

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第4期 Vol.32 No.4 2012

中国生态学会
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 32 卷 第 4 期 2012 年 2 月 (半月刊)

目 次

| | | |
|---|---------------|--------|
| 固垦对南汇东滩湿地大型底栖动物的影响····· | 马长安,徐霖林,田伟,等 | (1007) |
| 基于 ArcView-WOE 的下辽河平原地下水生态系统健康评价····· | 孙才志,杨磊 | (1016) |
| 京郊典型集约化“农田-畜牧”生产系统氮素流动特征····· | 侯勇,高志岭,马文奇,等 | (1028) |
| 不同辐射条件下苹果叶片净光合速率模拟····· | 高照全,冯社章,张显川,等 | (1037) |
| 藏北高原典型植被样区物候变化及其对气候变化的响应····· | 宋春桥,游松财,柯灵红,等 | (1045) |
| 祁连山中段林草交错带土壤水热特征及其对气象要素的响应····· | 唐振兴,何志斌,刘鹄 | (1056) |
| 祁连山青海云杉林冠生态水文效应及其影响因素····· | 田风霞,赵传燕,冯兆东,等 | (1066) |
| 呼伦贝尔沙地樟子松年轮生长对气候变化的响应····· | 尚建勋,时忠杰,高吉喜,等 | (1077) |
| 结合激光雷达分析上海地区一次连续浮尘天气过程····· | 马井会,顾松强,陈敏,等 | (1085) |
| 福建中部近海浮游动物数量分布与水团变化的关系····· | 田丰歌,徐兆礼 | (1097) |
| 香港巨牡蛎和长牡蛎幼虫及稚贝的表型性状····· | 张跃环,王昭萍,闫喜武,等 | (1105) |
| 东海原甲藻与中肋骨条藻的种间竞争特征····· | 李慧,王江涛 | (1115) |
| 起始生物量比对 3 种海洋微藻种间竞争的影响····· | 魏杰,赵文,杨为东,等 | (1124) |
| 不同磷条件下塔玛亚历山大藻氮的生态幅····· | 文世勇,宋琍琍,龙华,等 | (1133) |
| 秦岭天然次生油松林冠层降雨再分配特征及延滞效应····· | 陈书军,陈存根,邹伯才,等 | (1142) |
| 伊犁河谷北坡垂直分布格局及其与环境的关系——一种特殊的双峰分布格局····· | 田中平,庄丽,李建贵 | (1151) |
| 濒危种四合木与其近缘种霸王水分关系参数和光合特性的比较····· | 石松利,王迎春,周红兵,等 | (1163) |
| 干旱胁迫下黄土高原 4 种乡土禾草抗氧化特性····· | 单长卷,韩蕊莲,梁宗锁 | (1174) |
| 施加角担子菌 B6 对连作西瓜土壤微环境和西瓜生长的影响····· | 肖逸,王兴祥,王宏伟,等 | (1185) |
| 内蒙古典型草原区芨芨草群落适生境····· | 张翼飞,王炜,梁存柱,等 | (1193) |
| 盐渍化灌区土壤盐分的时空变异特征及其与地下水埋深的关系····· | 管孝艳,王少丽,高占义,等 | (1202) |
| 黄土高原水蚀风蚀交错区坡地土壤剖面饱和导水率空间异质性····· | 刘春利,胡伟,贾宏福,等 | (1211) |
| 松嫩平原玉米带农田土壤氮密度时空格局····· | 张春华,王宗明,居为民,等 | (1220) |
| 小麦冬性强弱评价体系的建立····· | 王鹏,张春庆,陈化榜,等 | (1230) |
| 唐家河自然保护区高山姬鼠和中华姬鼠夏季生境选择的比较····· | 黎运喜,张泽钧,孙宜然,等 | (1241) |
| 西花蓟马在 6 种蔬菜寄主上的实验种群生命表····· | 曹宇,鄧军锐,孔译贤 | (1249) |
| 同位素富集-稀释法研究食性转变对鱼类不同组织 N 同位素转化率的影响····· | 曾庆飞,谷孝鸿,毛志刚,等 | (1257) |
| 基于生态网络分析的南京主城区重要生态斑块识别····· | 许文雯,孙翔,朱晓东,等 | (1264) |
| 珠三角城市绿地 CO ₂ 通量的季节特征····· | 孙春健,王春林,申双和,等 | (1273) |
| 污染场地地下水渗流场模拟与评价——以柘城县为例····· | 吴以中,朱沁园,刘宁,等 | (1283) |
| 专论与综述 | | |
| 湿地退化研究进展····· | 韩大勇,杨永兴,杨杨,等 | (1293) |
| 绿洲农田氮素积累与淋溶研究述评····· | 杨荣,苏永中,王雪峰 | (1308) |
| 问题讨论 | | |
| 抗辐射菌 <i>Deinococcus radiodurans</i> 的多样性····· | 屠振力,方俐晶,王家刚 | (1318) |
| 平茬措施对柠条生理特征及土壤水分的影响····· | 杨永胜,卜崇峰,高国雄 | (1327) |
| 研究简报 | | |
| 祁连山典型灌丛降雨截留特征····· | 刘章文,陈仁升,宋耀选,等 | (1337) |
| 野生鸭儿芹种子休眠特性及破除方法····· | 喻梅,周守标,吴晓艳,等 | (1347) |



封面图说: 遗鸥群飞来——遗鸥意即“遗落之鸥”(几乎是最后才被发现的新的鸥种,因此得名)。1931年,瑞典动物学家隆伯格撰文记述在中国额济纳采到了标本。1987年,中国的鸟类学家在鄂尔多斯的桃力庙获得了一对遗鸥的标本。1990年春夏之交,发现了湖心各岛上大量的遗鸥种群。近年来的每年夏季,大约全球 90% 以上的遗鸥都会到陕西省神木县境内的沙漠淡水湖-红碱淖上聚集。遗鸥——国家一级重点保护、CITES 附录一物种。

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

DOI: 10.5846/stxb201012291870

肖逸,王兴祥,王宏伟,刘付燕,戴传超. 施加角担子菌 B6 对连作西瓜土壤微环境和西瓜生长的影响. 生态学报, 2012, 32(4): 1185-1192.

Xiao Y, Wang X X, Wang H W, Liu F Y, Dai C C. The effects of the addition of *Ceratobasidium stevensii* B6 and its growth on the soil microflora at a continuously cropped watermelon (*Citrullus lanatus*) site in China. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(4): 1185-1192.

施加角担子菌 B6 对连作西瓜土壤微环境和西瓜生长的影响

肖逸¹, 王兴祥^{2,3}, 王宏伟¹, 刘付燕¹, 戴传超^{1,*}

(1. 南京师范大学生命科学学院, 江苏省微生物资源产业化工程技术研究中心, 江苏省微生物与功能基因组学重点实验室, 南京 210046;

2. 中国科学院土壤环境与污染修复重点实验室, 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008;

3. 江西省红壤生态研究重点实验室(中国科学院红壤生态实验站), 鹰潭 335211)

摘要: 在盆栽条件下, 研究了施加角担子菌 B6 的菌丝对连作西瓜的土壤微生物区系以及产量的影响, 以探索西瓜连作障碍的生物防治措施。施加 B6 的活菌丝(C)显著减少土壤中真菌的数量、增加细菌/放线菌的比例, 在西瓜成熟期, 与对照(A)和施加灭活的 B6 菌丝(B)相比, 土壤中尖孢镰刀菌(FO)的数量分别减少了 29.9% 和 63.3%。相比对照(A), 在成熟期, C 处理中土壤脲酶、蔗糖酶和多酚氧化酶的活力分别提高了 19.0%、159.0% 和 31.3%; 西瓜超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)活性分别增加 32.7% 和 4.6%, 西瓜根系活力(TTC 法)增强 46.2%, 丙二醛(MDA)含量减少 51.4%。与对照(A)和施加灭活 B6 菌(B)相比, 施加 B6 菌(C)后, 西瓜单果重分别增加 44.8% 和 40.9%, 总产量分别增加 103.8% 和 64.9%, 可溶性糖含量分别增加 35.1% 和 10.0%。施加 B6 的活菌丝能够通过改善土壤微环境, 提高西瓜植株的抵抗力, 进而增加产量。

关键词: 西瓜; 连作障碍; 角担子菌 B6; 土壤酶; 尖孢镰刀菌

The effects of the addition of *Ceratobasidium stevensii* B6 and its growth on the soil microflora at a continuously cropped watermelon (*Citrullus lanatus*) site in China

XIAO Yi¹, WANG Xingxiang^{2,3}, WANG Hongwei¹, LIU Fuyan¹, DAI Chuanchao^{1,*}

1 Jiangsu Engineering and Technology Research Center for Industrialization of Microbial Resources, Jiangsu Key Laboratory for Microbes and Functional Genomics, College of Life Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China

2 Key Laboratory of Soil Environment and Pollution Remediation, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China

3 Jiangxi Key Laboratory of Ecological Research of Red Soil, Yingtan 335211, China

Abstract: The deterioration of the soil microbial population and the decline of enzyme activity have been regarded as two key factors in the reduction of watermelon yield in long-term continual watermelon cropping systems. To replicate the watermelon cropping system as much as possible, a surface layer (50—200 mm depth) of an Ultisol was sampled from a 3 year-old continuously cropped upland watermelon site, at the Red Soil Experimental Station, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Yongzhou, Hunan Province (N26°45', E111°53'). Pot experiments were conducted to investigate the effects of the addition of *Ceratobasidium stevensii* B6 on watermelon (*Citrullus lanatus*) yield (and the associated soil microflora) to study biological control measures for a long-term continual watermelon cropping system. Three treatments were used a control (A), an inactivated B6 mycelia (B) and an activated B6 mycelia treatment (C). At the harvest stage, the application of living B6 mycelia (Treatment C) significantly reduced the number of soil fungal colony forming units

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目(2009BAD6B005); 中国科学院知识创新工程重大资助项目(KSCX 1-YW-09), 江苏省高校优势学科建设工程资助项目

收稿日期: 2010-12-29; 修订日期: 2011-07-19

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: daichuanchao@njnu.edu.cn

(CFU) by 17%, but the quantity of bacteria and actinomycetes increased by 2.2 and 0.4 fold respectively, compared with the control (A). For the treatment using the activated B6 mycelia (C), the quantity of *Fusarium oxysporum* (FO) in the soil at the harvest stage decreased by 29.9% and 63.3% compared with the control (A) and the inactivated B6 mycelia (B) respectively. Meanwhile, the activities of soil urease, sucrase and polyphenol oxidase were enhanced by 19.0%, 159.0% and 31.3% in treatment C compared with treatment A, respectively. Moreover, the activities of superoxide dismutase and peroxidase in the watermelon leaves also increased by 32.7% and 4.6% when compared with treatment A, respectively. In other words, the activated B6 mycelia significantly induced a systemic resistance of watermelons to the invasion of FO. Furthermore, in contrast with treatment A, root activities in treatment C were increased by 46.2% while the malonaldehyde content (MDA) in the leaves was reduced by 51.4%. Compared with the control (A) and inactivated B6 mycelia (B), the individual fruit weight increased by 44.8% and 40.9% respectively in the treatment where activated B6 mycelia were added. Total yield was also increased by 103.8% and 64.9%, respectively. The soluble sugar content of the fruit likewise was increased by 35.1% and 10.0% for treatment C when compared with the other treatments. Although the differences in the vitamin C concentration of the watermelon fruit between all the treatments was not significant, the quality of the watermelons in treatment C was improved, as evidenced by an increase in the soluble sugar content. These results suggested that the addition of the activated B6 mycelia for improving the soil microenvironment and to increase the watermelon yield has promise, and may be able to be commercially used in the future; hence, further research is required on the mechanisms involved.

Key Words: watermelon; continuous monocropping obstacles; *Ceratobasidium stevensii* B6; soil enzyme; *Fusarium oxysporum* (FO)

西瓜 (*Citrullus lanatus* (Thunb) Matsum & Nakai) 在夏季水果中占有突出地位, 其栽培面积和总产量均在世界水果前列。种植西瓜一茬后, 正常情况下 5—6 a 内不再适合栽种普通西瓜苗。这主要是因为西瓜连作土壤中微生物区系失衡, 病原菌增多, 进而影响西瓜的产量^[1-2]。通常情况下, 持续的单作会导致土壤从细菌型向真菌型转化, 微生物多样性下降, 土壤中病原拮抗菌数量减少, 进而有害病原菌增多^[3-4]。导致西瓜枯萎病的病原菌是尖孢镰刀菌西瓜专化型 (*Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*), 目前主要采用西瓜嫁接苗结合化学农药的方法进行防治。但是西瓜嫁接苗在一定程度上影响西瓜的品质, 而持续使用化学农药, 易造成病菌产生抗性、农药残留影响环境和人体健康。因此, 开发低毒高效无污染的生物防治方法十分必要。寻找有效的拮抗微生物防治植物病害, 是生物防治的常用手法。王刚等^[5]利用西瓜的内生细菌防治西瓜枯萎病, 有效地降低了病害的严重程度。张丽萍等^[6]利用木霉和枯草芽孢杆菌作为复合生物制剂, 对连作西瓜产量和病虫害防治都有一定效果。Waseem Raza 等^[7]和 Hong-sheng Wu 等^[8]将生物有机肥和拮抗微生物(粘类芽孢杆菌和哈茨木霉)配合使用, 在温室条件下的实验表明, 这个复合式肥料能够提高相关防御酶的活力来保护西瓜抵抗枯萎病。尽管这些生物防治措施对抵抗西瓜枯萎病都有一定的效果, 但这些菌剂在使用过程中对西瓜品质和产量的影响以及作用机制还有待进一步的研究。以往研究表明, B6 可作为生防菌, 其具有驱杀菜青虫的作用^[9]; B6 的菌丝和发酵液有浓郁的香味, 推测 B6 有抑菌作用, 进一步的平板拮抗实验表明 B6 菌丝能够抑制尖孢镰刀菌的生长; B6 能够降解菲^[10], 菲为多环芳烃, 我们推测 B6 能够降解西瓜连作产生的带有一个苯环的酚酸类感感物质, 减轻西瓜的自毒作用。

本文首次将角担子菌用于克服连作障碍的研究, 检测其对西瓜产量和品质的影响, 同时结合土壤微生物区系及西瓜植株的生理生化变化, 推测可能存在的作用机制, 希望能够为西瓜连作障碍的生物防治打开一个新的视角。

1 材料与方法

1.1 实验材料

土壤 土壤采集于湖南省永州市中国农业科学院衡阳红壤实验站孟公山示范基地的第四纪红黏土发育

的红壤(50—200 mm),连续种植西瓜 3 a(第 1 年是西瓜实生苗,第 2—3 年是西瓜嫁接苗)。有机质含量 11.60 g/kg,pH 值 4.82(1:2.5H₂O),全氮 0.89 g/kg,碱解氮 77.32 mg/kg,速效磷 25.17 mg/kg,全磷 0.50 g/kg,速效钾 588.31 mg/kg,全钾 13.88 g/kg。

西瓜(*Citrullus lanatus*)为湖南省永州市常规品种礼品瓜黑美人。特点是瓜体小,甜度高,单果重一般 0.5—1.5kg,瓜体椭圆形,外皮墨绿色,瓜瓤色泽鲜红、艳丽;坐瓜能力强,单株可坐瓜 5 个以上;瓜皮韧性强,耐运输、耐储藏。

内生真菌 菌种为南京师范大学江苏省微生物与功能基因组学重点实验室保藏菌株,编号 B6,为角担子菌属真菌 *Ceratobasidium stevensii*^[9],分离自大戟科重阳木(*Bischofia polycarpa*)茎内皮。内生菌 B6 从葡萄糖马铃薯固体培养基(PDA)斜面上转接至新鲜 PDA 培养基 28 ℃ 培养 7 d,倒入 5 mL 无菌水,用接种铲将菌丝轻轻刮起,转移入灭过菌的液体马铃薯葡萄糖培养基(PD),250 mL 三角瓶中装入 50 mL PD 培养基,28 ℃,180 r/min 培养 6 d,滤纸过滤获得菌丝,蒸馏水洗涤 2 次,抽滤后备用。

1.2 实验设计

实验共设 3 个处理,6 个重复。处理分别为对照(A):不加菌丝;B:施加灭活的 B6 菌丝;C:施加活的 B6 菌丝。2010 年 5 月 6 日,在南京师范大学植物园准备育苗:营养钵 12(直径)cm×10(高)cm;营养土是轻型有机栽培基质(镇江兴农有机肥有限公司),准备装满土的营养钵 48 个。5 月 11 日,栽种西瓜种子到营养钵,每钵一颗种子,种子品种为礼品瓜黑美人(珠海市农之友种子有限公司)。种子在播种前进行温汤(55 ℃)浸种,自然冷却 2 h,然后分别浸种在 A、B、C 3 个处理中 4 h,A 蒸馏水 50 mL;B 灭活的 B6 菌丝 2 g+48mL 水;C 活的 B6 菌丝 2 g+48 mL 水。正常灌溉管理,6 月 1 日,移栽西瓜苗至实验盆钵中。实验盆钵直径 28 cm,高 28 cm,每盆用土 15 kg,分别施用尿素 4 g,磷酸二氢钾 4 g,硼砂 0.55 g,碱渣 60 g,有机肥 500 g。此外,B、C 处理分别施加灭活的 B6 湿菌丝和活的 B6 湿菌丝 20 g。正常田间管理。7 月 10 日(坐瓜期),B、C 处理分别施加灭活的 B6 湿菌丝和活的 B6 湿菌丝 20 g。7 月 29 日,采摘西瓜。

分别于移栽西瓜前、西瓜开花期、坐瓜期和成熟期取土,测定土壤三大类微生物数量区系、尖孢镰刀菌(FO)数量、土壤脲酶、蔗糖酶和多酚氧化酶的活力。在成熟期,随机取新鲜的叶片,测定西瓜叶片的丙二醛(MDA)含量、过氧化物酶(POD)活性和超氧化物歧化酶(SOD)活性,选择新鲜的根尖测定根系活力(TTC 法)。同时,在西瓜果实正中央取部分新鲜的果实(去籽),测定西瓜果实的 Vc 含量和可溶性糖含量。统计西瓜的整株鲜重、茎粗、蔓长、根长、病情指数、单果重和总产量。

为检测 B6 菌是否进入西瓜植株体内,在 2010 年 10 月 28 日进行 B6 回接实验。在装有新的营养土的营养钵中播种西瓜种子,每个营养钵 1 粒。种子在播种前进行温汤(55 ℃)浸种,自然冷却 2 h,然后分别浸种在 A、B、C 3 个处理中 4 h,A 蒸馏水 50 mL;B 灭活的 B6 菌丝 2 g+48 mL 水;C 活的 B6 菌丝 2 g+48 mL 水,每个处理 20 盆,随机排列。放在人工气候箱中,温度(24±1)℃,光照 2000 lx,光照时间 14 h/d,相对湿度 60%—80%,根据需要施加少量水分以保持土壤湿润。待种子发芽后 2 周,A、B、C 处理再分别施加 2 mL 水、灭活的 B6 菌丝 2 g、活的 B6 菌丝 2 g。种子发芽 1 个月后,利用组织块分离法从西瓜植株的根、茎和叶重新分离 B6 菌。

1.3 分析方法

西瓜植株生理生化指标 测定 MDA 含量采用硫代巴比妥酸(TBA)法,测定 POD 活性采用愈创木酚法,测定根系活力采用氯化三苯基四氮唑(TTC)法,测定可溶性糖含量采用蒽酮比色法^[11],SOD 活性采用南京建成科技有限公司的 SOD 试剂盒测定,Vc 含量采用南京建成科技有限公司的 Vc 试剂盒测定。

西瓜病情指数的计算 根据 De Cal 等^[12]的评分系统,在西瓜成熟阶段,记录发病程度,1(没有明显的发病症状):植物健康,所有的叶子是绿色的;1.1—1.9(1%—24%的发病率):1—2 片叶子发黄;2—2.9(25%—49%发病率):下部叶子发黄(3 片或者更多的叶片);3—3.9(50%—74%的发病率):下面的叶子枯死,上面的叶子枯萎;4—4.9(75%—99%的发病率):植株枯萎;5(100%的发病率):植物死亡。

$$\text{病情指数} = [\sum (\text{病级植株} \times \text{代表级数}) / (\text{总株数} \times \text{最高病级})] \times 100$$

土壤微生物的计数 用稀释平板法分离土壤中的细菌、放线菌和真菌,并加以计数。分离细菌用牛肉膏蛋白胨培养基,放线菌用高氏一号培养基,真菌用虎红培养基。

尖孢镰刀菌的计数 用稀释平板法分离土壤中的尖孢镰刀菌,然后计数,培养基是 PDA+硫酸链霉素 0.3 g/L^[13]。

土壤酶活力的测定 土壤脲酶活性采用苯酚钠比色法,土壤蔗糖酶采用 3,5-二硝基水杨酸比色法,土壤多酚氧化酶采用邻苯三酚比色法^[14]。脲酶活性以 NH₃-N mg/g 干土,37 °C,24 h 表示;蔗糖酶活性以葡萄糖 mg/g 干土,37 °C,24 h 表示;多酚氧化酶的活性以没食子酸甲酯 mg/g 鲜土,30 °C,2 h 表示。

从西瓜体内重新分离 B6 菌 从人工气候箱中取出苗龄 1 个月的西瓜苗,将其清洗干净,用吸水纸吸干表面水分,剪成 0.5 cm×0.5 cm 组织块,依次用 75% 乙醇 30 s,0.1% 升汞表面消毒 6 min,平放于 PDA 平板中,置恒温培养箱 28 °C 培养^[15]。组织边缘长菌后分离纯化保存,并且观察与 B6 菌纯培养菌落的相似性。

1.4 数据处理

试验结果用算术平均数±标准误表示,应用 SPSS 13.0 软件进行方差分析(One-Way ANOVA) 检验处理间差异显著性,并用 Duncan 法进行多重比较,当 $P \leq 0.05$ 时,各个处理间存在显著差异。使用 Excel 2003 进行作图。

2 结果与分析

2.1 施加 B6 菌对西瓜产量及园艺性状的影响

施加活的 B6 菌后,西瓜表现出了良好的长势。对西瓜生长状况进行统计的结果表明,施用活的 B6 菌丝提高了西瓜的整株鲜重、地上部分鲜重、茎粗、蔓长和根长(表 1)。与对照和施加灭活的 B6 菌相比,施加活的 B6 菌后,单果重分别增加了 44.8% 和 40.9%,总产量分别增加 103.8% 和 64.9%,病情指数下降了 62.1% 和 76.7%。这说明在土壤中施加 B6 菌能一定程度的抑制病原菌侵染西瓜,增加西瓜的产量。

表 1 施加 B6 菌对西瓜产量及农艺性状的影响

Table 1 Effects of fungus B6 on watermelons yield and agriculture characters

| 处理 Treatment | 整株鲜重/g Whole plant fresh weight | 地上部分 鲜重/g Fresh weight above ground | 茎粗/cm Stem diameter | 蔓长/cm Vine length | 根长/cm Root length | 单果重/g Individual fruit weight | 总产量/kg Total yield | 病情指数 Disease index |
|-------------------------|---------------------------------------|--|---------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 对照 Control | 41.9±10.5 a | 38.9±9.9 a | 0.6±0.1 a | 167.7±10.8 a | 14.9±3.6 a | 436.6±14.3 a | 2.12 | 69.7 |
| 灭活 B6 Inactivated B6 | 30.0±10.0 a | 28.3±9.9 a | 0.7±0.2 a | 189.5±21.8 a | 13.0±4.2 a | 448.7±12.2 a | 2.62 | 76.0 |
| 活菌 B6 Activated B6 | 130.0±60.8 b | 125.7±58.5 b | 0.9±0.1 b | 312.3±26.6 b | 38.2±14.9 b | 632.0±20.4 b | 4.32 | 43.0 |

处理间数据比较,不同字母表示在 0.05 水平上差异显著 ($P < 0.05$)

2.2 施加 B6 菌对西瓜品质的影响

各处理对西瓜果实的 Vc 含量没有显著的影响,但施加活的 B6 菌后,西瓜果实的可溶性糖含量有所增加,与对照相比增加了 35.1%,与施加灭活的 B6 菌相比增加了 10.0% (图 1)。这可能是由于施加活的 B6 菌后,提高了西瓜抵抗病原菌的能力,进而有利于西瓜的正常生长和糖分的积累。

2.3 施加 B6 菌对西瓜根系活力、MDA、POD 和 SOD 的影响

施加活的 B6 菌后,西瓜的根系活力、POD 活性和

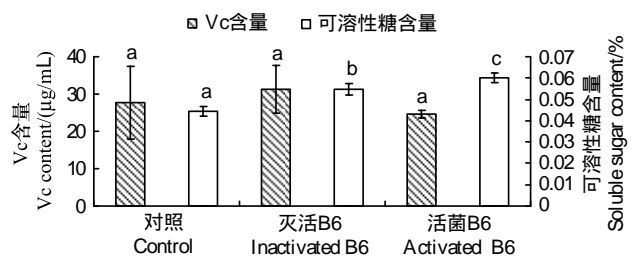


图 1 施加 B6 菌对西瓜品质的影响

Fig. 1 Effects of fungus B6 on the quality of watermelons

处理间数据比较,不同字母表示在 0.05 水平上差异显著 ($P < 0.05$)

SOD 活性与对照相比,分别增加了 46.2%、4.6% 和 32.7%;MDA 含量下降了 51.4% (表 2)。这说明施加活的 B6 菌可以有效的激发西瓜体内系统防御酶 POD 和 SOD 的活性,减轻膜脂过氧化程度,增强细胞膜稳定性,进而更好的保护西瓜抵抗病原菌侵袭,提高根系活力,促进西瓜正常生长。

表 2 施加 B6 菌对西瓜生理性状的影响

Table 2 Effects of fungus B6 on physiological characteristics of watermelons

| 处理 Treatment | 根系活力 /($\mu\text{g g}^{-1}\text{h}^{-1}$ 鲜重) Root Activities | MDA 的含量 /($\mu\text{mol/g}$ 鲜重) Content of MDA | POD 活力 /($\text{U min}^{-1}\text{g}^{-1}$ 鲜重) POD Activities | SOD 活力 /(U/g 鲜重) SOD Activities |
|----------------------|---|---|---|---|
| 对照 Control | 0.39±0.01 ^a | 4.38±0.25 ^c | 20.2±0.27 ^a | 319.6±43.3 ^a |
| 灭活 B6 Inactivated B6 | 0.36±0.05 ^a | 3.16±0.18 ^b | 20.9±0.12 ^b | 301.5±13.5 ^a |
| 活菌 B6 Activated B6 | 0.57±0.04 ^b | 2.13±0.29 ^a | 21.1±0.14 ^b | 438.5±54.5 ^b |

处理间数据比较,不同字母表示在 0.05 水平上差异显著($P<0.05$)

2.4 施加 B6 菌对土壤微生物区系的影响

与对照相比,施加活菌 B6 后,在开花期和成熟期时,细菌和放线菌的数量显著增加,真菌数量明显减少。尤其是在开花期,活菌 B6 处理中细菌和放线菌的数量分别是对照的 4.73 倍和 2.31 倍,而真菌数量相比于对照减少了 44.6% (表 3)。而在坐瓜期时,各处理间的差异不是十分的显著,可能是由于随着时间的推移,土壤中的 B6 菌的数量慢慢的减少。由于坐瓜期是决定西瓜产量的关键时期,所以取完土后又加了一次菌丝 (1.2 实验设计)。因此,在成熟期,与对照相比,施加活菌 B6 处理中细菌和放线菌的数量分别增加了 2.17 倍和 0.42 倍,真菌数量减少了 17.0%。纵观整个西瓜的生长期,与对照相比,灭活 B6 并不能有效的改善土壤微生物区系,有时可能还会起到相反的作用。

2.5 施加 B6 菌对土壤中尖孢镰刀菌数量的影响

与对照相比,施加活菌 B6 后,无论在哪个时期,尖孢镰刀菌的数量都显著的下降(表 4)。尽管随着西瓜生长,尖孢镰刀菌的数量有所增加,但是在同一时期,施加 B6 菌的效果还是非常显著的。在开花期、坐瓜期、成熟期的 B6 处理组与对照相比尖孢镰刀菌数量分别下降了 33.4%、29.8% 和 29.9%;与施加灭活的 B6 组相比分别下降了 29.0%、61.6% 和 63.3%。在坐瓜期和成熟期,施加灭活的 B6 后,土中尖孢镰刀菌数量比对照增加了 82.8% 和 90.9%,推测原因可能是:灭活的 B6 菌丝在土壤中非但不能抑制尖孢镰刀菌的生长,反而成为了尖孢镰刀菌增殖的培养基,起到了相反的作用。

2.6 施加 B6 菌对土壤酶活的影响

从表 5 可以看到,随着生长时期的推移,脲酶、蔗糖酶和多酚氧化酶的活性逐渐增加。在开花期、坐瓜期和成熟期,与对照相比,施加活的 B6 菌丝的土壤脲酶活性分别增加了 25.0%、12.5% 和 19.0%;蔗糖酶活性分别增加 13.1%、32.7% 和 159.0%;多酚氧化酶活性分别增加了 116.0%、43.9% 和 31.3%。施加灭活 B6 菌丝的处理与对照相比,脲酶和多酚氧化酶的活性差别不是很大,蔗糖酶活性反而逐渐减小,推测原因可能是灭活的 B6 菌丝就相当于有机质,把它施放到土壤中,对于产脲酶和多酚氧化酶的部分微生物的增殖是有益的,所以脲酶和多酚氧化酶的活性有少许增加。但是,有机质的增加可能可以作为碳源被微生物利用而抑制了蔗糖酶的分泌,导致蔗糖酶的活性出现了下降。

2.7 B6 菌的重新分离

在接菌 2 周后(即种子发芽 1 个月后),西瓜苗经表面消毒后,剪成 0.5 cm×0.5 cm 组织块,在 PDA 培养基上,28 °C 培养 7 d。A、B、C 处理各 100 个组织块,在 C 处理的茎边缘有单菌落出现,这株菌分离率是 3%,其他处理没有观察到有真菌菌落长出。将这个单菌落接种至新的 PDA 平板中纯培养后,发现菌落的特征、菌丝形态、菌落颜色与 B6 菌显著不同,说明这并非 B6 菌,而可能是西瓜体内的原本存在的内生真菌,B6 菌并没有在西瓜体内定殖。

表 3 施加 B6 菌对西瓜土壤微生物区系的影响

Table 3 Effects of fungus B6 on soil microbial community

| 处理 Treatment | 细菌 Bacteria/($\times 10^7$ CFU/g 干重) | | | | 放线菌 Actinomycete/($\times 10^5$ CFU/g 干重) | | | | 真菌 Fungus/($\times 10^5$ CFU/g 干重) | | | |
|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------|--|---------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | 移栽前 Before transplantation | 开花期 Flowering stage | 坐瓜期 Fruiting stage | 成熟期 Harvest stage | 移栽前 Before transplantation | 开花期 Flowering stage | 坐瓜期 Fruiting stage | 成熟期 Harvest stage | 移栽前 Before transplantation | 开花期 Flowering stage | 坐瓜期 Fruiting stage | 成熟期 Harvest stage |
| 对照 Control | 1.47±0.11a | 3.36±0.17a | 0.20±0.01b | 0.41±0.02a | 1.02±0.06a | 0.77±0.20a | 1.38±0.17b | 1.29±0.32a | 2.14±0.21a | 3.34±0.21b | 1.86±0.05b | 2.05±0.25c |
| 灭活 B6 Inactivated B6 | 1.47±0.11a | 2.73±0.30a | 0.11±0.01a | 0.46±0.03a | 1.02±0.06a | 0.93±0.14a | 0.54±0.13a | 1.85±0.06b | 2.14±0.21a | 2.13±0.14a | 0.67±0.04a | 0.60±0.05a |
| 活菌 B6 Activated B6 | 1.47±0.11a | 15.9±0.84b | 0.21±0.04b | 1.30±0.08b | 1.02±0.06a | 1.78±0.11b | 1.13±0.04b | 1.83±0.04b | 2.14±0.21a | 1.85±0.36a | 2.11±0.10c | 1.70±0.09b |

处理间数据比较,不同字母表示在 0.05 水平上差异显著 ($P<0.05$)

表 4 施加 B6 菌对西瓜土壤中央孢镰刀菌数量的影响

Table 4 Effects of fungus B6 on the quantity of Fusarium oxysporum in soil

尖孢镰刀菌的数量 The quantity of FO/($\times 10^5$ CFU/g 干重)

| 处理 Treatment | 移栽前 Before transplantation | | 开花期 Flowering stage | | 坐瓜期 Fruiting stage | | 成熟期 Harvest stage | |
|-------------------------|-------------------------------|------------|------------------------|------------|-----------------------|------------|----------------------|------------|
| | 对照 Control | 0.97±0.04a | 0.97±0.04a | 1.24±0.12b | 1.43±0.06b | 1.25±0.12b | 2.39±0.12c | 0.88±0.18a |
| 灭活 B6 Inactivated B6 | 0.97±0.04a | 0.97±0.04a | 1.16±0.08b | 1.00±0.14a | 1.00±0.14a | 1.00±0.14a | 1.00±0.14a | |
| 活菌 B6 Activated B6 | 0.97±0.04a | 0.97±0.04a | 0.82±0.02a | 0.82±0.02a | 0.82±0.02a | 0.82±0.02a | 0.82±0.02a | |

处理间数据比较,不同字母表示在 0.05 水平上差异显著 ($P<0.05$)

表 5 施加 B6 菌对西瓜土壤酶活性的影响

Table 5 Effects of fungus B6 on soil enzyme activity

| 处理 Treatment | 脲酶活性 Urease/($\text{mg g}^{-1} \text{d}^{-1}$) | | | | 蔗糖酶活性 Sucrase/($\text{mg g}^{-1} \text{d}^{-1}$) | | | | 多酚氧化酶活性 Polyphenol oxidase activity gallicin/($\text{mg g}^{-1} (2\text{h})^{-1}$) | | | |
|-------------------------|--|---------------------------|--------------------------|-------------------------|--|---------------------------|--------------------------|-------------------------|--|---------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | 移栽前 Before transplantation | 开花期 Flowering stage | 坐瓜期 Fruiting stage | 成熟期 Harvest stage | 移栽前 Before transplantation | 开花期 Flowering stage | 坐瓜期 Fruiting stage | 成熟期 Harvest stage | 移栽前 Before transplantation | 开花期 Flowering stage | 坐瓜期 Fruiting stage | 成熟期 Harvest stage |
| 对照 Control | 0.27±0.06a | 0.28±0.02a | 0.49±0.01a | 1.47±0.07a | 2.02±0.35a | 3.50±0.05ab | 3.01±0.05b | 4.37±0.35b | 0.20±0.03a | 0.50±0.04a | 0.67±0.05a | 1.99±0.05a |
| 灭活 B6 Inactivated B6 | 0.27±0.06a | 0.34±0.02b | 0.49±0.02a | 1.74±0.06b | 2.02±0.35a | 2.90±0.48a | 1.02±0.24a | 1.27±0.14a | 0.20±0.03a | 0.67±0.24a | 0.84±0.04b | 2.02±0.05a |
| 活菌 B6 Activated B6 | 0.27±0.06a | 0.35±0.01b | 0.54±0.01b | 1.76±0.10b | 2.02±0.35a | 3.97±0.35b | 3.98±0.01c | 11.3±1.00c | 0.20±0.03a | 1.08±0.25b | 0.95±0.01c | 2.60±0.03b |

处理间数据比较,不同字母表示在 0.05 水平上差异显著 ($P<0.05$)

3 讨论

施加活的 B6 菌后,西瓜的长势明显优于对照及灭活 B6 菌组,发病率显著的下降,可溶性糖含量明显上升。可溶性糖含量和 Vc 含量是衡量西瓜品质的重要指标^[16],代表西瓜品质的好坏。施加活菌 B6 后,尽管各处理中 Vc 含量没有显著的差异,但这已经说明,施加 B6 菌在使西瓜增产的同时,品质非但没有影响,还有一定程度的提高。由于本实验是盆栽实验,可能在一定程度上限制了西瓜根系对养分的吸收,西瓜单果重均在 0.5kg 左右。

内生真菌进入土壤后,可以使得植株产生低强度的防御反应,从而增加植株的抗逆性^[17]。SOD 是植物体内清除活性氧的关键酶,其功能是清除超氧阴离子(O_2^-),防止 O_2^- 对细胞的损害^[18]。施加活的 B6 后,有效的提高了西瓜体内 SOD 的活性,增强了西瓜的抗逆能力。POD 是一种清除过氧化物,降低活性氧对植物伤害的主要酶之一^[18],它能在氧化相应的基质时清除低浓度的 H_2O_2 ^[19]。同样,施加活菌 B6 后,POD 活性上升,说明其提高了西瓜对外界胁迫的抵抗力。SOD 和 POD 都是酶促防御系统的保护酶,其活性都上升,意味着 B6 能够有效的激活植物自身的防御系统,提高对外界的适应能力。丙二醛(MDA)是活性氧对膜脂过氧化作用的重要产物之一,MDA 含量越高,膜脂过氧化越严重^[20]。施加活菌 B6 能够大幅度的降低 MDA 的含量,增强细胞膜的稳定性。发达的根系能帮助植物吸收水分和养分,促进地上器官的生长,B6 菌除了能促进地上部分生长量增长外,还能增强根系吸收营养元素,增强作物的抵抗力促进作物生长。

土壤微生物的结构、数量和种类,以及土壤酶活作为土壤质量已经被广为接受^[2]。土壤微生物通过自身的代谢和繁殖,参与土壤的物质转化过程^[21],而土壤酶活则通过反应土壤养分转化的强弱,表明土壤熟化程度。施加活的 B6 菌后,土壤中细菌和放线菌的数量大幅度提高,真菌数量明显减少;土壤脲酶、蔗糖酶和多酚氧化酶的活性有不同程度的提高。这说明 B6 菌能够有效的改变原来西瓜连作后单一的微生物区系,提高土壤养分的有效供给。西瓜连作后,土壤中病原菌激增,其中主要的病原菌是尖孢镰刀菌^[22],在施加活的 B6 菌的处理中,尖孢镰刀菌的数量明显比对照少,这说明 B6 对其有显著的抑制作用,能够减少病原菌对西瓜的侵袭。

试图从西瓜体内重新分离 B6 菌,但在根、茎和叶部位都没有重新分离到 B6,推测原因可能有两个:一方面角担子菌 B6 分离自重阳木茎皮内,重阳木为木本植物,西瓜是草本植物,两者体内环境相差很大,不利于 B6 的定殖;另一方面外源内生菌定殖在植株体内本身就是一个概率事件,它需要合适的环境和条件,如昆虫叮咬、机械擦伤、土壤原生动物的活动^[23]等等。本研究中施加内生菌的方式是在将 B6 活菌丝施加到土壤中,与土壤混匀,并不有意擦伤植株,可能这种施加方式也不利于 B6 在西瓜体内定殖。

根据现有的研究结果和文献资料,推测 B6 菌的作用机制可能有以下几点:在土壤中 B6 与病原菌竞争养分和生存空间^[24],从而导致尖孢镰刀菌的数量显著减少;B6 可能能够分泌某种拮抗物质,抑制尖孢镰刀菌的生长;B6 可以降解菲,因此对西瓜分泌的一些含苯环类的自毒物质可能存在降解作用^[10],B6 能够提高西瓜植株体内组织抗氧化酶活性,诱导植物系统获得抗性提高,从而增强植物对病原菌的抵抗力^[25]。

本文的研究表明,在盆栽条件下施加 B6 菌能够显著地改良土壤微生物区系,提高土壤酶活性,改善土壤微环境,减少土壤中的病原菌数量,而且对连作西瓜品质和产量有一定的提高。但是,对于 B6 菌的具体的作用机制以及在土壤中的定殖情况,需要进一步的研究。此外,将 B6 菌制成生防菌剂,在大田条件下的效果如何以及进一步降低病情指数,还有待探索。

References:

- [1] Zhang X Y, Huang X S, Gu Q S, Jiao D L, Li L, Na L, An G L. Watermelon continuous monocropping obstacles and its control. *China Cucurbits and Vegetables*, 1993, (2): 21-23.
- [2] Zhao M, Li M, Wang M Y, Wang Y, Zhang X Y. Effects of watermelon replanting on main microflora of rhizosphere and activities of soil enzymes. *Microbiology*, 2008, 35(8): 1251-1254.
- [3] Zhen Y P, Wang C B, Huang S Z, Wu Z F. Research on relieving peanut continuous cropping stress. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2008, 30(3): 384-388.
- [4] Wei X C, Yang J M, Liao K Z, Shi M W, Ma X L, Jiang F. Causes of continuous cropping stress and control measures. *Shanghai Vegetables*, 2009, (2): 61-62.

- [5] Wang G, Wang J F, Zhang Y, Yang W Z. Endophytic colonization of watermelon endophytic bacteria *C₁₈* and its biocontrol effects to the fusarial wilt. *Acta Phytologica Sinica*, 2007, 34(1): 109-110.
- [6] Zhang L P, Huang Y L, Cheng H C, Zhang G W, Dong C, Tian L S, Li S S. Study on control watermelon replant disease by mixed animalcules. *Soils and Fertilizer Sciences in China*, 2006, (5): 59-61.
- [7] Raza W, Yang X M, Wu H S, Wang Y, Xu Y C, Shen Q R. Isolation and characterisation of fusaricidin-type compound-producing strain of *Paenibacillus polymyxa* SQR-21 active against *Fusarium oxysporum* f. sp. *neivum*. *European Journal of Plant Pathology*, 2009, 125(3): 471-483.
- [8] Wu H S, Yang X N, Fan J Q, Miao W G, Ling N, Xu Y C, Huang Q W, Shen Q R. Suppression of *Fusarium wilt* of watermelon by a bio-organic fertilizer containing combinations of antagonistic microorganisms. *BioControl*, 2009, 54(2): 287-300.
- [9] Dai C C, Yu B Y, Wang X F, Jiang J H, Shi Y. Identification of endophytic fungi killing *Pieris rapae* and primary determination of its chemical matter. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2006, 34(4): 694-697.
- [10] Dai C C, Tian L S, Zhao Y T, Chen Y, Xie H. Degradation of phenanthrene by the endophytic fungus *Ceratobasidium stevensii* found in *Bischofia polycarpa*. *Biodegradation*, 2010, 21(2): 245-255.
- [11] Zou Q. *Experimental Guidance of Plant Physiological and Biochemical*. Beijing: China Agriculture Press, 1995: 62-174.
- [12] De Cal A, Pascual S, Larena I, Melgarejo P. Biological control of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *Plant Pathology*, 1995, 44(5): 909-914.
- [13] Nishimura N. Selective media for *Fusarium oxysporum*. *Journal of General Plant Pathology*, 2007, 73(5): 342-348.
- [14] Guan S Y. *Soil Enzyme and Its Research Method*. Beijing: Agriculture Press, 1986: 274-325.
- [15] Song W L, Dai C C, Jiang B J, Cai X Z. Research on screening and identification of the endophytic fungi promoting seedling growth in chrysanthemum morifolium Ramat. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2009, (1): 149-152.
- [16] Chen S M, Li Q M, Yu X C. Effects of trough cultivation with organic substrate on physiological characters, yield and fruit quality of watermelon. *Shandong Agricultural Sciences*, 2009, (11): 38-41.
- [17] Dai C C, Xie H, Wang X X, Li P D, Li Y L, Zhang T L. The effects of intercropping with medicinal plants and addition of endophytic fungi on soil microflora and peanut yield. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(8): 2105-2111.
- [18] Liu L T, Li C D, Sun H C, Jia L. Advances of research on cotton leaf senescence physiology. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(7): 316-321.
- [19] Yang S S, Gao J F, Li X J, Lu J Y, Gao M. Leaf senescence and protective enzyme system of spring wheat hybrid. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(3): 460-463.
- [20] Liu W G, Wang M, Yan Z H. Studies on physiological and biochemical characteristics of seedlings of different ploidy watermelons under cold-stress. *Journal of Fruit Science*, 2003, 20(1): 44-48.
- [21] Allison V J, Miller R M, Jastrow J D, Matamala R, Zak D R. Changes in soil microbial community structure in a tallgrass prairie chronosequence. *Soil Biology and Biochemistry*, 2005, 69: 1412-1421.
- [22] Wu H S. *Microbial Ecology Mechanisms on Fusarium Wilt of Watermelon and Its Biological Control in Fusarium-Infested Soil under Long-term Monoculture System [D]*. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2008.
- [23] Yao L A, Hu Z B, Wang L L, Zhou J Y, Li W K. Research development of the relationship between plant endophyte and host. *Ecology and Environment*, 2010, 19(7): 1750-1754.
- [24] Huang Y L, Zhang Y P, Li S S, Zhang G W, Cheng H C, Tian L S. Study on the biocontrol of peanut replant disease by *T. viride* agent. *Modern Agrochemicals*, 2006, 5(6): 35-39.
- [25] Abo-Elyousr K A M, Hashem M, Ali E H. Integrated control of cotton root rot disease by mixing fungal biocontrol agents and resistance inducers. *Crop Protection*, 2009, 28(4): 295-301.

参考文献:

- [1] 张学炜, 黄学森, 古勤生, 焦定量, 李莉, 那丽, 安国林. 西瓜连作障碍及其防治方法. *中国瓜菜*, 1993, (2): 21-23.
- [2] 赵萌, 李敏, 王森焱, 王玉, 张学义. 西瓜连作对土壤主要微生物类群和土壤酶活性的影响. *微生物学通报*, 2008, 35(8): 1251-1254.
- [3] 郑亚萍, 王才斌, 黄顺之, 吴正锋. 花生连作障碍及其缓解措施研究进展. *中国油料作物学报*, 2008, 30(3): 384-388.
- [4] 魏秀翠, 杨金明, 廖开志, 史明武, 马秀玲, 姜飞. 连作障碍发生原因及综合防治措施. *上海蔬菜*, 2009, (2): 61-62.
- [5] 王刚, 王俊芳, 张颖, 杨之为. 西瓜内生细菌 *C₁₈* 的内生定殖及对西瓜枯萎病的生防作用. *植物保护学报*, 2007, 34(1): 109-110.
- [6] 张丽萍, 黄亚丽, 程辉彩, 张根伟, 董超, 田连生, 李书生. 复合生物制剂防治西瓜连作病害的研究. *中国土壤与肥料*, 2006, (5): 59-61.
- [9] 戴传超, 余伯阳, 王新风, 蒋继宏, 史央. 驱杀菜青虫的内生菌鉴定与化合物研究. *安徽农业科学*, 2006, 34(4): 694-697.
- [11] 邹琦. *植物生理生化实验指导*. 北京: 中国农业出版社, 1995: 62-174.
- [14] 关松荫. *土壤酶及其研究法*. 北京: 农业出版社, 1986: 274-325.
- [15] 宋文玲, 戴传超, 姜宝娟, 蔡信之. 促进菊花苗期生长的内生真菌筛选与鉴定研究. *江苏农业科学*, 2009, (1): 149-152.
- [16] 陈四明, 李清明, 于贤昌. 槽式有机基质栽培方式对西瓜生理特性、产量及品质的影响. *山东农业科学*, 2009, (11): 38-41.
- [17] 戴传超, 谢慧, 王兴祥, 李培栋, 李奕林, 张桃林. 间作药材与接种内生真菌对连作花生土壤微生物区系及产量的影响. *生态学报*, 2010, 30(8): 2105-2111.
- [18] 刘连涛, 李存东, 孙红春, 贾蕾. 棉花叶片衰老生理研究进展. *植物生理科学*, 2006, 22(7): 316-321.
- [19] 杨淑慎, 高俊凤, 李学俊, 吕金印, 高梅. 杂交春性小麦叶片衰老与保护酶系统活性的研究. *中国农业科学*, 2004, 37(3): 460-463.
- [20] 刘文革, 王鸣, 阎志红. 不同倍性蜜柑西瓜幼苗在低温胁迫下的生理生化特性. *果树学报*, 2003, 20(1): 44-48.
- [22] 吴洪生. *西瓜连作土传枯萎病微生物生态学机理及其生物防治 [D]*. 南京: 南京农业大学, 2008.
- [23] 姚领爱, 胡之璧, 王莉莉, 周吉燕, 黎万奎. 植物内生菌与宿主关系研究进展. *生态环境学报*, 2010, 19(7): 1750-1754.
- [24] 黄亚丽, 张丽萍, 李书生, 张根伟, 程辉彩, 田连生. 绿色木霉菌剂对花生重茬病害的防治效果研究. *现代农药*, 2006, 5(6): 35-39.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 4 February, 2012 (Semimonthly)
CONTENTS

The influence of a reclamation project on the macrobenthos of an East Nanhui tidal flat MA Changan, XU Linlin, TIAN Wei, et al (1007)

Ecological health assessment of groundwater in the lower Liaohe River Plain using an ArcView-WOE technique SUN Caizhi, YANG Lei (1016)

Nitrogen flows in intensive “crop-livestock” production systems typically for the peri-urban area of Beijing HOU Yong, GAO Zhiling, MA Wenqi, et al (1028)

The simulation of leaf net photosynthetic rates in different radiation in apple canopy GAO Zhaoquan, FENG Shezhang, ZHANG Xianchuan, et al (1037)

Phenological variation of typical vegetation types in northern Tibet and its response to climate changes SONG Chunqiao, YOU Songcai, KE Linghong, et al (1045)

Soil moisture and temperature characteristics of forest-grassland ecotone in middle Qilian Mountains and the responses to meteorological factors TANG Zhenxing, HE Zhibin, LIU Hu (1056)

Eco-hydrological effects of Qinghai spruce (*Picea crassifolia*) canopy and its influence factors in the Qilian Mountains TIAN Fengxia, ZHAO Chuanyan, FENG Zhaodong, et al (1066)

Response of tree-ring width of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* to climate change in Hulunbuir sand land, China SHANG Jianxun, SHI Zhongjie, GAO Jixi, et al (1077)

Analysis of a dust case using lidar in Shanghai MA Jinghui, GU Songqiang, CHEN Min, et al (1085)

Relating the distribution of zooplankton abundance in the coastal waters of central Fujian Province to the seasonal variation of water masses TIAN Fengge, XU Zhaoli (1097)

Phenotypic traits of both larvae and juvenile *Crasstrea hongkongensis* and *C. gigas* ZHANG Yuehuan, WANG Zhaoping, YAN Xiwu, et al (1105)

Inter-specific competition between *Prorocentrum donghaiense* and *Skeletonema costatum* LI Hui, WANG Jiangtao (1115)

Effects of initial biomass ratio on the interspecific competition outcome between three marine microalgae species WEI Jie, ZHAO Wen, YANG Weidong, et al (1124)

On the ecological amplitude of nitrate of *Alexandrium tamarense* at different initial phosphate concentrations in laboratory cultures WEN Shiyong, SONG Lili, LONG Hua, et al (1133)

Time lag effects and rainfall redistribution traits of the canopy of natural secondary *Pinus tabulaeformis* on precipitation in the Qinling Mountains, China CHEN Shujun, CHEN Cungen, ZOU Bocai, et al (1142)

The vertical distribution of vegetation patterns and its relationship with environment factors at the northern slope of Ili River Valley: a bimodal distribution pattern TIAN Zhongping, ZHUANG Li, LI Jianguo (1151)

Comparative analysis of water related parameters and photosynthetic characteristics in the endangered plant *Tetraena mongolica* Maxim. and the closely related *Zygophyllum xanthoxylon* (Bunge) Maxim. SHI Songli, WANG Yingchun, ZHOU Hongbing, et al (1163)

Antioxidant properties of four native grasses in Loess Plateau under drought stress SHAN Changjuan, HAN Ruilian, LIANG Zongsuo (1174)

The effects of the addition of *Ceratobasidium stevensii* B6 and its growth on the soil microflora at a continuously cropped water-melon (*Citrullus lanatus*) site in China XIAO Yi, WANG Xingxiang, WANG Hongwei, et al (1185)

Suitable habitat for the *Achnatherum splendens* community in typical steppe region of Inner Mongolia ZHANG Yifei, WANG Wei, LIANG Cunzhu, et al (1193)

Spatio-temporal variability of soil salinity and its relationship with the depth to groundwater in salinization irrigation district GUAN Xiaoyan, WANG Shaoli, GAO Zhanyi, et al (1202)

Spatial heterogeneity of soil saturated hydraulic conductivity on a slope of the wind-water erosion crisscross region on the Loess Plateau LIU Chunli, HU Wei, JIA Hongfu, et al (1211)

Spatial and temporal variations of total nitrogen density in agricultural soils of the Songnen Plain Maize Belt ZHANG Chunhua, WANG Zongming, JU Weimin, et al (1220)

The evaluation system of strength of winteriness in wheat WANG Peng, ZHANG Chunqing, CHEN Huabang, et al (1230)

A comparison of summer habitats selected by sympatric *Apodemus chevrieri* and *Apodemus draco* in Tiangjiahe Nature Reserve, China LI Yunxi, ZHANG Zejun, SUN Yiran, et al (1241)

Life tables for experimental populations of *Frankliniella occidentalis* on 6 vegetable host plants CAO Yu, ZHI Junrui, KONG Yixian (1249)

Effect of diet switch on turnover rates of tissue nitrogen stable isotopes in fish based on the enrichment-dilution approach ZENG Qingfei, GU Xiaohong, MAO Zhigang, et al (1257)

Recognition of important ecological nodes based on ecological networks analysis: A case study of urban district of Nanjing XU Wenwen, SUN Xiang, ZHU Xiaodong, et al (1264)

Seasonal characteristics of CO₂ fluxes above urban green space in the Pearl River Delta, China SUN Chunjian, WANG Chunlin, SHEN Shuanghe, et al (1273)

Simulation and evaluation of groundwater seepage in contaminated sites: case study of TuoCheng County WU Yizhong, ZHU Qinyuan, LIU Ning, LU Genfa, DAI Mingzhoet al (1283)

Review and Monograph

Recent advances in wetland degradation research HAN Dayong, YANG Yongxing, YANG Yang, LI Ke (1293)

A review concerning nitrogen accumulation and leaching in agro-ecosystems of oasis YANG Rong, SU Yongzhong, WANG Xuefeng (1308)

Discussion

The diversity of the radio-resistant bacteria *Deinococcus radiodurans* TU Zhenli, FANG Lijing, WANG Jiagang (1318)

Effect of pruning measure on physiology character and soil waters of *Caragana korshinskii* YANG Yongsheng, BU Chongfeng, GAO Guoxiong (1327)

Scientific Note

Characteristics of rainfall interception for four typical shrubs in Qilian Mountain LIU Zhangwen, CHEN Rensheng, SONG Yaoxuan, et al (1337)

Dormancy break approaches and property of dormant seeds of wild *Cryptotaenia japonica* YU Mei, ZHOU Shoubiao, WU Xiaoyan, et al (1347)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

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 32 卷 第 4 期 (2012 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 4 2012

| | | | |
|---------------|--|-----------------|---|
| 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:100071 | 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:100071 电话:(010)64034563 E-mail: journal@esp.net | Distributed by | Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@esp.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