素和水分吸收,改善植物水分和矿质营养状况,促进黄芩生长^[13]. 本试验中,分别施用 3 种杀真菌剂后降低了摩西球囊霉侵染率,这是由于杀真菌剂对 AM 真菌菌丝有毒害作用,抑制 AM 真菌侵染和扩展、根内菌丝酶活性、根外菌丝生长和活性^[14,15]. 此外,AM 真菌生长发育和对宿主植物根系的侵染还受土壤微生物、pH、土壤类型和营养状况等多种因素影响. 相同处理下,氟硅唑对摩西球囊霉生长和发育及全 N、全 P 吸收抑制效果大于苯醚甲环唑和苯菌灵,说明氟硅唑对摩西球囊霉毒性最大,可能是由于 AM 真菌对不同杀真菌剂的敏感程度不同,也可能是由于不同杀真菌剂对 AM 真菌发育、产孢影响程度不同.

黄芩苷是从黄芩根中提取分离出来的一种黄酮类化合物,也是黄芩根的主要有效成分^[2]. 试验结果表明,喷施同一杀真菌剂,接种摩西球囊霉后,植株黄芩苷含量升高. 这与赵金莉等^[16]和滕华容等^[17]研究结果一致. 可能是由于接种 AM 真菌后促进了土壤 P 的吸收,而 P 含量增加有利于光合作用

进行,促进地上部生长,使养分更多运向根部,增加根部有机物质积累,提高了黄芩苷含量^[18]. 喷施 3 种杀真菌剂,与对照相比,植株黄芩苷含量均降低,且降低幅度以喷施氟硅唑最大. 研究表明,杀菌剂可能破坏土壤生态环境从而影响植物生长和土壤微生物结构和多样性. 杀真菌剂一般作用于真菌生理过程,干扰呼吸、脂肪酸合成和细胞分裂,在有效杀灭病原真菌的同时对非目标生物可能产生危害^[19,20]. 所以,杀真菌剂对黄芩的影响是对共生双方共同作用的结果,宿主植物对杀菌剂的吸收和传导直接抑制了 AM 真菌生长,而 AM 真菌生长受到抑制反过来减弱了菌根效应,不利于宿主生长,从而影响了根部有机物质积累,黄芩苷含量降低,形成一种恶性循环^[8].

研究发现,除有机药用成分外,K、Ca、Mg、Fe、Zn、Cu、Mn 等营养元素也是生命活动必不可少的物质,在生物体内发挥着重要作用,对于评价黄芩性能和药效提供有价值的信息^[21]. 本试验结果表明,接种摩西球囊霉后,能一定程度增加黄芩对这些营养元素的吸收和利用. 这与李晓林等^[22]的研究结果一致. 可能是因为当土壤中一些移动性较弱的营养元素如 Zn、Cu、Fe 等供应不足时,AM 真菌的侵染能有效促进宿主植物对这些养分的吸收和利用^[23~25]. 本试验中,喷施 3 种杀真菌剂后,均抑制黄芩营养元素的吸收,其中氟硅唑抑制作用大于苯醚甲环唑和苯菌灵,说明氟硅唑毒性大. AM 真菌菌丝不仅吸收土壤 P、Zn、Cu 等营养元素,也吸收对其有害的杀真菌剂,可能是杀真菌剂使 AM 真菌生长和侵染受到严重抑制,菌根效应减弱,从而影响植物对土壤营养元素的吸收,也可能由于杀真菌剂破坏了土壤矿质元素的平衡状态,改变植物对其吸收和利用^[26~28].

4 结论

摩西球囊霉能与黄芩根系形成良好共生关系, 接种摩西球囊霉后较未接种株有明显改善; 喷施杀真菌剂对摩西球囊霉和黄芩生长有影响, 并以喷施氟硅唑影响最大. 因此, 中药材培育过程中, 在能够达到病害防治效果条件下, 应选用合适的杀真菌剂和喷施浓度, 才能减轻杀真菌剂对 AM 真菌的毒害, 充分发挥 AM 真菌效应, 促进植物生长.

参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典(一部)[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005. 211.
- [2] 张建春, 张华, 施瑛, 等. 黄芩苷的研究近况[J]. 时珍国医国药, 2005, **16**(3): 247-249.
- [3] Smith S E, Read D J. Mycorrhizal Symbiosis[M]. London: Academic Press, 1997. 11-32.
- [4] 许秀强, 李敏, 刘润进. 农药污染土壤中 AM 真菌多样性初步调查[J]. 青岛农业大学学报(自然科学版), 2009, **26**(1): 1-3.
- [5] Nemec S. Effects of 11 fungicides on endomycorrhizal development in sour orange[J]. Canadian Journal of Botany, 1980, **58**(5): 522-526.
- [6] Manjunath A, Bagyaraj D J. Effect of fungicides on mycorrhizal colonization and growth of onion[J]. Plant and Soil, 1984, **80**(1): 147-150.
- [7] Kough J L, Gianinazza-Pearson V, Gianinazzi S. Depressed metabolic activity of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi after fungicide applications[J]. New Phytologist, 1987, **106**(4): 707-715.
- [8] 谢莉, 韦业旺, 蔡敏, 等. 杀真菌剂对丛枝菌根烟苗生长及抗性的影响[J]. 广西农业科学, 2010, **41**(4): 319-322.
- [9] Phillips J M, Haymen D S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection[J]. Transactions of the British Mycological Society, 1970, **55**(1): 158-161.
- [10] 南京农学院. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 1990. 272-277.
- [11] 庄瑞. 黄芩苷提取条件的实验设计[J]. 数理医药学杂志, 2008, **21**(3): 336-337.
- [12] 陈宇鸿, 沈仁富, 陈海红. 黄芩中微量元素的测定与分析[J]. 中国卫生检验杂志, 2009, **19**(12): 3008-3009.
- [13] 毕银丽. 丛枝菌根培养新技术及其对土地复垦生态效应[M]. 北京: 地质出版社, 2007.
- [14] Bary F, Gange A C, Crane M, et al. Fungicide levels and arbuscular mycorrhizal fungi in golf putting greens[J]. Journal of Applied Ecology, 2005, **42**(1): 171-180.
- [15] Frey B, Vilarinho A, Schüepp H, et al. Chitin and ergosterol content of extraradical and intraradical mycelium of the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* [J]. Soil Biology and Biochemistry, 1994, **26**(6): 711-717.
- [16] 赵金莉, 邓慧颖, 贺学礼. AM 真菌对河北道地药材白芷质量的影响[J]. 华北农学报, 2009, **24**(增刊): 299-302.
- [17] 滕华容, 贺学礼. 不同 AM 真菌和施磷量对柴胡黄酮含量的影响[J]. 陕西农业科学, 2005, **26**(4): 53-54.
- [18] 刘祖祺, 张石成. 植物抗性生理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994. 84-97.
- [19] 深见顺一, 上杉康彦, 石塚皓迟. 农药实验法——杀菌剂篇[M]. 北京: 中国农业出版社, 1991. 99-100.
- [20] Bending G D, Rodríguez-Cruz M S, Lincoln S D. Fungicide impacts on microbial communities in soils with contrasting management histories[J]. Chemosphere, 2007, **69**(1): 82-88.
- [21] 曹晓燕, 田宇红, 王喆之. 微波消解-火焰原子吸收光谱法测定陕西栽培黄芩中宏量和微量元素的含量[J]. 陕西农业科学, 2009, **13**(5): 33-35.
- [22] 李晓林, 冯固. 丛枝菌根生态生理[M]. 北京: 华文出版社, 2001. 108.
- [23] Liu A, Hamel C, Hamllton R I, et al. Acquisition of Cu, Zn, Mn and Fe by mycorrhizal maize (*Zea mays* L.) grown in soil at different P and micronutrient levels[J]. Mycorrhiza, 2000, **9**(6): 331-336.
- [24] Díaz G, Azcón-Aguilar C, Honrubia M. Influence of arbuscular mycorrhizae on heavy metal (Zn and Pb) uptake and growth of *Lygeum spartum* and *Anthyllis cytisoides* [J]. Plant and Soil, 1996, **180**(2): 241-249.
- [25] 唐振尧, 何首林. VA 菌根对柑桔吸收铁素效应研究初报[J]. 园艺学报, 1990, **17**(4): 257-262.
- [26] 李晓林, 曹一平. VA 菌根吸收矿质养分的机制[J]. 土壤, 1993, **25**(5): 274-277.
- [27] 董昌金, 赵斌. 大豆除草剂对 2 种丛枝菌根的影响[J]. 植物病理学报, 2004, **34**(6): 518-524.
- [28] 申鸿, 刘于, 白淑兰, 等. AM 真菌对锌污染土壤中玉米微量元素营养的影响[J]. 西南农业大学学报(自然科学版), 2006, **28**(2): 205-212.

CONTENTS

Stable Carbon Isotope of Black Carbon from Typical Emission Sources in China	CHEN Ying-jun, CAI Wei-wei, HUANG Guo-peí, <i>et al.</i> (673)
Characteristics of Carbonaceous Aerosol Concentration in Snow and Ice of Glaciers in Tianshan Mountains	WANG Sheng-jie, ZHANG Ming-jun, WANG Fei-teng, <i>et al.</i> (679)
Size Distribution Properties of Atmospheric Aerosol Particles During Summer and Autumn in Lanzhou	ZHAO Su-ping, YU Ye, CHEN Jin-bei, <i>et al.</i> (687)
Particle Number Size Distribution near a Major Road with Different Traffic Conditions	YANG Liu, WU Ye, SONG Shao-jie, <i>et al.</i> (694)
Atmospheric Particle Formation Events in Nanjing During Summer 2010	WANG Hong-lei, ZHU Bin, SHEN Li-juan, <i>et al.</i> (701)
Characteristics of $\delta^{18}\text{O}$ in Precipitation and Moisture Transports over the Arid Region in Northwest China	LI Xiao-fei, ZHANG Ming-jun, LI Ya-ju, <i>et al.</i> (711)
Distributions and Seasonal Variations of Total Dissolved Inorganic Arsenic in the Estuaries and Coastal Area of Eastern Hainan	CAO Xiu-hong, REN Jing-ling, ZHANG Gui-ling, <i>et al.</i> (720)
Mixing Behavior of Arsenic in the Daliaohe Estuary	JIAN Hui-min, YAO Qing-zheng, YU Li-xia, <i>et al.</i> (727)
Variation Characteristics and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in the Surface Sediments of Bohai Bay	XU Ya-yan, SONG Jin-ming, LI Xue-gang, <i>et al.</i> (732)
Distribution of PAHs in Surface Seawater of Qingdao Coast Area and Their Preliminary Apportionment	LI Xian-guo, DENG Wei, ZHOU Xiao, <i>et al.</i> (741)
Atmospheric Deposition of PAHs in Dashiwei Karst Tiankeng Group in Leye, Guangxi	KONG Xiang-sheng, QI Shi-hua, HUANG Bao-jian, <i>et al.</i> (746)
Lead Isotope Signatures and Source Identification in Urban Soil of Baoshan District, Shanghai	DONG Chen-yin, ZHANG Wei-guo, WANG Guan, <i>et al.</i> (754)
Solute Transport Modeling Application in Groundwater Organic Contaminant Source Identification	WANG Shu-fang, WANG Li-ya, WANG Xiao-hong, <i>et al.</i> (760)
Quantitative Method of Representative Contaminants in Groundwater Pollution Risk Assessment	WANG Jun-jie, HE Jiang-tao, LU Yan, <i>et al.</i> (771)
Study on the Advanced Pre-treatments of Reclaimed Water Used for Groundwater Recharge	GAO Yu-tuan, ZHANG Xue, ZHAO Xuan, <i>et al.</i> (777)
Influence of <i>Ruditapes philippinarum</i> Aquaculture on Benthic Fluxes of Biogenic Elements in Jiaozhou Bay	DENG Ke, LIU Su-mei, ZHANG Gui-ling, <i>et al.</i> (782)
Influence of Spatial Difference on Water Quality in Jiuxiang River Watershed, Nanjing	HU He-bing, LIU Hong-yu, HAO Jing-feng, <i>et al.</i> (794)
Temporal and Spatial Variation of Non-Point Source Nitrogen in Surface Water in Urban Agricultural Region of Shanghai	WANG Nan, MAO Liang, HUANG Hai-bo, <i>et al.</i> (802)
Migration and Transformation of Heavy Metals in Street Dusts with Different Particle Sizes During Urban Runoff	HE Xiao-yan, ZHAO Hong-tao, LI Xu-yong, <i>et al.</i> (810)
Treatment Studies of Industrial Rainoff With a New Type of Constructed Wetland	HE Li-jun, MA Yong-wen, WAN Jin-quan, <i>et al.</i> (817)
Emergent Retention of Organic Liquid by Modified Bentonites: Property and Mechanism	LI Yu, LIU Xian-jun, ZHANG Xing-wang, <i>et al.</i> (825)
Production of Peroxide Hydrogen in <i>Chattonella ovata</i> Hong Kong Strain	JIANG Tao, WU Ni, ZHONG Yan, <i>et al.</i> (832)
Characteristics Study of Extracellular Active Substance of <i>Bacillus</i> sp. B1 on <i>Phaeocystis globosa</i>	LI Qiang, ZHAO Ling, YIN Ping-he (838)
Effects of Sediment on the Growth of <i>Microcystis</i> and <i>Anabaena</i> in Yanghe Reservoir	CHU Zhao-sheng, ZHANG Yu-bao, JIN Xiang-can, <i>et al.</i> (844)
New-Type Electroless Excilamp for Advanced Treatment on Nitrogen-Heterocyclic Compounds (NHCs) in Aqueous Solution	YE Zhao-lian, WANG Bin, LU Juan-juan, <i>et al.</i> (849)
Preparation and Electro-catalytic Characterization on La/Ce Doped Ti-base Lead Dioxide Electrodes	ZHENG Hui, DAI Qi-zhou, WANG Jia-de, <i>et al.</i> (857)
Study on Decolorization of Triphenylmethane Dyes by DTT	PAN Tao, LIU Da-wei, REN Sui-zhou, <i>et al.</i> (866)
Influences of pH and Complexing Agents on Degradation of Reactive Brilliant Blue KN-R by Ferrous Activated Persulfate	ZHANG Cheng, WAN Jin-quan, MA Yong-wen, <i>et al.</i> (871)
Degradation Kinetics of Ozone Oxidation on High Concentration of Humic Substances	ZHENG Ke, ZHOU Shao-qi, YANG Mei-mei (879)
Index of Stability and Its Mechanisms of Aerobic Granular System Using Volume-based Information Entropy	LI Zhi-hua, JI Xiao-qin, LI Sheng, <i>et al.</i> (885)
Relationship Between Physicochemical Characteristics of Activated Sludge and Polymer Conditioning Dosage	LI Ting, WANG Yi-li, FENG Jing, <i>et al.</i> (889)
Research of Aerobic Granule Characteristics with Different Granule Age	ZHOU Man, YANG Chang-zhu, PU Wen-hong, <i>et al.</i> (896)
Effect of Size and Number of Aerobic Granules on Nitrification and Denitrification	LI Zhi-hua, ZENG Jin-feng, LI Sheng, <i>et al.</i> (903)
Optimization and Comparison of Nitrogen and Phosphorus Removal by Different Aeration Modes in Oxidation Ditch	GUO Chang-zi, PENG Dang-cong, CHENG Xue-mei, <i>et al.</i> (910)
Effect of Acidification on the Dewaterability of Sewage Sludge in Bioleaching	ZHU Hai-feng, ZHOU Li-xiang, WANG Dian-zhan (916)
Microbial Ecology Analysis of the Biofilm from Two Biological Contact Oxidation Processes with Different Performance	QIAN Yin, QUAN Xiang-chun, PEI Yuan-sheng, <i>et al.</i> (922)
Altered Microbial Communities Change Soil Respiration Rates and Their Temperature Sensitivity	FAN Fen-liang, HUANG Ping-rong, TANG Yong-jun, <i>et al.</i> (932)
Storages and Distributed Patterns of Soil Organic Carbon and Total Nitrogen During the Succession of Artificial Sand-Binding Vegetation in Arid Desert Ecosystem	JIA Xiao-hong, LI Xin-rong, ZHOU Yu-yan, <i>et al.</i> (938)
Factors Controlling Soil Organic Carbon and Total Nitrogen Densities in the Upstream Watershed of Miyun Reservoir, North China	WANG Shu-fang, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yun (946)
Impact of Microbial Aggregating Agents on Soil Aggregate Stability Under Addition of Exogenous Nutrients	MO Yan-hua, TANG Jia, ZHANG Ren-duo, <i>et al.</i> (952)
Adsorption of Aflatoxin on Montmorillonite Modified by Low-Molecular-Weight Humic Acids	YAO Jia-jia, KANG Fu-xing, GAO Yan-zheng (958)
Influence of Operating Parameters on Surfactant-enhanced Washing to Remedy PAHs Contaminated Soil	WU Wei, JIANG Lin, CHEN Jia-jun, <i>et al.</i> (965)
Study on the Land Use Optimization Based on PPI	WU Xiao-feng, LI Ting (971)
Research on Algal Diversity in Zoige Alpine Wetland	CHEN Xi, LIU Ru-yin, WANG Yan-fen, <i>et al.</i> (979)
Effects of Three Fungicides on Arbuscular Mycorrhizal Fungal Infection and Growth of <i>Scutellaria baicalensis</i> Georgi	HE Xue-li, WANG Ping, MA Li, <i>et al.</i> (987)
Community Structure and Spatial Distribution of Anaerobic Ammonium Oxidation Bacteria in the Sediments of Chongming Eastern Tidal Flat in Summer	ZHENG Yan-ling, HOU Li-jun, LU Min, <i>et al.</i> (992)
Microbial Degradation of 2,2',4,4'-Tetrabrominated Diphenyl Ether Under Anaerobic Condition	LU Xiao-xia, CHEN Chao-qi, ZHANG Shu, <i>et al.</i> (1000)
Effect of Heavy Metals on Degradation of BDE-209 by White-rot Fungus	XIONG Shi-chang, YIN Hua, PENG Hui, <i>et al.</i> (1008)
Biodegradation Mechanism of DDT and Chlorpyrifos Using Molecular Simulation	LIN Yu-zhen, ZENG Guang-ming, ZHANG Yu, <i>et al.</i> (1015)
Construction of a Microbial Consortium RXS with High Degradation Ability for Cassava Residues and Studies on Its Fermentative Characteristics	HE Jiang, MAO Zhong-gui, ZHANG Qing-hua, <i>et al.</i> (1020)
Anaerobic Digestion of Animal Manure Contaminated by Tetracyclines	TONG Zi-lin, LIU Yuan-lu, HU Zhen-hu, <i>et al.</i> (1028)
Continuous Dry Fermentation of Pig Manure Using Up Plug-Flow Type Anaerobic Reactor	CHEN Chuang, DENG Liang-wei, XIN Xin, <i>et al.</i> (1033)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2012年3月15日 33卷 第3期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 3 Mar. 15, 2012

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行