

桉树皮木质素降解复合功能菌的构建及效果研究

何慧中¹, 孙映波², 刘可星^{1*}, 郭小雪¹, 黄丽丽²

(1.华南农业大学资源环境学院环境科学与工程系, 广州 510642; 2.广东省农业科学院环境园艺研究所, 广州 510640)

摘要:开发复合功能菌剂,在自然堆沤环境下对桉树皮的木质素等发挥降解作用,是达到桉树皮快速腐熟,实现桉树皮资源化利用的关键技术。通过降解培养试验,筛选出对桉树皮具有降解木质素的功能菌;通过拮抗试验,筛选出与降解菌系无明显拮抗作用并为之协同生长的微生物作为营养菌系,用于构建复合菌剂;开展桉树皮堆肥试验,研究复合菌剂对桉树皮木质素的降解效果。结果表明:绿色木霉菌、黄孢原毛平革菌、平菇菌3种微生物对桉树皮木质素具有降解作用;构建了由3种降解功能菌和7种营养菌组成的复合菌剂;在桉树皮堆肥中,添加复合菌剂对桉树皮的纤维素、木质素降解效果明显,与对照相比,纤维素含量下降了77.67%,木质素含量下降了78.78%。

关键词:桉树皮;复合菌剂;木质素;降解

中图分类号:X72 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2014)03-0484-06 **doi:**10.11654/jaes.2014.03.012

Construction of a Microbial Consortium for Lignin Degradation and Its Effect on Composting of Eucalyptus-bark

HE Hui-zhong¹, SUN Ying-bo², LIU Ke-xing^{1*}, GUO Xiao-xue¹, HUANG Li-li²

(1.College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2.Environmental Horticulture Research Institute of Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Eucalyptus is one of the world's three fast-growing tree species, producing a great deal of bark waste after timber is used. Therefore, developing a microbial consortium degrading lignin in eucalyptus-bark under natural environmental conditions is a key to the utilization of eucalyptus-bark. In this study, microorganisms capable of degrading lignin were selected by plate culture experiments. Antagonistic experiments were employed to select nutritional strains that had little antagonistic effects on the lignin-degrading microorganisms. A microbial consortium containing three species (*Trichoderma viride*, *Phanerochaete chrysosporium*, and *Pleurotus ostreatus*) able to degrade eucalyptus-bark lignin and seven nutritional strains was thus constructed. During composting of eucalyptus-bark, the microbial consortium significantly decreased cellulose content by 77.67% and lignin by 78.78% as compared to the control. This result would shed light on application of eucalyptus bark in agricultural and forestry cultivation.

Keywords: eucalyptus-bark; microbial consortium; lignin; degradation

近些年来,随着我国经济及科技的发展,对农业生产中所产生的农林废弃物进行合理循环利用成为研究的热点之一,这对于发展循环经济、建设节约型社会具有重要意义。农林废弃物是农业和林业生产与加工过程中产生的副产品,具有种类繁多、数量巨大、可再生、可生物降解等特点,种类包括有树皮、果壳、

锯末、秸秆、蔗渣等^[1]。而桉树作为我国最主要的经济林木,据不完全统计,我国桉树人工林占人工林面积5%,占现有森林面积1.27%,年提供超过2000万m³木材^[2]。桉树在加工过程中会产生大量的树皮,如果处理不当,会形成大量的农林废弃物,对环境造成巨大的压力。对桉树皮降解进行研究,一方面可以提高桉树种植的附加产值,对桉树资源进行充分利用^[3];另一方面,利用堆肥的方法,桉树皮降解产物作为有机基质,应用于植物栽培,可以减少对不可再生资源泥炭的用量,从而实现资源循环利用。

目前,我国对桉树皮的研究主要还是将桉树皮作

收稿日期:2013-12-01

基金项目:广东省科技计划项目(2011A030600002,2011B030500005);
广东省现代农业产业技术体系建设专项(粤财教[2009]356)

作者简介:何慧中(1988—),男,硕士研究生,主要研究方向为固体废物资源化利用。E-mail:445396082@qq.com

*通信作者:刘可星 E-mail:kxliu@scau.edu.cn

为一般的农林废弃物,参照秸秆和其他树皮的性质,按照常规的处理农林废弃物方法进行处理,侧重于桉树皮作为基质对植物生长的影响状况^[4-5],一般采用常规的菌剂配方或土著微生物^[6],而较少考虑根据桉树皮特性,选择对桉树皮木质素具有降解作用的特定微生物。桉树皮的主要成分为纤维素、木质素。在桉树体内,木质素常与纤维素结合形成木质纤维素,造成纤维素同样难以降解,从而限制了桉树皮在自然条件下的腐熟效果。并且由于桉树皮在生长过程中会自身分泌多种挥发性物质,对多种微生物具有抑制作用^[7],会影响微生物菌群在其表面的生长,从而有可能阻碍了降解微生物对其降解作用,导致在自然环境下桉树皮降解效果差,降解时间较长。因此,筛选出在自然条件下,适宜在桉树皮上生长且易破坏木质素结构的微生物,对促进桉树皮快速腐熟具有重要意义。本实验以桉树皮为原料,通过桉树皮木质素降解培养试验及堆肥试验,构建具有降解功能菌系和营养菌系的复合功能菌剂,研究其在实际环境中对桉树皮的降解作用,促进桉树皮的快速腐熟,为资源化利用桉树皮提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 原料

桉树皮,取自广东惠州横沥镇树皮加工厂,其全氮含量为 0.43%,全碳含量为 44.84%,pH 值为 6.38。

1.1.2 供试菌剂

细菌:枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*),巨大芽孢杆菌(*Bacillus magaterium*)。

真菌:绿色木霉菌(*Trichoderma viride*),黄孢原毛平革菌(*Phanerochaete chrysosporium*),平菇菌(*Pleurotus ostreatus*),酿酒酵母菌(*Saccharomyces revisiae*),假丝酵母菌(*Candida tropicalis*),解脲假丝酵母菌(*Candida famata*)。

放线菌:白色链霉菌(*Streptomyces albus*),5406 菌(*streptomyces microflavous*)。

以上菌种由华南农业大学新肥料资源研究中心保藏提供。

1.2 试验设计及方法

1.2.1 桉树皮木质素降解培养试验

根据文献资料^[8-12],绿色木霉菌、黄孢原毛平革菌、平菇菌、白色链霉菌对木质素有一定的降解作用,取绿色木霉菌、黄孢原毛平革菌、平菇菌,分别加入

PDA 液体培养基,白色链霉菌加入高氏 1 号液体培养基(表 1)。将所用菌种在 $150\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 、 $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下发酵培养 72 h,发酵完成时各菌体含量高于 $10^8\text{ cfu}\cdot\text{mL}^{-1}$ 。称取 2.5 g 桉树皮放入已灭菌的培养皿中,在紫外灯下进行照射 2 h,依次加入 10 mL 液体培养基,1 mL 菌剂,轻微摇动后,放置于培养箱中 $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 培养,CK0、CK1、CK2 除不加菌剂外,其余操作均与各处理相同,每个处理 3 次重复。144 h 后取出样品进行风干,粉碎过 100 目筛,测定其纤维素与木质素含量^[13]。

表 1 桉树皮木质素降解培养试验方案

Table 1 Design of culture experiment

处理 Treatment	菌剂类型 Types of microbe	培养基种类 Culture medium
CK0	无	无
CK1	无	PDA
CK2	无	高氏 1 号
t1	绿色木霉菌	PDA
t2	黄孢原毛平革菌	PDA
t3	平菇菌	PDA
t4	白色链霉菌	高氏 1 号

1.2.2 复合菌剂的构建

复合菌剂由木质素降解菌系及营养菌系构成,木质素降解菌系选择 1.2.1 中具有降解效果的菌种,营养菌系备选菌种及主要功能为:枯草芽孢杆菌的主要作用是分解多糖物质^[14];巨大芽孢杆菌的主要作用是分解有机磷物质^[15];啤酒酵母菌的主要作用是同化氨,利用多糖产生出多种次级代谢产物,刺激细菌的生长;假丝酵母菌、解脲假丝酵母菌的主要作用是分解脂类及蛋白质类物质;5406 菌的主要作用是解磷、解钾^[16];白色链霉菌具有分解有机质的作用^[11]。用平板测定法^[17]测定复选的营养菌系和降解菌系各菌种间两两拮抗作用,选出相互间无拮抗或拮抗作用较小的营养菌系和降解菌系。将所用菌种在 $150\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 、 $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下发酵 72 h,发酵完成时各菌体含量高于 $10^8\text{ cfu}\cdot\text{mL}^{-1}$,将各菌体等体积混合,制成复合菌剂。

1.2.3 桉树皮堆肥试验

堆肥试验共设置 3 个处理,具体的处理内容为:CK—不接菌剂;T1—调节 C/N,不接菌剂;T2—调节 C/N,接入 1%(质量比)复合菌剂。各堆肥处理质量约为 13.5 kg,体积约为 56 L,于试验第 1 d 将树皮初步粉碎后添加部分水分,加入碳酸氢铵调节其 C/N 为 30:1 左右,堆肥初期含水量调节至 60%左右,添加复合菌剂。

本实验于 2013 年 5 月 16 日于华南农业大学固体废物处理实验室内自制堆肥反应器中进行,按上述方案将桉树皮搅拌均匀后,倒入自制堆肥反应器中进行反应,堆肥过程中采用 380 W 的鼓风机强制通风,通风量为 $0.8\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$,通风时间为 $20\text{ min}\cdot\text{h}^{-1}$ 。每天上午 9:00 及下午 4:00 测定温度,堆肥共进行 30 d。堆肥结束时进行取样分析。将样品进行风干,研磨,过 100 目筛,用于测定纤维素、木质素含量,其测定方法与 2.1.2 相同^[8]。

1.2.4 数据处理

试验数据统计采用 Excel 2007 处理,多重比较分析采用 SAS 9.0 Duncan's 新复极差法。

2 结果与分析

2.1 桉树皮木质素降解培养试验结果

降解培养试验结果表明(表 2),与相应的培养基对照 CK1 相比,3 种真菌处理的纤维素含量下降均达到了显著性差异,分别下降了 8.47%、13.06%、12.11%,而白色链霉菌处理的纤维素含量则与相应的对照 CK2 无显著差异;在木质素含量方面,绿色木霉菌、黄孢原毛平革菌与对应的 CK1 相比,具有显著性差异,分别下降 8.41%、9.14%、4.35%,而平菇菌及白色链霉菌与相应的对照处理相比则差异不显著。综合而言,绿色木霉菌、黄孢原毛平革菌、平菇菌对桉树皮的纤维素具有降解作用,而绿色木霉菌、黄孢原毛平革菌对桉树皮的木质素具有降解作用,且由于在树皮内部,纤维素常与木质素结合,微生物在降解纤维素的同时也会破坏木质素的结构。因此,绿色木霉菌、黄孢

表 2 不同菌处理的桉树皮纤维素、木质素含量

Table 2 Contents of lignin and cellulose in eucalyptus-bark after different microbial treatments

处理 Treatment	菌剂类型 Kinds of microbe	纤维素含量 Cellulose content/%	木质素含量 Lignin content/%
CK0	无	18.45±0.02a	28.01±0.49a
CK1	PDA	17.98±0.12ab	27.44±0.25a
CK2	高氏 1 号	17.58±0.16bc	27.82±0.12a
t1	绿色木霉菌	17.24±0.13cde	25.44±1.11b
t2	黄孢原毛平革菌	16.54±0.40e	25.27±0.32b
t3	平菇菌	16.68±0.13de	26.43±0.32ab
t4	白色链霉菌	17.33±0.22bcd	26.08±0.22ab

注:表中具有相同字母代表 Duncan's 多重比较差异不显著($P>0.05$)。

Note: Data with different letter show Duncan's significant differences at $P>0.05$.

原毛平革菌、平菇菌 3 种微生物组成本试验中的桉树皮木质素降解功能菌系。

2.2 复合菌剂的构建

拮抗试验的结果表明(表 3),各降解菌之间及降解菌与营养菌之间均无明显拮抗作用。在实际应用中,将不同功能微生物进行复合接入,可以明显在环境中形成优势菌群,使堆肥中各种物质降解效果优于单一菌种接入,从而加快堆肥的腐熟速度^[18]。因此,本研究选择 2.1 中已筛选的对桉树皮有降解效果的 3 种微生物,以及与之无明显拮抗的 7 种营养菌系,构建出由具有降解桉树皮木质素的功能菌和与之协同生长的营养菌系组成的复合菌剂,从而在环境中可以快速繁殖,形成优势菌系,以充分发挥降解作用。

表 3 功能菌与营养菌之间拮抗情况

Table 3 Antagonistisms between microbes

拮抗圈直径 Diameter of antagonistic ring/mm	F1	F2	F3	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7
F1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
F2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
F3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Y1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Y2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Y3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Y4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Y5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Y6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Y7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注:(1)F1 为绿色木霉菌 *Trichoderma viride*,F2 为黄孢原毛平革菌 *Phanerochaete chrysosporium*,F3 为平菇菌 *Pleurotus ostreatus*,Y1 为白色链霉菌 *Streptomyces albus*,Y2 为枯草芽孢杆菌 *Bacillus subtilis*,Y3 为巨大芽孢杆菌 *Bacillus magaterium*,Y4 为酿酒酵母 *Saccharomyces revisiae*,Y5 为假丝酵母 *Candida tropicalis*,Y6 为解脲假丝酵母 *Candida famata*,Y7 为 5406 菌 *streptomyces microflavous*。(2)“—”表示无明显的拮抗圈,“—”means no significant antagonistic ring。

2.3 堆肥过程中温度变化分析

桉树皮作为速生林,受其自身的养分所限,桉树皮堆肥难以达到常规的高温,木质素降解的温度仅能使其保持在 40℃左右^[19-20]。本试验的结果与此类似,堆体的最高温仅为 47℃(图 1)。CK 在堆肥过程中未出现明显的温度变化,T1 在达到最高温度后,温度持续下降,在堆肥中期无明显的升温,仅在末期有一个升温阶段,这可能与 T1 堆体内的土著微生物在后期得到一定的繁殖,进而降解桉树皮有关。T2 在堆肥中

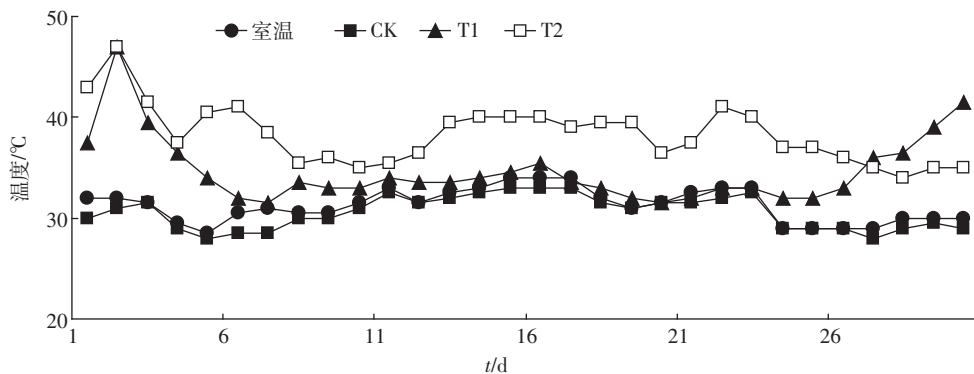


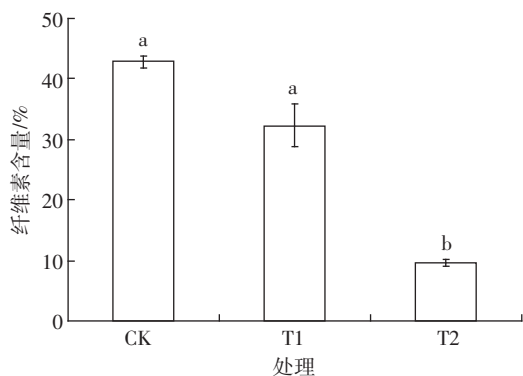
图 1 堆肥温度变化示意图

Figure 1 Temperature variation during composting of eucalyptus-bark

期有一个明显的持续高温阶段,这是由于 T2 添加了复合菌剂,其中的降解菌系降解了桉树皮的木质素,发挥了分解作用,释放大量热量,使堆体在中期保持较高的温度。

2.4 桉树皮堆肥纤维素、木质素含量

在桉树皮降解过程中,最主要的降解成分为纤维素和木质素。通过堆肥的方法,创造适宜的环境,可以使复合功能菌在桉树皮上定殖并大量繁殖,从而使木质素降解菌系与桉树皮充分接触,降解其中的纤维素、木质素。由图 2、图 3 可以看出,在堆肥结束后,未添加复合菌剂的 T1 与对照 CK 相比,纤维素、木质素含量无显著性差异,添加了复合菌剂的 T2 与对照 CK 相比,纤维素、木质素含量均有显著性差异,纤维素含量下降了 77.67%,木质素含量下降了 78.78%。这说明接种复合功能菌剂,在实际环境中对桉树皮具有降解作用,纤维素、木质素降解效果明显,从而可以加快桉树皮的腐熟。



图中具有相同字母代表 Duncan's 多重比较差异不显著($P>0.05$),下同

Data with different letters show Duncan's significant differences

at $P>0.05$. The same as below

图 2 桉树皮堆肥纤维素含量

Figure 2 Contents of cellulose in eucalyptus-bark compost

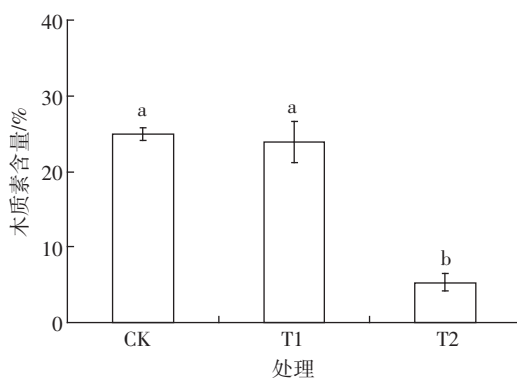


图 3 桉树皮堆肥木质素含量

Figure 3 Contents of lignin in eucalyptus-bark compost

3 讨论

本文利用已知的木质素降解菌,使其在桉树皮上进行培养,分析桉树皮纤维素及木质素的降解效果,从而分析不同种类降解微生物的降解作用,并从微生物系统考虑,筛选并构建出的复合菌剂与传统的施单一降解菌或内生菌不同。该复合菌剂不但有降解木质素的降解菌系,还包括与降解菌系有协同作用,可以在堆肥环境中快速繁殖,并帮助分解桉树皮的营养菌系。两者联合作用,可快速定殖,又可降解桉树皮的木质素,达到加快桉树皮腐熟的作用。通过桉树皮木质素堆肥试验,验证了在堆肥过程中,人工合成的复合菌剂对桉树皮的木质素具有明显的降解效果,降解木质素产生大量的热量,从而使堆体温度升高。与未添加复合菌剂的处理相比,添加了复合菌剂的处理在堆肥结束时桉树皮纤维素、木质素含量明显下降,达到了降解效果,为桉树皮快速腐熟提供了条件。

本文初步研究了适宜在桉树皮上生长的木质素降解菌及复合菌剂对桉树皮的降解作用,需进一步研究复合菌系优化组合,并研究复合菌剂对桉树皮腐熟

效果,探讨其在桉树皮上的定殖情况及影响因素,为菌种提供更好的微生态环境,加强其在桉树皮上的生存能力,提高降解效果。

4 结论

(1)绿色木霉菌、黄孢原毛平革菌、平菇菌对桉树皮纤维素、木质素具有降解作用,以上3种微生物作为桉树皮木质素降解菌系参与复合功能菌剂的构建。

(2)桉树皮堆肥试验中,添加了复合菌剂的堆肥处理在堆肥中期有明显的升温,桉树皮木质素、纤维素的降解效果明显,堆肥中的纤维素含量下降了77.67%,木质素含量下降了78.78%。

参考文献:

- [1] 梁晶,吕子文,方海兰.园林绿色废弃物堆肥处理的国外现状与我国的出路[J].中国园林,2009(4):1-6.
LIANG Jing, LÜ Zi-wen, FANG Hai-lan. Status of composting treatment of garden waste abroad and application in China[J]. *Chinese Garden*, 2009(4):1-6.
- [2] 谢耀坚,王军,彭彦,等.桉树工厂化育苗轻型基质筛选试验研究[J].林业科学研究,2008,21(4):528-533.
XIE Yao-jian, WANG Jun, PENG Yan, et al. Studies on light media for cuttings propagation of eucalyptus[J]. *Forest Research*, 2008, 21(4):528-533.
- [3] 谢日禄,亢希然,庞健,等.桉树皮栽培食用菌初探[J].农业研究与应用,2011(5):13-14.
XIE Ri-lu, KANG Xi-ran, PANG Jian, et al. A preliminary study on cultivation of edible fungi with *Eucalyptus* bark[J]. *Agricultural Research and Application*, 2011(5):13-14.
- [4] 尚秀华,谢耀坚,彭彦,等.腐熟桉树皮基质对桉树育苗效果的影响[J].中南林业科技大学学报,2011,31(6):33-39.
SHANG Xiu-hua, XIE Yao-jian, PENG Yan, et al. The effect of matured compost *Eucalyptus*-bark media on *Eucalyptus* seedlings[J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2011, 31(6):33-39.
- [5] 张沛健,谢耀坚,彭彦,等.桉树皮基质理化性质变化对苗木生长的影响[J].广东农业科学,2011(10):59-61.
ZHANG Pei-jian, XIE Yao-jian, PENG Yan, et al. Effect of the variance of *Eucalyptus*-bark media physicochemical properties on growth of *Eucalyptus* seedlings[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2011(10):59-61.
- [6] 张沛健,谢耀坚,方良,等.桉树皮基质化腐熟理化性质变化的研究[J].桉树科技,2013,30(1):25-31.
ZHANG Pei-jian, XIE Yao-jian, FANG Liang, et al. Study on variation of physical and chemical properties of composted *Eucalyptus* bark matrix[J]. *Eucalypt Science & Technology*, 2013, 30(1):25-31.
- [7] 何耀松,张继东.桉树化学成分及药理作用研究进展[J].动物医学进展,2007,28(7):98-101.
HE Yao-song, ZHANG Ji-dong. Progress on chemical constituents and pharmacological effects of *Eucalyptus*[J]. *Progress in Veterinary Medicine*, 2007, 28(7):98-101.
- [8] 刘淑霞,王鸿斌,赵兰坡,等.几种纤维素分解菌在有机质转化中的作用[J].农业环境科学学报,2008,27(3):991-996.
LIU Shu-xia, WANG Hong-bin, ZHAO Lan-po, et al. Effect of several cellulose-decomposing microorganisms on soil organic matter transformation[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(3):991-996.
- [9] 黄慧,申源源,陈宏.黄孢原毛平革菌对玉米秸秆木质素的降解研究[J].西南大学学报(自然科学版),2011,33(7):93-97.
HUANG Hui, SHEN Yuan-yuan, CHEN Hong. Study on degradation of corn straw lignin by *Phanerochaete chrysosporium*[J]. *Journal of Southwest University(Natural Science Edition)*, 2011, 33(7):93-97.
- [10] 邓媛方,邱凌,孙全平,等.蘑菇废弃菌棒及其与猪粪混合发酵对沼气产量及质量的影响[J].农业环境科学学报,2012,31(3):613-619.
DENG Yuan-fang, QIU Ling, SUN Quan-ping, et al. Influence of anaerobic co-digestion of mushroom cultivation wastes and pig manure on the biogas production and its quality[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2012, 31(3):613-619.
- [11] 冯佳丽,台喜生,李梅,等.链霉菌产木聚糖酶条件和酶学性质以及重离子诱变对产酶的影响研究[J].生物技术通报,2011(6):205-210.
FENG Jia-li, TAI Xi-sheng, LI Mei, et al. Studies on the cultured condition and nature of xylanase and effects of heavy-ion beam irradiation on xylanase produced by *Streptomyces* sp.[J]. *Biotechnology Bulletin*, 2011(6):205-210.
- [12] 王淑军,杨从发,陈静.用于降解秸秆的纤维素酶产生菌的筛选研究[J].粮食与饲料工业,2001(12):21-23.
WANG Shu-jun, YANG Cong-fa, CHEN Jing. Survey of screening cellulase strains for straw degradation[J]. *Cereal & Feed Industry*, 2001(12):21-23.
- [13] 范鹏程,田静,黄静美,等.花生壳中纤维素和木质素含量的测定方法[J].重庆科技学院学报(自然科学版),2008(5):64-65.
FAN Peng-cheng, TIAN Jing, HUANG Jing-mei, et al. On the determination of cellulose and lignin of peanut shells[J]. *Journal of Chongqing University of Science and Technology(Natural Sciences Edition)*, 2008(5):64-65.
- [14] 鄢海印,刘可星,毛敬麟,等.接种方式对堆肥过程中功能菌定殖的影响[J].农业环境科学学报,2012,31(10):2039-2045.
YAN Hai-yin, LIU Ke-xing, MAO Jing-lin, et al. Effects of different inoculation methods on the colonization of functional microorganisms during composting[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2012, 31(10):2039-2045.
- [15] Bidondo L F, Bompadre J, Pergola M, et al. Differential interaction between two *Glomus intraradices* strains and a phosphate solubilizing bacterium in maize rhizosphere[J]. *Pedobiologia*, 2012, 4(55):227-232.
- [16] 李智.5406抗菌肥特性及使用方法[J].生物加工过程,2003,1(2):50-52.
LI Zhi. Character and using methods of antagonistic fertilizer "5406"[J]. *Chinese Journal of Bioprocess Engineering*, 2003, 1(2):50-52.

- [17] 谭兆赞, 林捷, 刘可星, 等. 抗番茄青枯病复合菌剂的筛选构建及其防效[J]. 安全与环境学报, 2006, 6(4):27-30.
- TAN Zhao-zan, LIN Jie, LIU Ke-xing, et al. Selection and construction of antagonistic composite microbial agent and its effect for controlling bacterial wilt of tomato[J]. *Journal of Safety and Environment*, 2006, 6(4):27-30.
- [18] 席北斗, 刘鸿亮, 孟伟, 等. 垃圾堆肥高效复合微生物菌剂的制备[J]. 环境科学研究, 2003, 16(2):58-60.
- XI Bei-dou, LIU Hong-liang, MENG Wei, et al. Study on preparation technology of complex microbial community in composting process[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2003, 16(2):58-60.
- [19] 张沛健, 彭彦, 谢耀坚, 等. 基于桉树皮的有机基质腐熟处理研究[J]. 热带作物学报, 2011, 32(3):412-416.
- ZHANG Pei-jian, PENG Yan, XIE Yao-jian, et al. Study on *Eucalyptus*-bark for the decomposition treatment of organic matrix[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2011, 32(3):412-416.
- [20] 尚秀华, 彭彦, 徐跃, 等. 室温变化对有机废弃物腐熟温度的影响[J]. 广东林业科技, 2011, 27(2):59-63.
- SHANG Xiu-hua, PENG Yan, XU Yue, et al. Influence of room temperature on the organic waste composting temperature[J]. *Guangdong Forestry Science and Technology*, 2011, 27(2):59-63.