

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 14 期 Vol.32 No.14 **2012**

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 32 卷 第 14 期

2012 年 7 月 (半月刊)

目 次

海滨沙地砂引草对沙埋的生长和生理适应对策.....	王 进,周瑞莲,赵哈林,等 (4291)
外源 K ⁺ 和水杨酸在缓解融雪剂对油松幼苗生长抑制中的效应与机理 ...	张 营,李法云,严 霞,等 (4300)
钱塘江中游流域不同空间尺度环境因子对底栖动物群落的影响.....	张 勇,刘朔孺,于海燕,等 (4309)
贡嘎山东坡非飞行小型兽类物种多样性的垂直分布格局.....	吴永杰,杨奇森,夏 霖,等 (4318)
基于斑块的红树林空间演变机理分析方法.....	李春干,刘素青,范航清,等 (4329)
亚热带六种天然林树种细根养分异质性.....	熊德成,黄锦学,杨智杰,等 (4343)
浙江省植被 NDVI 动态及其对气候的响应	何 月,樊高峰,张小伟,等 (4352)
亚热带 6 种天然林树种细根呼吸异质性.....	郑金兴,熊德成,黄锦学,等 (4363)
亚高山/高山森林土壤有机层氨氧化细菌和氨氧化古菌丰度特征	王 奥,吴福忠,何振华,等 (4371)
耕作方式对紫色水稻土轻组有机碳的影响.....	张军科,江长胜,郝庆菊,等 (4379)
火烧对长期封育草地土壤碳固持效应的影响.....	何念鹏,韩兴国,于贵瑞,等 (4388)
闽江河口潮汐湿地二氧化碳和甲烷排放化学计量比.....	王维奇,曾从盛,仝 川,等 (4396)
2010 年夏季珠江口海域颗粒有机碳的分布特征及其来源	刘庆霞,黄小平,张 霞,等 (4403)
新疆冷泉沉积物葡萄糖利用细菌群落多样性的稳定同位素标记分析.....	楚 敏,王 芸,曾 军,等 (4413)
土壤微生物群落多样性解析法:从培养到非培养.....	刘国华,叶正芳,吴为中 (4421)
伊洛河河岸带生态系统草本植物功能群划分	郭屹立,卢训令,丁圣彦 (4434)
濒危植物蒙古扁桃不同地理种群遗传多样性的 ISSR 分析	张 杰,王 佳,李浩宇,等 (4443)
强潮区较高纬度移植红树植物秋茄的生理生态特性.....	郑春芳,仇建标,刘伟成,等 (4453)
冬季高温对白三叶越冬和适应春季“倒春寒”的影响	周瑞莲,赵 梅,王 进,等 (4462)
中亚热带细柄阿丁枫和米槠群落细根的生产和死亡动态.....	黄锦学,凌 华,杨智杰,等 (4472)
欧美杨水分利用效率相关基因 <i>PdEPF1</i> 的克隆及表达	郭 鹏,金 华,尹伟伦,等 (4481)
再力花地下部水浸提液对几种水生植物幼苗的化感作用.....	缪丽华,王 媛,高 岩,等 (4488)
无致病力青枯雷尔氏菌对烟草根系土壤微生物脂肪酸生态学特性的影响.....	郑雪芳,刘 波,蓝江林,等 (4496)
基于更新和同化策略相结合的遥感信息与水稻生长模型耦合技术的研究.....	王 航,朱 艳,马孟莉,等 (4505)
温度和体重对克氏双锯鱼仔鱼代谢率的影响.....	叶 乐,杨圣云,刘 敏,等 (4516)
夏季西南印度洋叶绿素 a 分布特征.....	洪丽莎,王春生,周亚东,等 (4525)
大沽排污河生态修复河道水质综合评价及生物毒性影响.....	王 敏,唐景春,朱文英,等 (4535)
李肖叶甲成虫数量及三维空间格局动态.....	汪文俊,林雪飞,邹运鼎,等 (4544)
专论与综述	
基于景观格局的城市热岛研究进展	陈爱莲,孙然好,陈利顶 (4553)
沉积物质量评价“三元法”及其在近海中的应用	吴 斌,宋金明,李学刚,等 (4566)
问题讨论	
中国餐厨垃圾处理的现状、问题和对策	胡新军,张 敏,余俊锋,等 (4575)
研究简报	
稻秸蓝藻混合厌氧发酵沼液及其化学物质对尖孢镰刀菌西瓜专化型生长的影响.....	刘爱民,徐双锁,蔡 欣,等 (4585)
佛山市农田生态系统的生态损益.....	叶延琼,章家恩,秦 钟,等 (4593)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 314 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 33 * 2012-07



封面图说: 噶龙山南坡的高山湖泊——喜马拉雅山南坡的噶龙山光照强烈、雨量充沛,尽管是海拔 4500 多米的高寒地区,山上的草甸依然泛着诱人的翠绿色,冰川和雪山的融水汇集在山梁的低洼处形成了一个又一个的高山湖泊,由于基底的差别和水深的不同,使得纯净清澈的冰雪融水在湖里呈现出不同的颜色,湖面或兰或绿,颜色或深或浅,犹如一块块通透透明的翡翠镶嵌在绿色的绒布之中。兰天下面,白云落在山间,通往墨脱的公路像丝带一样随随便便地缠绕着,一幅美丽的自然生态画卷就这样呈现在你的面前。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201106270952

刘爱民, 徐双锁, 蔡欣, 卢存龙, 彭鹏. 稻秸蓝藻混合厌氧发酵沼液及其化学物质对尖孢镰刀菌西瓜专化型生长的影响. 生态学报, 2012, 32(14): 4585-4592.

Liu A M, Xu S S, Cai X, Lu C L, Peng P. Effects of microchemical substances in anaerobic fermented liquid from rice straw and cyanobacteria on *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* growth. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(14): 4585-4592.

稻秸蓝藻混合厌氧发酵沼液及其化学物质对 尖孢镰刀菌西瓜专化型生长的影响

刘爱民*, 徐双锁, 蔡欣, 卢存龙, 彭鹏

(安徽师范大学生命科学学院 生态环境与生态安全安徽省高校重点实验室
重要生物资源的保护和利用研究安徽省重点实验室, 芜湖 241000)

摘要: 研究稻秸与蓝藻(1:1)混合厌氧发酵的沼液及其微量化学成分对尖孢镰刀菌西瓜专化型(*Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*, FON)的孢子萌发、孢子数量、菌丝生长的影响。结果表明: 40% 浓度的发酵沼液即可 100% 抑制孢子萌发, 20% 浓度的沼液即可达到 98.74% 的抑制菌体产生孢子, 100% 浓度的沼液显著抑制气生菌丝的生长; 进一步 GC-MS 分析发现沼液有机物成分中烷类较多, 存在微量的四氯化碳(CCl_4)、六氯乙烷(C_2Cl_6)、1,1-二乙氧基乙烷($\text{CH}_3\text{CH}(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_2$) 3 种化学物质; 三者都具有显著的抑菌效果, 且随浓度的增加而增大, 尤其 $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_2$ 的抑菌效果最好; 0.75% 浓度的 3 种化学物质对孢子萌发的抑制率即可达到 100%; 在培养基中分别加入 CCl_4 、 C_2Cl_6 、 $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_2$ 的浓度为 1.00% 时, 镰刀菌的产孢数量分别降低了 5.67%、18.05%、8.72%; 培养 4d, 三者对尖孢镰刀菌西瓜专化型气生菌丝生长的抑制效果均达到 90.40%, 效果显著。研究表明沼液中确实存在对病原微生物具有明显抑制作用的多种有效的化学成分, 可作为防治病原菌的首选药剂。

关键词: 尖孢镰刀菌西瓜专化型; 稻秸与蓝藻混合厌氧发酵沼液; CCl_4 ; C_2Cl_6 ; $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_2$; 抑菌率

Effects of microchemical substances in anaerobic fermented liquid from rice straw and cyanobacteria on *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* growth

LIU Aimin*, XU Shuangshuo, CAI Xin, LU Cunlong, PENG Peng

(College of Life Sciences, Anhui Normal University Provincial Key Laboratories of Biotic Environment and Ecological safety Conservation and Utilization of Biological Resource in Anhui Wuhu, 241000, China)

Abstract: Fusarium wilt of watermelon caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* is world wide in occurrence, which belongs to Fungal soil-borne diseases. Spore germination, mycelial growth and sporulation are important stages of disease spread, the medicament which can block any growth stage of pathogenic bacteria can control the disease. The effect of microchemical substances in anaerobic fermented liquid from rice straw and cyanobacteria(1:1) on *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* growth was investigated. It included spore germination, spore number, and mycelial growth. The results showed that spore germination number reduced 6.25%、37.5%、77.5% respectively at the 5%, 10% and 20% concentration groups, especially inhibited by 100% at 40% concentration of biogas slurry. The spore production could be inhibited by 98.74% at 20% concentration of biogas slurry. The aerial mycelial growth could be almost inhibited at 100% concentration of biogas slurry. Further analysis by gas chromatograph-mass spectrometer found that there are many kinds of alkyl substances in the organic component from biogas liquid. Three microchemical substances, CCl_4 , C_2Cl_6 , CH_3CH

基金项目: 国家农业科技华东(江苏)创新中心-农业废弃物资源化工程技术研究中心开放课题(200801); 安徽师范大学教学研究项目(201013); 大学生创新性实验计划项目(2011102); 优秀创新团队建设计划的基金资助

收稿日期: 2011-06-27; 修订日期: 2012-02-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: amlu9393@yahoo.com.cn

(OCH_2CH_3)₂ measured in biogas liquid by GC-MS analysis had distinct inhibition effects. The inhibition effects increased with their concentrations, especially $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_2$. The spore germination number reduced 20.22%、28.84%、40.82% respectively when CCl_4 , C_2Cl_6 and $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_2$ were added in culture medium at the 0.1% concentration; and the inhibition rate respectively increased to 81.27%、79.78%、86.52% at 0.5% concentration. The spore germination were inhibited by 100% at the 0.75% concentration of three chemicals; The numbers of producing-spore reduced 5.67%、18.05%、8.72% respectively at the 1% concentration of three chemicals; The inhibition rate was 80.91%、75.59% and 99.22% respectively at 3% concentration of three chemicals. The restraint effects of three chemicals were very notable on the aerial mycelial growth with training four days, especially $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_2$ at 0.10%—1.00% concentration and CCl_4 or C_2Cl_6 at the concentration more than 0.25%. The inhibiting rate would get to 90.4% when three chemicals at 1.00% concentration were added in the medium. The tolerance of *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* on three microchemical substances increased with prolonging culture time. The aerial mycelium in every tested group grown at some extent. The restraint rate of three chemicals was 77.96% on the aerial mycelial growth with training seven days, especially 1,1- $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_2$ getting to 87.22%. The restraint effects increased with the concentration in the range of 0.10% to 1.00%. But the inhibiting rate declined slightly comparing with four days at same period. The experiment results showed that three chemicals remarkably restrained the growth of prophase aerial mycelial. Multi-specific ingredients were included in the biogas liquid to inhibit the pathogenic microbe. Biogas slurry can be used to control the growth of pathogenic microbes as one of the preferred agents, which will resolve the long-troubled problem about the disease and provide reference to prevent fusarium wilt of watermelon for the future study.

Key Words: *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*; anaerobic fermentation liquid; CCl_4 ; C_2Cl_6 ; $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_2$; the inhibiting rate

西瓜枯萎病是由半知菌亚门的尖孢镰刀菌西瓜专化型(*Fusarium oxysporum* f. sp. *Niveum*, FON)感染所致的土传维管束病害,可导致西瓜减产 15%,重者达 85%,甚至绝收,并造成西瓜品质降低(含糖量下降),是西瓜病害中造成经济损失最大的病害之一^[1],尤其在西瓜重茬栽培情况下,病害发生更为严重^[2]。近年来,针对西瓜枯萎病的防治措施越来越多:倒茬轮作、嫁接^[3]、选育抗病品种^[4-5]、物理防治、化学防治^[6-9]和生物防治^[10-14]等,但以上方法均有不足^[15]。因此,寻找新的更有效地防治西瓜镰刀菌的方法刻不容缓。

近年来,厌氧发酵产沼气技术发展日趋成熟,在我国的城乡逐渐普及。人们在使用清洁能源沼气的同时,也逐渐意识到沼液的实用价值:沼液防治作物病虫害,沼液浸种,施肥,沼液做饲料添加剂等,沼液逐渐在种植业和养殖业方面得到广泛应用^[16-17]。沼液因“无污染、无残留、无抗药性”而被人们称为“生物农药”,研究发现不同原料发酵的沼液对多种病原菌有较好的抑制效果^[18],因此,选用沼液防治尖孢镰刀菌十分可行,早在 1991 年^[19]就报道了在重茬西瓜地上施用沼液,对防治西瓜枯萎病有良好的效果。但是关于对沼液的具体抑菌成分和机理的研究鲜见报道,因而这是本试验的主要研究目的。

本试验采用产沼气良好的稻秸与蓝藻混合厌氧发酵沼液进行试验,研究原沼液对尖孢镰刀菌西瓜专化型生长的影响;进一步对沼液进行成分分析,选择其中微量物质进行试验,研究它们对尖孢镰刀菌西瓜专化型生长的影响,判断出沼液中的具体抑菌成分;这将为解决长期困扰人们的西瓜枯萎病的防治问题提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试菌种

本实验菌种为尖孢镰刀菌西瓜专化型(*Fusarium oxysporum* f. sp. *Niveum*, FON),由安徽师范大学微生物实验室筛选和保存。将在 PDA 平板上培养 7d 的尖孢镰刀菌西瓜专化型菌落用无菌水洗下,四层纱布过滤收集孢子,并稀释制成孢子悬液,备用。

1.1.2 稻秸与蓝藻混合厌氧发酵沼液

稻秸采集自安徽省芜湖市三山区田间;蓝藻是从巢湖打捞的藻液,经静置分层,除去 40% (体积分数) 清水后,取藻层作为试验原料;接种物污泥采集自芜湖市某啤酒厂的污水处理池;具体配比为风干水稻秸秆和新鲜蓝藻各 100g,外加驯化好的污泥溶液 2L,在容积为 5L 的严格厌氧发酵罐内进行稻秸与蓝藻混合(1:1)厌氧发酵,(35±1)℃ 温度下持续 71d,获得发酵沼液,并萃取和分析沼液成分。

1.1.3 3 种化学物质的来源

四氯化碳(CCl_4)、六氯乙烷(C_2Cl_6)、1,1-二乙氧基乙烷($\text{CH}_3\text{CH}(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_2$),均为分析纯。 CCl_4 购自无锡市亚盛化工有限公司; C_2Cl_6 购自上海精华科技研究所; $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_2$ 购自国药集团化学试剂有限公司。这 3 种化学物质都是有机化合物的优良溶剂, CCl_4 还可用作灭火剂, C_2Cl_6 还用于有机合成和医药等, $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_2$ 还用于有机合成和化妆品、香料的制造等方面。

1.2 实验方法

1.2.1 稻秸与蓝藻混合厌氧发酵沼液的成分分析

发酵结束,将稻秸与蓝藻厌氧发酵沼液用乙醚和三氯乙烷分别萃取,再利用 GCMS-2010 QP Plus 气质联用仪进行成分分析。使用质谱检测器,载气:高纯 He 为载气,RTX-5 柱,0.25μm×0.25μm,长 30m;流量为 15mL/min,柱温 40℃,气化室 260℃,检测器温度 200℃。通过峰面归一法测定沼液中各有机物质。

1.2.2 实验设计

试验前将稻秸与蓝藻混合厌氧发酵沼液离心取上清液,在紫外灯下灭菌 1h 后备用;分别将上述三种化学物质采用乙醇助溶,配制溶液,在紫外灯下照射 1h 除菌,备用。

(1) 孢子萌发

参照 Hao^[20] 方法,采用 2% 水琼脂平板进行,设置 7 个处理:依次为 5%、10%、20%、40%、80%、100% 的混合发酵沼液,标号为 R1、R2、R3、R4、R5、R6,同时设置对照 CK1。将制备好的孢子悬液稀释至浓度 $\leq 1 \times 10^3$ cfu/mL,每平板涂布 0.1 mL 孢子悬液,28℃ 培养 3d 后记录平板萌发的孢子数目。每处理重复 3 次。

在每个平板中分别加入 CCl_4 、 C_2Cl_6 、 $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_2$ 3 种化学物质与 2% 水琼脂培养基制成混合平板,浓度分别为 0、0.1%、0.25%、0.5%、0.75%、1.0%。每处理重复 3 次。每平板涂布 0.1 mL 西瓜专化型尖孢镰刀菌孢子悬液(约 1×10^3 cfu/mL),28℃ 培养 3 d 后记录平板上萌发的孢子数目。

(2) 孢子数测定

依次将稻秸与蓝藻混合厌氧发酵沼液和液体 PDA 混匀,设置 5 个浓度梯度,分别为 0、1%、3%、10%、20%。各处理分别接种 0.1 mL 稀释好的尖孢镰刀菌西瓜专化型孢子悬液(约 1×10^3 cfu/mL),28℃ 振荡培养 3 d(200 r/min)后于 PDA 平板稀释涂布,28℃ 下再培养 2d,镜检记录孢子的数量。每处理重复 3 次。

分别将 CCl_4 、 C_2Cl_6 、 $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_2$ 与灭好菌的液体 PDA 均匀混溶,设置的浓度梯度和各处理接种情况与上述相同,同样记录孢子的数量。

(3) 菌丝生长测定

在制备好的 PDA 培养基上涂布稀释好的尖孢镰刀菌西瓜专化型孢子悬液(约 2×10^5 cfu/mL),每平板放置 3 个牛津杯,每杯中加入经过紫外除菌的蓝藻与稻秸混合发酵沼液原液 200μL。对照组以无菌水代替沼液。每处理重复 3 次。28℃ 培养 7d,观察抑菌圈的大小,测定沼液的抑菌情况。

在 PDA 培养基中分别加入 CCl_4 、 C_2Cl_6 、 $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_2$ 3 种化学物质制成混合平板,浓度分别为 0、0.1%、0.25%、0.5%、0.75%、1.0%。用直径 0.6 cm 的打孔器打取生长一致、培养基厚度一致的等龄尖孢镰刀菌菌饼接种至上述制备好的平板中心,28℃ 培养 7d,采用十字交叉法测定每个平板内菌落直径。

1.3 数据分析

采用 Microsoft Excel(2003) 软件处理原始数据,采用 SPSS13.0 统计软件进行不同处理的方差分析和差异显著性检验(Duncan's multiple range tests),显著检验水平设 $P \leq 0.05$ 。

2 结果与讨论

2.1 蓝藻与稻秸混合厌氧发酵沼液的成分分析

由表 1 可知,通过 GC-MS 分析可知,稻秸与蓝藻混合厌氧发酵沼液中有机物成分主要有酸类、醇类以及烷类,其中酸类较少,醇类和烷类较多。

表 1 沼液中的有机物成分分析

Table 1 The component analysis of the organic matter being left in the residue biogas liquid	
成分 Component	稻秸与蓝藻混合厌氧发酵沼液 Anaerobic fermented liquid from rice straw and cyanobacteria
酸	乙酸、戊酸、L-丙氨酸
醇	2,3-丁二醇、3-甲氧基-1,2-丙二醇、乙醛缩二乙醇、1-甲氧基-2-丙醇、丁二仲醇(2,3-二羟基丁烷)
烷	四氯化碳、五氯乙烷、六氯乙烷、2-乙氧基丁烷、二甲氧基甲烷、1,1-二乙氧基乙烷

2.2 稻秸与蓝藻混合厌氧发酵沼液及其化学物质对尖孢镰刀菌西瓜专化型生长的影响

2.2.1 对孢子萌发的影响

当添加的蓝藻与稻秸混合厌氧发酵沼液达到 40% 以上时,即 R4、R5、R6 处理组(添加 40%、80%、100% 的混合发酵沼液组)对尖孢镰刀菌西瓜专化型孢子萌发抑制率达到 100%,孢子萌发数为 0,抑菌效果十分显著。由图 1 可知,与 CK1 相比,R1、R2、R3 即添加 5%、10%、20% 的稻秸与蓝藻混合厌氧发酵沼液组中尖孢镰刀菌西瓜专化型孢子萌发数分别下降了 6.25%、37.5%、77.5%;由此可见,稻秸与蓝藻混合厌氧发酵沼液对 FON 的孢子萌发有显著的抑制,且浓度越大抑菌效果越佳。

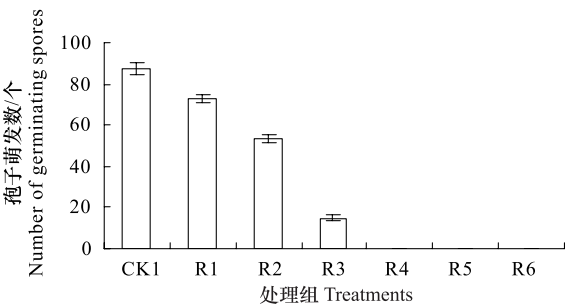


图 1 稻秸与蓝藻混合厌氧发酵沼液对 FON 孢子萌发的影响
Fig.1 Effects of the anaerobic fermentation liquid of rice straw and cyanobacteria on spore germination of FON

由表2可知,3种化学物质对尖孢镰刀菌西瓜专化型孢子的萌发均具有一定的抑制作用,且随浓度的递

表 2 3 种化学物质对 FON 孢子萌发的影响

Table 2 Effects of three kinds of chemical substances on spore germination of FON			
化学物质 Chemical substances	浓度/% Concentration	孢子萌发 Spore germination	抑制率 Inhibition rate/%
CCl ₄	0.00	89.00±3.21	—
	0.10	71.00±1.00	20.22
	0.25	37.67±1.45	57.67
	0.50	16.67±0.88	81.27
	0.75	0.00±0.00	100
	1.00	0.00±0.00	100
	0.00	89.00±3.21	—
C ₂ Cl ₆	0.10	63.33±0.88	28.84
	0.25	35.67±1.20	57.67
	0.50	18.00±0.58	79.78
	0.75	0.00±0.00	100
	1.00	0.00±0.00	100
	0.00	89.00±3.21	—
	0.10	52.67±1.45	40.82
CH ₃ CH-(OCH ₂ CH ₃) ₂	0.25	31.33±0.88	64.80
	0.50	12.00±1.15	86.52
	0.75	0.00±0.00	100
	1.00	0.00±0.00	100
	0.00	89.00±3.21	—
	0.10	52.67±1.45	40.82
	0.25	31.33±0.88	64.80

增,抑制效果更显著,当培养基中分别加入 0.1% 的 CCl_4 、 C_2Cl_6 、 $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_2$ 后,与对照相比,尖孢镰刀菌西瓜专化型孢子萌发数分别降低了 20.22%、28.84%、40.82%,随着浓度的增加,抑制率逐渐增大;当浓度达到 0.5% 时,三者的抑制率依次为 81.27%、79.78%、86.52%,这比郝文雅等人^[20]研究的 160mg/L 香豆酸对孢子萌发的抑制率达 70.5% 和 160 mg/L 水杨酸抑制率达 67.4% 效果好;在浓度 $\geq 0.75\%$ 时,三者的抑菌率均达到 100%。综上可看出在较低浓度情况下,三者中 $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_2$ 的抑制孢子萌发效果最好。

2.2.2 对产生孢子的数量影响

由表 3 所示,在 1% 至 20% 范围内,随着蓝藻与稻秸混合厌氧发酵沼液浓度的增加,沼液对尖孢镰刀菌西瓜专化型抑孢率逐渐增大。当加入沼液浓度达到 3% 时,抑制尖孢镰刀菌西瓜专化型孢子显著,且随着浓度的增加,孢子数量急剧下降。20% 浓度的沼液即可达到 98.74% 的抑制孢子产生。

表 3 稻秸与蓝藻混合厌氧发酵沼液对 FON 产孢数的影响

Table 3 Effects of the anaerobic fermentation liquid of straw and cyanobacteria on producing spore number of FON

沼液浓度/% Biogas slurry concentration	FON 产孢数 Producing FON spore number	抑制率/% Inhibition rate
0	184.67 $\pm$ 3.28	—
1	152.33 $\pm$ 3.76	17.51
3	89.67 $\pm$ 2.60	51.44
10	19.00 $\pm$ 1.15	89.71
20	2.33 $\pm$ 0.33	98.74

由表 4 可知,三种化学物质对尖孢镰刀菌西瓜专化型产孢与孢子萌发的影响趋势基本一致。与对照相比,在分别加入 CCl_4 、 C_2Cl_6 、 $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_2$ 的浓度为 1.00% 时,镰刀菌的产孢数量分别降低了 5.67%、18.05%、8.72%, C_2Cl_6 的抑菌效果最好;但当加入浓度增加到 3% 时,三者的抑菌率分别为 80.91%、75.59%、99.22%, $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_2$ 的抑菌效果十分显著,相比较 Wu 等人^[6,8-9]研究的芥子酸在浓度达到 11.2%—37.3% 时才抑制西瓜尖孢镰刀菌产孢,香豆酸在 320mg/L 时产孢抑制为 98.9%,而孢子萌发却增长 55.7%,苯甲酸浓度 > 200 mg/L 产孢率下降了 100%,可见,本试验的 3 种化学物质的抑孢效果较好;并且在加入浓度达到 $> 3\%$,即 10% 和 20% 时,三者的抑孢率均达到 100%。因此,3 种化学物质对尖孢镰刀菌西瓜专化型孢子测定的试验研究中,较低加入浓度(1%)即能较显著地抑制尖孢镰刀菌西瓜专化型的孢子数量。

表 4 3 种化学物质对 FON 产孢数的影响

Table 4 Effects of three kinds of chemical substances on producing spore number of FON

化学物质 Chemical substances	浓度/% Concentration	产孢数量 Producing spore number	抑制率 Inhibition rate/%
CCl_4	0.00	382.33 $\pm$ 3.38	—
	1	360.67 $\pm$ 3.48	5.67
	3	73.00 $\pm$ 1.73	80.91
	10	0.00 $\pm$ 0.00	100
	20	0.00 $\pm$ 0.00	100
C_2Cl_6	0.00	382.33 $\pm$ 3.38	—
	1	313.33 $\pm$ 3.38	18.05
	3	93.33 $\pm$ 2.40	75.59
	10	0.00 $\pm$ 0.00	100
	20	0.00 $\pm$ 0.00	100
$\text{CH}_3\text{CH}(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_2$	0.00	382.33 $\pm$ 3.38	—
	1	349.00 $\pm$ 2.65	8.72
	3	3.00 $\pm$ 1.00	99.22
	10	0.00 $\pm$ 0.00	100
	20	0.00 $\pm$ 0.00	100

2.2.3 对菌丝生长的影响

如图 2 所示,与 CK 相比,培养 7d 以后,稻秸与蓝藻混合厌氧发酵沼液处理的平板上几乎无尖孢镰刀菌西瓜专化型气生菌丝生长,抑制效果显著,这与陈丽琼^[21]等研究的沼液对烟草赤星病 96.8% 的抑菌率近似,说明沼液是一种高效、环保的“生物农药”。

由表 5 可知,浓度为 0.10%—1.00% 的 3 种化学物质对尖孢镰刀菌西瓜专化型的菌丝生长影响,无论是培养 4d 还是 7d 均表现出一定的抑制作用,且随着浓度的递增,抑制作用逐渐增强,差异显著。 CCl_4 和 C_2Cl_6 对尖孢镰刀菌西瓜专化型菌丝生长的影响近似,二者在培养 4d 时,只有 0.10% 的浓度对尖孢镰刀菌西瓜专化型

的抑制作用较小,未达到显著水平 ($P>0.05$),而浓度从 0.25%—1.00%,抑制率分别达 39.2%—90.4% 和 49.87%—90.4%,呈显著抑制作用 ($P<0.05$)。而在培养 7d 时, CCl_4 和 C_2Cl_6 的浓度从 0.10%—1.00%,对尖孢镰刀菌西瓜专化型菌丝的生长呈显著抑制作用 ($P<0.05$),最大抑制率分别达 77.96% 和 86.48%。培养 4d 和 7d 时, $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_2$ 的浓度从 0.10%—1.00% 递增,抑制率分别达 41.87%—90.4% 和 67.96%—87.22%,且均呈显著抑制作用 ($P<0.05$)。因此,可以看出,3 种化学物质对尖孢镰刀菌西瓜专化型菌丝生长的影响,以 $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_2$ 的抑制效果最好。在培养 4d 时,3 种药剂对尖孢镰刀菌西瓜专化型气生菌丝生长抑制显著,同种药剂随浓度的递增, $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_2$ 在浓度为 0.10%—1.00% 的抑菌效果均呈显著, CCl_4 和 C_2Cl_6 需在 0.25% 以上浓度出现显著抑菌效果,在浓度为 1.00% 时三者的抑制效果均

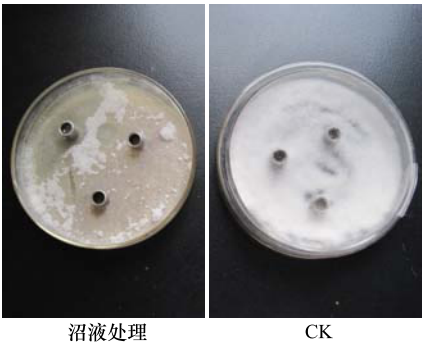


图 2 稻秸与蓝藻混合厌氧发酵沼液对 FON 菌丝生长的影响
Fig. 2 Effects of anaerobic fermentation liquid from straw and cyanobacteria on the mycelial growth of FON

表 5 三种化学物质对 FON 菌丝生长的影响

Table 5 Effects of three microchemical substances on the mycelial growth of FON					
化学物质 Chemical substances	浓度/% Concentration	时间 Time/d			
		4d		7d	
		菌落直径 Colony diameter/cm	抑制率 Inhibition rate/%	菌落直径 Colony diameter/cm	抑制率 Inhibition rate/%
CCl_4	0	6.25±0.02a	—	9.00±0.00a	—
	0.10	5.95±0.02b	4.8	5.87±0.00b	34.82
	0.25	3.80±0.01c	39.2	5.37±0.02b	40.37
	0.50	2.98±0.04d	52.27	3.17±0.00c	64.82
	0.75	1.63±0.04e	73.87	2.67±0.02d	70.37
	1.00	0.60±0.00f	90.4	1.98±0.02e	77.96
C_2Cl_6	0	6.25±0.02a	—	9.00±0.00a	—
	0.10	5.67±0.02b	9.33	5.93±0.01b	34.07
	0.25	3.13±0.02c	49.87	1.77±0.01e	80.37
	0.50	2.23±0.18d	64.27	1.58±0.00e	82.41
	0.75	1.2±0.01e	80.8	1.55±0.00e	82.78
	1.00	0.60±0.00f	90.4	1.27±0.01e	86.48
$\text{CH}_3\text{CH}(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_2$	0	6.25±0.02a	—	9.00±0.00a	—
	0.10	3.63±0.09c	41.87	2.88±0.02d	67.96
	0.25	3.00±0.03c	52.00	2.5±0.01d	72.22
	0.50	2.2±0.01d	64.80	1.9±0.03e	78.89
	0.75	1.17±0.00e	81.33	1.4±0.00e	84.44
	1.00	0.60±0.00f	90.40	1.15±0.00e	87.22

* 以上数值均表示平均值±标准误差 (n=3); 同列不同字母表示差异显著 (P=0.05)

达到 90.4%;而随着培养时间延长,尖孢镰刀菌西瓜专化型对药剂的抗性增强,各试验组的气生菌丝均出现一定程度的生长,在培养 7d 时,三者对尖孢镰刀菌西瓜专化型菌丝生长的抑制率达到 77.96%,且以 1,1-CH₃CH(OCH₂CH₃)₂ 的抑菌效果最佳,达到 87.22%,抑菌效果依然随药剂浓度的递增(0.10%—1.00%)而逐渐增强,但与 4d 时的同期抑制率相比有所下降。实验现象表明,3 种药剂对前期气生菌丝的生长起到了显著的抑制作用。

3 结果与讨论

西瓜枯萎病是由尖孢镰刀菌引起的真菌类土传病害,孢子萌发、菌丝生长和产孢情况是病害蔓延的重要阶段,能阻断病菌任何一个生长阶段的药剂都有抑制病害发生的作用。所以,对孢子萌发、菌丝生长和产孢都有明显抑制作用的药剂无疑是最理想的。而 Wu 等人^[6,8-9]在研究几种化学物质对尖孢镰刀菌西瓜专化型的影响中发现使用化学药品防治镰刀菌时需要严格控制药物浓度,而在实际应用中如果直接施用沼液就简单的多^[22]。

从本试验结果看,稻秸与蓝藻混合厌氧发酵沼液对尖孢镰刀菌西瓜专化型(*Fusarium oxysporum* f. sp. *Niveum*)的孢子萌发、孢子数量、菌丝生长 3 个方面均具显著抑制作用;进一步分离、GC-MS 分析测定沼液中的具体成分,发现沼液中存在微量的四氯化碳(CCl₄)、六氯乙烷(C₂Cl₆)、1,1-二乙氧基乙烷(CH₃CH(OCH₂CH₃)₂)3 种化学物质;三者都具有显著的抑菌效果,且随浓度的增加而增大,尤其 CH₃CH(OCH₂CH₃)₂ 的抑菌效果最好;表明沼液中确实存在对病原微生物具有明显抑制作用的多种有效的化学成分,可作为防治病原菌的首选药剂,但具体的田间效果如何,还需进一步大田试验证明。

致谢:胡德琳同学参与部分实验工作,特此致谢。

References:

- [1] Zheng Q, Bi Y, Yun X M, Lü B C, Wu X H. Research progress on watermelon blight and its control. *China Plant Protection*, 2007, 27(2): 11-13.
- [2] Miguel A, Maroto J V, San Bautista A, Baixauli C, Cebolla V, Pascual B, López S, Guardiola J L. The grafting of triploid watermelon is an advantageous alternative to soil fumigation by methyl bromide for control of *Fusarium* wilt. *Scientia Horticulturae*, 2004, 103(1): 9-17.
- [3] Dau V T, Dang N V, Nguyen D H, Pham L T, Le T T M, Phan H T, Burgess L W. A simplified technique for grafting watermelon onto resistant cucurbit rootstocks for control of *Fusarium* wilt of watermelon in Nghe an Province, Vietnam. *Australasian Plant Disease Notes*, 2009, 4(1): 114-116.
- [4] Oumouloud A, Arnedo-Andrés M S, González-Torres R, Álvarez J M. Inheritance of resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* races 0 and 2 in melon accession Tortuga. *Euphytica*, 2010, 176(2): 183-189.
- [5] Álvarez J M, González-Torres R, Mallor C, Gómez-Guillamón M L. Potential sources of resistance to *Fusarium* wilt and powdery mildew in melons. *HortScience*, 2005, 40(6): 1657-1660.
- [6] Wu H S, Raza W, Liu D Y, Wu C L, Mao Z S, Xu Y C, Shen Q R. Allelopathic impact of artificially applied coumarin on *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2008, 24(8): 1297-1304.
- [7] Choudhury S R, Ghosh M, Mandal A, Chakravorty D, Pal M, Pradhan S, Goswami A. Surface-modified sulfur nanoparticles: an effective antifungal agent against *Aspergillus niger* and *Fusarium oxysporum*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2011, 90(2): 733-743.
- [8] Wu H S, Wang Y, Zhang C Y, Gu M, Liu Y X, Chen G, Wang J H, Tang Z, Mao Z S, Shen Q R. Physiological and biochemical responses of in vitro *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* to benzoic acid. *Folia Microbiology*, 2009, 54(2): 115-122.
- [9] Wu H S, Wang Y, Bao W, Liu D Y, Raza W, Huang Q W, Mao Z S, Shen Q R. Responses of *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* to exogenously added sinapic acid in vitro. *Biology and Fertility of Soils*, 2009, 45(4): 443-447.
- [10] Yang X M, Chen L H, Yong X Y, Shen Q R. Formulations can affect rhizosphere colonization and biocontrol efficiency of *Trichoderma harzianum* SQR-T037 against *Fusarium* wilt of cucumbers. *Biology and Fertility of Soils*, 2011, 47(3): 239-248.
- [11] 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. *nevium*. *European Journal of Plant Pathology*, 2009, 125(3): 471-483.
- [12] Ling N, Huang Q W, Guo S W, Shen Q R. *Paenibacillus polymyxa* SQR-21 systemically affects root exudates of watermelon to decrease the

- conidial germination of *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*. *Plant Soil*, 2011, 341(1/2): 485-493.
- [13] Ling N, Xue C, Huang Q W, Yang X M, Xu Y C, Shen Q R. Development of a mode of application of bioorganic fertilizer for improving the biocontrol efficacy to *Fusarium* wilt. *BioControl*, 2010, 55(5): 673-683.
- [14] 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.
- [15] Zhang Z Z, Lü L X, Huang B Q, Lin Y Z. Research progress on the controlling technique of watermelon *Fusarium* wilt. *China Vegetables*, 2005, 198(7): 38-40.
- [16] Garg R N, Pathak H, Das D K, Tomar R K. Use of flyash and biogas slurry for improving wheat yield and physical properties of soil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2005, 107(1/3): 1-9.
- [17] Sanger A, Geisseler D, Ludwig B. Effects of moisture and temperature on greenhouse gas emissions and C and N leaching losses in soil treated with biogas slurry. *Biology and Fertility of Soils*, 2011, 47(3): 249-259.
- [18] Yin F, Zhang W D, Liu S Q, Chen L Q, Guan H L, Xia C F. Study on affecting factors of biogas slurry on bacteriostatic activity of *Fusarium Solani*. *China Biogas*, 2006, 24(2): 51-52, 62-62.
- [19] Zhao Z G, Zhou J R. Experiment of biogas residue on control of watermelon blight. *China Biogas*, 1991, 9(1): 36-38.
- [20] Hao W Y, Ran W, Shen Q R, Ren L Y. Effects of root exudates from watermelon, rice plants and phenolic acids on *Fusarium oxysporum* f. sp. *Niveum*. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(12): 2443-2452.
- [21] Chen L Q, Yin F, Liu S Q, Zhang W D, Guan H L. Application of biogas slurry and different pesticide for the inhibition of tobacco brown spot diseases. *China Biogas*, 2006, 24(3): 16-18, 49-49.
- [22] Li Z B, Wang Z Y, Li Q R, Xu W H, Li C Q, Liu C G, Wu G Q. Effects of combined application of biogas digestate and chemical fertilizer on yield and quality of lettuce. *China Biogas*, 2006, 24(1): 27-30.

参考文献:

- [1] 郑琦, 毕扬, 云晓敏, 律宝春, 吴学宏. 西瓜枯萎病的研究进展及其防治. *中国植保导刊*, 2007, 27(2): 11-13.
- [15] 张志忠, 吕柳新, 黄碧琦, 林义章. 西瓜枯萎病防治技术研究进展. *中国蔬菜*, 2005, 198(7): 38-40.
- [18] 尹芳, 张无敌, 刘士清, 陈丽琼, 官会林, 夏朝凤. 沼液抑制三七镰刀菌的影响因素研究. *中国沼气*, 2006, 24(2): 51-52, 62-62.
- [19] 赵志刚, 周静茹. 沼气发酵残留物防治西瓜“枯萎病”的试验. *中国沼气*, 1991, 9(1): 36-38.
- [20] 郝文雅, 冉炜, 沈其荣, 任丽轩. 西瓜、水稻根分泌物及酚酸类物质对西瓜专化型尖孢镰刀菌的影响. *中国农业科学*, 2010, 43(12): 2443-2452.
- [21] 陈丽琼, 尹芳, 刘士清, 张无敌, 官会林. 沼液与8种农药对烟草赤星病抑制效果的对比研究. *中国沼气*, 2006, 24(3): 16-18, 49-49.
- [22] 李泽碧, 王正银, 李清荣, 徐卫红, 李成琼, 刘朝贵, 吴国强. 沼液、沼渣与化肥配施对莴笋产量和品质的影响. *中国沼气*, 2006, 24(1): 27-30.

CONTENTS

Growth and physiological adaptation of <i>Messerschmidia sibirica</i> to sand burial on coastal sandy	WANG Jin, ZHOU Ruilian, ZHAO Halin, et al (4291)
Alleviation effect and mechanism of exogenous potassium nitrate and salicylic acid on the growth inhibition of <i>Pinus tabulaeformis</i> seedlings induced by deicing salts	ZHANG Ying, LI Fayun, YAN Xia, et al (4300)
Influence of different spatial-scale factors on stream macroinvertebrate assemblages in the middle section of Qiantang River Basin	ZHANG Yong, LIU Shuoru, YU Haiyan, et al (4309)
Species diversity and distribution pattern of non-volant small mammals along the elevational gradient on eastern slope of Gongga Mountain	WU Yongjie, YANG Qisen, XIA Lin, et al (4318)
A patch-based method for mechanism analysis on spatial dynamics of mangrove distribution	LI Chungan, LIU Suqing, FAN Huangqing, et al (4329)
Nutrient heterogeneity in fine roots of six subtropical natural tree species	XIONG Decheng, HUANG Jinxue, YANG Zhijie, et al (4343)
Variation of vegetation NDVI and its response to climate change in Zhejiang Province	HE Yue, FAN Gaofeng, ZHANG Xiaowei, et al (4352)
Heterogeneity in fine root respiration of six subtropical tree species	ZHENG Jinxing, XIONG Decheng, HUANG Jinxue, et al (4363)
Characteristics of ammonia-oxidizing bacteria and ammonia-oxidizing archaea abundance in soil organic layer under the subalpine/alpine forest	WANG Ao, WU Fuzhong, HE Zhenhua, et al (4371)
Effect of tillage systems on light fraction carbon in a purple paddy soil	ZHANG Junke, JIANG Changsheng, HAO Qingju, et al (4379)
Effects of prescribed fire on carbon sequestration of long-term grazing-excluded grasslands in Inner Mongolia	HE Nianpeng, HAN Xingguo, YU Guirui, et al (4388)
Stoichiometry of carbon dioxide and methane emissions in Minjiang River estuarine tidal wetland	WANG Weiqi, ZENG Congsheng, TONG Chuan, et al (4396)
Distribution and sources of particulate organic carbon in the Pearl River Estuary in summer 2010	LIU Qingxia, HUANG Xiaoping, ZHANG Xia, et al (4403)
The glucose-utilizing bacterial diversity in the cold spring sediment of Shawan, Xinjiang, based on stable isotope probing	CHU Min, WANG Yun, ZENG Jun, et al (4413)
Culture-dependent and culture-independent approaches to studying soil microbial diversity	LIU Guohua, YE Zhengfang, WU Weizhong (4421)
The classification of plant functional types based on the dominant herbaceous species in the riparian zone ecosystems in the Yiluo River	GUO Yili, LU Xunling, DING Shengyan (4434)
Genetic diversity of different eco-geographical populations in endangered plant <i>Prunus mongolica</i> by ISSR Markers	ZHANG Jie, WANG Jia, LI Haoyu, ZHANG Huirong, et al (4443)
Ecophysiological characteristics of higher-latitude transplanted mangrove <i>Kandelia candel</i> in strong tidal range area	ZHENG Chunfang, QIU Jianbiao, LIU Weicheng, et al (4453)
The effect of artificial warming during winter on white clover (<i>Trifolium repens</i> Linn): overwintering and adaptation to coldness in late spring	ZHOU Ruilian, ZHAO Mei, WANG Jin, et al (4462)
Estimating fine root production and mortality in subtropical <i>Altingia grilipes</i> and <i>Castanopsis carlesii</i> forests	HUANG Jinxue, LING Hua, YANG Zhijie, et al (4472)
The cloning and expression of WUE-related gene (<i>PdEPF1</i>) in <i>Populus deltoides</i> × <i>Populus nigra</i>	GUO Peng, JIN Hua, YIN Weilun, et al (4481)
The allelopathy of aquatic rhizome and root extract of <i>Thalia dealbata</i> to seedling of several aquatic plants	MIAO Lihua, WANG Yuan, GAO Yan, et al (4488)
Effect of the avirulent strain of <i>Ralstonia solanacearum</i> on the ecological characteristics of microorganism fatty acids in the rhizosphere of tobacco	ZHENG Xuefang, LIU Bo, LAN Jianglin, et al (4496)
Coupling remotely sensed information with a rice growth model by combining updating and assimilation strategies	WANG Hang, ZHU Yan, MA Mengli, et al (4505)
Effects of water temperature and body weight on metabolic rates of Yellowtail clownfish <i>Amphiprion clarkii</i> (Pisces: Perciformes) during larval development	YE Le, YANG Shengyun, LIU Min, et al (4516)
The distribution of chlorophyll a in the Southwestern Indian Ocean in summer	HONG Lisha, WANG Chunsheng, ZHOU Yadong, et al (4525)
Evaluation of the effects of ecological remediation on the water quality and biological toxicity of Dagou Drainage River in Tianjin	WANG Min, TANG Jingchun, ZHU Wenyong, et al (4535)
Quantitative dynamics of adult population and 3-D spatial pattern of <i>Ceoporus variabilis</i> (Baly)	WANG Wenjun, LIN Xuefei, ZOU Yunding, et al (4544)
Review and Monograph	
Studies on urban heat island from a landscape pattern view: a review	CHEN Ailian, SUN Ranhao, CHEN Liding (4553)
Sediment quality triad and its application in coastal ecosystems in recent years	WU Bin, SONG Jinming, LI Xuegang, et al (4566)
Discussion	
Food waste management in China: status, problems and solutions	HU Xinjun, ZHANG Min, YU Junfeng, et al (4575)
Scientific Note	
Effects of microchemical substances in anaerobic fermented liquid from rice straw and cyanobacteria on <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>niveum</i> growth	LIU Aimin, XU Shuangsoo, CAI Xin, et al (4585)
Ecological benefit-loss analysis of agricultural ecosystem in Foshan City, China	YE Yanqiong, ZHANG Jiaen, QIN Zhong, et al (4593)

《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 14 期 (2012 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 14 (July, 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:1000717	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