

网络出版时间:2012-03-21 16:47

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20120321.1647.003.html>

具有生防功效的玉米秸秆降解复合菌系的构建

马志远, 罗 晶, 冯志珍, 林星华, 段军娜, 安德荣

(西北农林科技大学 植物保护学院 旱区作物逆境生物学国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 【目的】构建具有生防功效的玉米秸秆降解复合菌系,以提高玉米秸秆的降解率,并有效防治植物病害。**【方法】**通过对可产芽孢的 11 株纤维素降解菌($X_1 \sim X_{11}$)、17 株半纤维素降解菌($B_1 \sim B_{17}$)、19 株木质素降解菌($M_1 \sim M_{19}$)及 1 株生防菌(L)间亲和性的测定,构建复合菌系。测定复合菌系对玉米秸秆的降解能力,筛选出最优的复合菌系;通过 16S rDNA 序列分析,对组成最优复合菌系的菌株进行鉴定。以小麦种子发芽指数(GI)为指标,利用模拟堆肥试验研究最优复合菌系对玉米秸秆腐熟进程的影响;通过田间试验,研究最优复合菌系对番茄生长、产量的影响,并探讨其对番茄灰霉病的防治效果。**【结果】**通过亲和性试验初步构建了 Z1(LM₅X₄B₂)、Z2(LM₃X₇B₅)、Z3(LM₃X₁₀B₂)和 Z4(LM₅X₁₀B₁₂)4 个复合菌系,其中复合菌系 Z1 综合效果最好,其对玉米秸秆的降解率最高(45.9%)。喷施复合菌系 Z1 的发酵液可加快玉米秸秆腐熟进度,堆肥第 25 天时 GI 值超过 85%,玉米秸秆完全腐熟,腐熟进程较喷施清水的对照提前了 4 d。秸秆还田时喷施 Z1 发酵液,可促进番茄生长,提高番茄产量,并且对番茄灰霉病具有一定的防治效果(防治效果为 27.92%)。经 16S rDNA 测序,鉴定组成复合菌系的 L 为类芽孢杆菌、X₄为枯草芽孢杆菌、M₅和 B₂为解淀粉芽孢杆菌。**【结论】**构建的复合菌系 Z1 具有生防和降解秸秆的双重功效,且使用成本低、操作简单,具有潜在的应用价值。

【关键词】 秸秆降解;生防功效;芽孢杆菌;复合菌系

【中图分类号】 S182

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2012)04-0115-06

Construction of composite microbial system with capacity of straw degradation and biocontrol efficacy

MA Zhi-yuan, LUO Jing, FENG Zhi-zhen, LIN Xing-hua, DUAN Jun-na, AN De-rong

(State Key Laboratory of Crop Stress Biology for Arid Areas, College of Plant Protection,
Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 The system of biocontrol strains of corn straw degradation compound was built to improve the utilization of corn straw degradation and effective control of plant diseases. **【Method】** In order to construct composite microbial asystem with capacity of straw degradation and biocontrol efficacy, we constructed asystem by antagonistic tests among 11 cellulose-degrading strains($X_1 - X_{11}$), 17 hemicellulose-degrading strains($B_1 - B_{17}$), 19 lignin-degrading strains($M_1 - M_{19}$) and an antifungal strain(L), and they are all spore-forming. The use of affinity determination, ability to antagonize the activity and degradation of straw comprehensive determination of the compound selected the best strains for composting, and field trials for strains that make up the optimal composite strains were determined by 16S rDNA sequence analysis. Take wheat germination index (GI) as the index, the simulated test studied the optimal composting

* **【收稿日期】** 2011-09-23

【基金项目】 高等学校学科创新引智计划项目(B07049);国家“863”计划项目“特殊微生物资源的研究和利用项目”(2007AA021503);陕西省农业厅财政专项(k332021006)

【作者简介】 马志远(1985—),女,山西运城人,在读硕士,主要从事微生物资源利用研究。E-mail: sxczmazhiyuan@163.com

【通信作者】 安德荣(1963—),男,陕西大荔人,教授,博士生导师,主要从事微生物资源利用及植物病理研究。

E-mail: anderong323@163.com

compound strains of corn straw rotten process. Through field experiment, the optimal compound strains, influence on tomatoes growth and production was studied to investigate the control effect of tomato grey mould. 【Result】 Through the initial compatibility test four complex strains of Z1 (LM₅X₄B₂), Z2 (LM₃X₇B₅), Z3 (LM₃X₁₀B₂) and Z4 (LM₅X₁₀B₁₂) were built, then the best one with high antifungal activity was chosen and straw degradation was chosen for further research. Results showed that the Z1 had the best comprehensive effect; spraying fermentation of Z1 can speed up the progress of straw decomposition, its GI value was higher than 85% after 25 days, after complete maturity, it was 4 days earlier than CK; spraying fermentation of Z1 in straw returning can promote tomato growth, increase yield, and prevent tomato gray mold to some degrees, the inhibitory rate was 27.92%. Z1 passed the sequencing of 16S rDNA, the strain of L was identified to be *Paenibacillus* sp. The strain of X₄ was identified to be *Bacillus subtilis*. The strain of M₅ was identified to be *Bacillus amyloliquefaciens*. The strain of B₂ was identified to be *Bacillus amyloliquefaciens*. 【Conclusion】 The results showed that the composite microbial system which we constructed has bifunctional of biocontrol and degrading of straw, costs low, and applies easily, which has good potential applications.

Key words: straw degradation; biocontrol efficacy; *Bacillus*; composite microbial system

我国每年产农作物秸秆 7 亿 t 以上,若将其还田则不仅可培肥地力、改良土壤质量、解决秸秆焚烧造成的环境污染和安全隐患等问题,还有利于发展有机农业,满足人们对有机农产品的需求^[1-2]。但秸秆直接还田存在分解慢、效果差、甚至病虫害严重等问题,这限制了其推广应用,而配施适当的秸秆降解菌剂是解决该问题的有效方法。利用复合菌剂加快秸秆降解已成为此方面研究的热点^[3]。目前,在复合菌剂的构建方面,利用限制性继代培养法构建复合菌剂的研究报道较多,如王伟东等^[4]利用该法构建了 WCS-6 复合菌剂。但因限制性继代培养法具有重现性差及作用机理复杂等局限性,用该法构建的生防和降解秸秆效果较好的复合菌系还较少^[5]。本研究通过对不同功效芽孢杆菌间亲和性和协同性的测定,构建出具有生防与降解秸秆双功效的芽孢杆菌复合菌系,并用堆肥试验和田间防效试验对其作用效果进行验证,以期得到对玉米秸秆降解率高且能有效防治植物病害的复合菌系。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试菌株 11 株纤维素降解菌(X₁~X₁₁)、17 株半纤维素降解菌(B₁~B₁₇)、19 株木质素降解菌(M₁~M₁₉)及 1 株生防菌(L),均可产芽孢,由本实验室从腐烂的秸秆及长期堆放秸秆的土壤中分离筛选获得。番茄灰霉病菌(*Botrytis cinerea*),由西北农林科技大学植物保护学院植物病理实验室提供。

1.1.2 培养基 蔗糖豆芽汁培养基:黄豆芽 100 g,蔗糖 20.0 g,蒸馏水 1 000 mL,琼脂 18.0 g, pH 7.2。PDA 培养基:马铃薯 200 g,葡萄糖 20.0 g,蒸馏水 1 000 mL,琼脂 18.0 g,自然 pH。基础培养基^[6]:K₂HPO₃ 3.0 g, KH₂PO₄ 1.0 g, NH₄NO₃ 0.5 g, Na₂SO₄ 0.1 g, MgSO₄ · 7H₂O 0.01 g, MnSO₄ · 4H₂O 0.01 g, FeSO₄ · 7H₂O 0.01 g, CaCl₂ 0.005 g, 蒸馏水 1 000 mL, 自然 pH。

1.2 方法

1.2.1 复合菌系的构建 (1) 亲和性测定。在蔗糖豆芽汁培养基平板上,利用平板对峙法^[7]测定不同功能菌株间的亲和性。将相互间不具拮抗性的不同功能的菌株用无菌水制成 10⁶ cfu/mL 的孢子悬液或菌悬液后,等体积混合,初步构建成复合菌系。

(2) 发酵液活性测定。将初步构建的复合菌系按 40 mL/L 接种量接种于蔗糖豆芽汁液体培养基中,37 °C、180 r/min 培养 2 d 后,于 10 000 r/min 离心 15 min,取上清液用孔径 0.22 μm 微孔滤膜过滤,得培养滤液。吸取 150 μL 培养滤液,采用牛津杯法测定其对番茄灰霉病菌的抑菌活性,测量抑菌圈直径并记录试验结果。试验重复 3 次,以接种 10 mL/L 生防菌 L 的发酵液为对照。

(3) 秸秆降解力测定。将玉米秸秆剪成大小约为 1 cm³ 的小块,105 °C 烘至质量恒定,混合均匀,称取 10 g 左右加入含 100 mL 灭菌基础培养基的 500 mL 三角瓶中,再将初步构建的复合菌系按 40 mL/L 的量接入,37 °C、200 r/min 培养 14 d 后过滤,将秸秆块用蒸馏水冲洗干净,再于 105 °C 烘至质

量恒定,计算秸秆降解率^[8]。试验重复3次,以接种40 mL/L 无菌水为对照。秸秆降解率的计算公式如下:

秸秆降解率=(玉米秸秆降解前质量-培养后玉米秸秆质量)/玉米秸秆降解前质量 $\times 100\%$ 。

(4) 复合菌系中各菌株的鉴定。参考文献[9-11],通过测定复合菌系中各菌株的16S rDNA 基因序列对其进行鉴定。使用 Axygen 细菌基因组抽提试剂盒提取复合菌系中各菌株的总DNA,以其为模板,采用细菌16S rDNA 的通用扩增引物(上游引物 F27: 5'-TACGGTACCTTGTTACGACT-3'; 下游引物 R1492: 5'-CTGAGCCAGGATCAAACT-3')进行PCR扩增。PCR反应体系为25 μL : DNA模板1.0 μL , F27 0.5 μL , R1492 0.5 μL , 10 $\times$ Buffer 2.5 μL , MgCl_2 (25 mmol/L) 1.5 μL , dNTP (10 mmol/L) 0.5 μL , Taq 酶(2.5 U/ μL) 0.5 μL , ddH₂O 18 μL 。PCR反应程序:95 $^{\circ}\text{C}$ 预变性5 min; 95 $^{\circ}\text{C}$ 30 s, 55 $^{\circ}\text{C}$ 30 s, 72 $^{\circ}\text{C}$ 90 s, 共35个循环;最后10 $^{\circ}\text{C}$ 放置。取PCR产物,经10 g/L 琼脂糖凝胶电泳检测后送往生工生物工程(上海)有限公司进行序列测定,将测序结果用BLAST 软件在 GenBank 中进行同源性比较,并获取注册登录号。

1.2.2 复合菌系模拟堆肥试验 试验在西北农林科技大学植物保护学院植物病理实验站进行。以种子发芽指数(GI)作为秸秆腐熟度的判定指标,用1.2.1节构建的最优复合菌系进行模拟堆肥试验。试验设计参照文献[12],在地面挖长1 m,宽0.6 m,深0.25 m 的沟,填埋玉米秸秆后,喷施稀释200 倍的最优复合菌系发酵液,直至湿润,覆25 cm 厚的土,以喷施清水为对照(CK)。分别于试验的10, 15, 20, 25, 27, 29, 31 和 33 d,用土壤取样器在堆肥中进行5点取样,混合均匀备用。参考文献[13],称取10 g 发酵料新鲜样品,加入100 mL 蒸馏水充分振荡,室温下浸提12 h,吸取5 mL 浸提液置于垫有滤纸的9 cm 培养皿中,每个培养皿均匀放入10粒饱满的小麦种子,于20 $^{\circ}\text{C}$ 培养箱中培养,试验重复3次,48 h后测定发芽率和根长,计算GI:

$$GI = \frac{\text{处理平均发芽率} \times \text{处理平均根长}}{\text{对照平均发芽率} \times \text{对照平均根长}} \times 100\%。$$

1.2.3 复合菌系对番茄灰霉病菌的田间防效试验 田间防效试验在陕西杨凌现代农业示范园区日光温室大棚内进行,大棚为半拱形,东西走向,长80 m,宽7.5 m。试验田地为6年番茄连作地,番茄灰霉病连续4年发生严重。

(1) 试验设计。试验设 T1、T2 和对照(CK)3个处理,T1 填埋玉米秸秆喷施最优复合菌系的发酵液,T2 填埋玉米秸秆喷施清水,CK 不填埋秸秆,T1、T2 处理堆肥方法同上。堆肥后种植冬春茬番茄,品种为“金棚一号”,9月下旬育苗,11月中旬定植,采用宽窄行小高垄种植,宽行0.7 m,窄行0.5 m,株距0.3 m,垄上覆膜。试验采用随机区组设计,每处理3行,重复3次。在病害调查前不进行灰霉病的药物防治。其他管理措施按当地生产习惯统一操作。

(2) 测定项目及方法。生长情况调查:在第1穗果结果期及第3穗果开始开花时(此时距定植的时间为3个月左右),在每小区对角线上5点取样,每点选5株番茄,做好标记,测量株高(茎基部到生长点的长度,用卷尺测量)、茎粗(茎基部直径,用游标卡尺测量)。对标记的植株分区分次采收果实,统计累积产量。

病情调查:在盛果期,调查所有植株果实的发病情况,统计病情指数。根据同一植株病果数P,参考孙军德等^[14]的标准对番茄灰霉病果实病情进行分级:0级 $P=0$;1级 $P \leq 2$;2级 $2 < P \leq 4$;3级 $4 < P \leq 6$ 个;4级 $P > 6$ 。计算病情指数和防治效果:

$$\text{病情指数} = \frac{\sum(\text{各级病株数} \times \text{相应病情级数})}{\text{调查总株数} \times \text{最高病情级数}} \times 100\%;$$

$$\text{防治效果} = \frac{\text{对照病情指数} - \text{处理病情指数}}{\text{对照病情指数}} \times 100\%。$$

1.3 数据处理

数据均为3次重复的平均值,应用DPS 软件对数据进行统计分析,采用Duncan 新复极差法进行差异性检验。

2 结果与分析

2.1 玉米秸秆降解复合菌系的构建

2.1.1 亲和性测定 通过对11株纤维素降解菌、17株半纤维素降解菌、9株木质素降解菌及1株生防菌相互间亲和性的测定,初步构建了4个复合菌系,分别为Z1(LM₅X₄B₂)、Z2(LM₃X₇B₅)、Z3(LM₃X₁₀B₂)、Z4(LM₅X₁₀B₁₂)。

2.1.2 发酵液活性测定 由表1可知,通过亲和性测定构建的4个复合菌系的无菌发酵液,对番茄灰霉病菌均有不同程度的拮抗活性,其中Z4、Z1的抑菌圈直径均较大,接近21 mm,且二者间无显著差

异,但 Z4、Z1 与 Z2、Z3 间存在极显著差异($P<0.01$);4 个复合菌系的抑菌圈直径均极显著小于生

防菌 L($P<0.01$)。

表 1 玉米秸秆降解复合菌系发酵液对番茄灰霉病菌的抑菌活性

Table 1 Antimicrobial activity of different composite microbial systems fermentation filtrate to *Botrytis cinerea*

复合菌系 Composite strains	Z1	Z2	Z3	Z4	L
抑菌圈直径/mm Inhibition zone width	20.6±0.1 bB	19.9±0.3 cC	19.7±0.3 cC	20.9±0.2 bB	23.9±0.2 aA

注:同行数据后标不同小写字母者表示差异显著($P<0.05$),标不同大写字母者表示差异极显著($P<0.01$)。表 2 同。

Note:The different small letters indicated the significant difference($P<0.05$). The different capital letters indicated the very significant difference ($P<0.01$). Table 2 as the same.

2.1.3 秸秆降解能力测定 由表 2 可知,4 个复合菌系对玉米秸秆均有一定的降解能力,其中 Z1 的降解能力最强,其对玉米秸秆的降解率为 45.90%,极显著高于其他 3 个复合菌系及对照($P<0.01$)。

表 2 复合菌系对玉米秸秆的降解能力

Table 2 Capacity of straw degradation of composite microbial system

复合菌系 Composite strains	Z1	Z2	Z3	Z4	CK
秸秆降解率/% Straw decomposition rate	45.90±0.41 aA	40.05±0.79 cC	42.91±0.66 bB	36.02±1.67 dD	1.93 ±0.19 eE

从以上试验结果可知,4 个复合菌系中,Z1 对玉米秸秆的降解能力最强,并且其发酵液对番茄灰霉病菌的抑菌活性也较高,是综合效果最好的一个复合菌系,因此选择 Z1 进行下一步研究。

2.1.4 Z1(LM₅X₄B₂)复合菌系中各菌株的鉴定 通过 16S rDNA 序列分析对 Z1(LM₅X₄B₂)复合菌系中的各个菌株进行鉴定,结果显示,L 为类芽孢杆菌(*Paenibacillus* sp., 16S rDNA 序列 GenBank 登录号为:JN639003),X₄ 为枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*, 16S rDNA 序列 GenBank 登录号为:JN851149),M₅ 为解淀粉芽孢杆菌(*B. amyloli-*

auelifaciens, 16S rDNA 序列 GenBank 登录号为:JN387092),B₂ 为解淀粉芽孢杆菌(16S rDNA 序列 GenBank 登录号为:JN245982)。

2.2 最优玉米秸秆降解复合菌系 Z1 对堆肥腐熟进程的影响

从理论上讲, $GI<100\%$,即判定堆肥有植物毒性。但 Zucconit 等^[15]认为, $GI>50\%$ 时,堆肥已基本腐熟,基本没有植物毒性,而当 $GI>80\%$ 时,堆肥腐熟完全。本试验 Z1 复合菌系发酵液对小麦种子 GI 的影响结果如表 3 所示。

表 3 最优玉米秸秆降解复合菌系 Z1 发酵液对小麦种子发芽指数的影响

Table 3 Optimal degradation of composite strains of corn stover fermentation broth of change of GI during composting

处理 Treatment	发芽指数 GI								/%
	10 d	15 d	20 d	25 d	27 d	29 d	31d	33 d	
CK	21.64	38.91	59.89	73.78	78.71	82.64	85.47	90.26	
Z1	25.14	47.50	79.93	85.90	90.59	93.58	95.84	97.53	

由表 3 可知,Z1 和 CK 2 个处理在堆肥过程中小麦 GI 值均呈逐渐增大趋势,表明随着堆肥时间的延长,肥料中对植物有毒害作用的物质被逐渐降解;在测试期间,Z1 处理的 GI 一直大于 CK,第 25 天时,其 GI 为 85.90%,堆肥达到完全腐熟,而 CK 在第 29 天时堆肥才完全腐熟(GI 为 82.4%)。可知 Z1 处理的玉米秸秆较 CK 提前 4 天完全腐熟,说明喷洒复合菌系 Z1 可加快玉米秸秆的腐熟进程。

2.3 最优玉米秸秆降解复合菌系 Z1 对大棚番茄生长及灰霉病的影响

2.3.1 对番茄生长的影响 由表 4 可知,T2 处理

的株高、茎粗、产量与 CK 相比均无显著性差异,其茎粗略小于 CK,说明将秸秆简单地直接还田对植株生长并没表现出促进作用;T1 处理的株高、茎粗及产量分别为 138.0 cm、10.4 mm 和 196.9 kg,均极显著高于其他 2 个处理,说明秸秆还田时添加 Z1 能促进番茄生长,提高其产量。

2.3.2 对番茄灰霉病的防治效果 由表 5 可知,T1 和 T2 处理的病情指数均极显著低于 CK($P<0.01$),表明其对番茄灰霉病均有一定的防治效果;T1 处理对番茄灰霉病的防治效果最高,为 27.92%,说明秸秆还田时喷施复合菌系 Z1 发酵液对番茄灰

霉病有较好的防治效果。

表 4 最优玉米秸秆降解复合菌系 Z1 发酵液对番茄生长及产量的影响

Table 4 Optimal corn straw degradation composite strains of tomato growth and yield culture influence

处理 Treatment	株高/cm Plant height	茎粗/mm Stem diameter	产量/kg Output
T1	138.0±1.2 aA	10.4±0.2 aA	196.9±5.1 aA
T2	126.3±3.3 bB	9.5±0.1 bB	177.4±7.0 bB
CK	125.7±1.8 bB	9.6±0.2 bB	167.3±9.9 bB

注:同列数据后标不同小写字母者表示差异显著($P<0.05$),标不同大写字母者表示差异极显著($P<0.01$)。表 5 同。
Note:The different small letters indicated the significant difference($P<0.05$),the different capital letters indicated the very significant difference ($P<0.01$). Table 5 as the same.

表 5 最优玉米秸秆降解复合菌系 Z1 发酵液
对番茄灰霉病的防治效果

Table 5 Optimal degradation of composite strains of corn
stover fermentation broth of the control effect
of tomato gray mold

处理 Treatment	病情指数/% Disease index	防治效果/% Control effect
T1	40.14±1.3 cC	27.92
T2	46.11±1.0 bB	17.20
CK	55.69±1.1 aA	—

3 讨 论

前人对秸秆发酵复合菌剂的研究较多,但大都只关注其对秸秆的腐解能力,如刘长莉等^[16]筛选获得的木质纤维素腐解细菌菌群,Singh 等^[17]构建的可加快园林固体废弃物腐解的复合菌系。随着生物技术的发展,一些学者开始对秸秆降解复合菌系的多功能性进行探索,如牛俊玲等^[18]构建了可降解纤维素和林丹的复合菌系。本研究采用亲和性测定试验构建了 4 个复合菌系,其中 Z1 的拮抗活性及对玉米秸秆的降解能力均较高,其对玉米秸秆的降解率为 45.90%,比郭夏丽等^[19]报道的降解效果较好的复合菌系对秸秆的降解率(45.5%)略高;模拟堆肥试验结果表明,施用复合菌系 Z1 可加快玉米秸秆腐熟进度;田间堆肥试验结果表明,秸秆还田时施用复合菌系 Z1 可促进番茄生长,提高其产量,并且对番茄灰霉病具有一定的防治效果。Z1 复合菌系对其他种类秸秆的腐熟效果仍需进一步研究。

本研究构建的 Z1 复合菌系均由芽孢杆菌组成,其所需的生长条件较为一致,且在田间使用时将其发酵液直接稀释后喷施即可,与其他一些秸秆腐熟菌剂^[20]在使用前须进行菌种活化相比,具有成本低、操作相对简单等优点。下一步研究还需对 Z1 复合菌系各功能菌株的发酵条件进行优化,以便发挥其最大功效。

[参考文献]

[1] 孙永明,李国学,张夫道,等. 中国农业废弃物资源化现状与发展战略 [J]. 农业工程学报,2005,21(8):169-174.
Sun Y M,Li G X,Zhang F D,et al. Status quo and developmental strategy of agricultural residues resources in China [J]. Transactions of the CSAE,2005,21(8):169-174. (in Chinese)

[2] 姜 洁,陈 宏,赵秀兰. 农作物秸秆改良土壤的方式与应用现状 [J]. 中国农学通报,2008,24(8):420-423.
Jiang J,Chen H,Zhao X L. The application actuality and methods of meliorated soil with crop stalks [J]. Chinese Agricultural SciencBulletin,2008,24(8):420-423. (in Chinese)

[3] 刘长莉,王小芬,郭 鹏,等. 常温秸秆还田菌群的筛选及分解稻秆特性研究 [J]. 中国农业科学,2010,43(1):105-111.
Liu C L,Wang X F,Guo P,et al. Construction of a normal temperature straw rotting microbial community and its character in degradation of rice straw [J]. Scientia Agricultura Sinica,2010,43(1):105-111. (in Chinese)

[4] 王伟东,王小芬,高丽娟,等. 高效稳定纤维素分解菌复合系 WSC-6 的筛选及其功能 [J]. 黑龙江八一农垦大学学报,2005,17(3):14-17.
Wang W D,Wang X F,Gao L J,et al. Construction of composite microbial system Wsc-6 with capacity of degrading cellulose effectively and its function [J]. Journal of Heilongjiang August First Land Reclamation University, 2005, 17 (3): 14-17. (in Chinese)

[5] 黄红丽. 木质素降解微生物特性及其对农业废物堆肥腐殖化的影响研究 [D]. 长沙:湖南大学,2009.
Huang H L. Research on characteristics of ligninolytic microorganisms and their effect on the humification of the agricultural wastes composting [D]. Changsha: Hu’nan University, 2009. (in Chinese)

[6] 程丽娟,薛泉宏. 微生物学实验技术 [M]. 西安:世界图书出版公司,2000:252-253.
Cheng L J,Xue Q H. Microbiology laboratory technology [M]. Xi’an: World Publishing Corporation, 2000: 252-253. (in Chinese)

[7] 何建清,张格杰,岳海梅,等. 番茄早疫病菌拮抗放线菌 10-4 的鉴定 [J]. 植物保护学报,2010,37(4):307-312.
He J Q,Zhang G J,Yue H M,et al. Identification of the antagonistic actinomycetes strain 10-4 against tomato early blight [J]. Journal of Plant Protection,2010,37(4):307-312. (in Chi-

nese)

[8] 郭夏丽,程小平,杨小丽,等. 高效玉米秸秆降解菌复合系的构建 [J]. 中国农学通报,2010,26(7):261-266.
Guo X L,Cheng X P,Yang X L,et al. Construction of composite consortia with high capacity of lignocellulose degradation [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26 (7): 261-266. (in Chinese)

[9] Baker K F. Evolving concepts of biological control of plant pathogens [J]. Ann Rev Phytopathol,1987,25:67-85.

[10] Kloepper J W,Rodriguez-Kabana R,Zehnder G W. Plant root-bacterial interactions in biological control of soilborne diseases and potential extension to systemic and foliar diseases [J]. Australasian Plant Pathology,1999,28(1):21-26.

[11] Timothy C,Robert Van S. A critical evaluation of augmentative biological control [J]. Biological Control,2004,31:245-256.

[12] 杨玉田,王跃跚,刘西允. 根际秸秆生物反应堆技术在马铃薯上的应用 [J]. 安徽农业科学,2009,37(13):5919-5922.
Yang Y T,Wang Y J,Liu X Y. Application effect of rhizosphere straw bioreactor landfill technology on potato [J]. Journal of Anhui Agri Sci,2009,37(13):5919-5922. (in Chinese)

[13] 沈根祥,尉 良,钱晓雍,等. 微生物菌剂对农牧业废弃物堆肥快速腐熟的效果及其经济性评价 [J]. 农业环境科学学报,2009,28(5):104-105.
Shen G X,Wei L,Qian X Y,et al. Effect of microbial inoculation on qllick composting of animal manure with crop straws and economic analysis [J]. Journal of Agro-Environment Science,2009,28(5):104-105. (in Chinese)

[14] 孙军德,赵春燕,王 辉,等. 不同生物防治菌株对番茄灰霉病防治效果的影响 [J]. 沈阳农业大学学报,2005,36(4):445-447.
Sun J D,Zhao C Y,Wang H,et al. Efect of prevention and control of botrytis cinerea with antagonistic strains [J]. Journal of Shenyang Agr-icultural University,2005,36(4):445-447. (in Chinese)

[15] Zucconit F,Pera A,Forte M,et al. Evaluating toxicity of immature compost [J]. B iocycle,1981,22:54-57.

[16] 刘长莉,朱万斌,郭 鹏,等. 常温木质纤维素分解菌群的筛选与特性研究 [J]. 环境科学,2009,30(8):2458-2463.
Liu C L,Zhu W B,Guo P,et al. Screening and characteristics of normal temperature lignocellulose and degradation microbial community [J]. Environmental Science,2009,30(8):2458-2463. (in Chinese)

[17] Singh A,Sharma S. Effect of microbial inocula on solid waste composting,vermicomposting and plant response [J]. Compost Science and Utilization,2003,11(3):190-199.

[18] 牛俊玲,李国学,崔宗均,等. 堆肥中高效降解纤维素林丹复合菌系的构建及功能 [J]. 环境科学,2005,26(4):186-190.
Niu J L,Li G X,Cui Z J,et al. Construction and function of a high efficient complex microbial system to degrade cellulose and lindane in compost [J]. Environmental Science,2005,26(4):186-190. (in Chinese)

[19] 郭夏丽,杨小丽,李顺义,等. 秸秆降解菌的筛选及菌种组合 [J]. 郑州大学学报:工学版,2010,31(1):74-77.
Guo X L,Yang X L,Li S Y,et al. The screening of straw-decomposing microorganism and stra in combination [J]. Journal of Zhengzhou University: Engineering Science,2010,31(1):74-77. (in Chinese)

[20] 何永梅. 介绍几种秸秆腐熟菌剂 [J]. 农家顾问,2007(9):34-35.
He Y M. Introduce several kinds of rotting straw-rotting microbial community [J]. Farmhouse Counselor,2007(9):34-35. (in Chinese)