

研究报告

里氏木霉和鸡腿菇利用秸秆共发酵产木质降解酶

葛春梅¹, 徐娟娟^{1,2}, 孙芹英¹, 张洁¹, 蔡敬民¹, 潘仁瑞¹

1 合肥学院生物与环境工程系, 合肥 230022

2 安徽农业大学 微生物防治省重点实验室, 合肥 230036

摘要: 为了更好地利用农业废弃物, 提高其综合利用率, 减少传统化学方法及秸秆焚烧过程造成的环境污染, 实验对鸡腿菇、黑曲霉和里氏木霉3株产木质纤维素降解酶系的菌株进行混合平板产酶筛选, 结果显示鸡腿菇和里氏木霉平板培养相容性良好, 且产酶量高。在相容性实验的基础上, 对鸡腿菇和里氏木霉的最优产酶条件进行了研究。在最优条件下: 鸡腿菇和里氏木霉接种比例按5:2, 接种时间间隔为12 h, 26°C、150 r/min下, 发酵3 d产漆酶活力达3267.2 U/mL, 比单独发酵提高106%。

关键词: 鸡腿菇, 里氏木霉, 木质纤维素酶, 漆酶, 共发酵

Production of ligninase by co-fermentation of *Coprinus comatus* and *Trichoderma reesei*

Chunmei Ge¹, Juanjuan Xu^{1,2}, Qinying Sun¹, Jie Zhang¹, Jingmin Cai¹, and Renrui Pan¹

1 Department of Biology & Environment Engineering, Hefei University, Hefei 230022, China

2 Anhui Provincial Key Laboratory of Microbial Pest Control, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China

Abstract: In order to enhance the utilization efficiency, reduce the environmental pollution of traditional chemical treatment and the agriculture waste incineration; we studied the ligninase production by *Coprinus comatus*, *Aspergillus niger* and *Trichoderma reesei* through the plate screening. The results showed that *C. comatus* mixed culture with *T. reesei* have a good compatibility and higher yields of Laccase. On the basis of this pre-experiment, we studied the optimal conditions of mixed culture for enzyme production. Under the optimal conditions: the inoculation proportion of *C. comatus* and *T. reesei* (5:2), the interval of time (12 h), the temperature 26°C, the shake rotation speed 150 r/min, fermented for 3 days, the Laccase activity reached 3267.1 U/mL, increased by 106% contrasted with single culture of *C. comatus*.

Keywords: *Coprinus comatus*, *Trichoderma reesei*, lingo-cellulase, laccase, co-fermentation

自然界参与降解木质素的微生物种类有真菌、放线菌和细菌, 而真菌是最重要的一类。现已发现可降解木质素的真菌有很多种。根据真菌降解木质

素时木材的变化, 将其分为白腐真菌(White-rot fungi)、褐腐真菌(Brown-rot fungi)和软腐真菌(Soft-rot fungi), 其中白腐菌是目前已知的自然界中

Received: September 24, 2009; **Accepted:** November 17, 2009

Supported by: Natural Science Foundation of Anhui Province (No. 070413266X), Talents Fund of Anhui Province Education Department (No. 2009SQR2162), Doctor Fund of Heifei University (No. RC0016), Nature Science Fund of Heifei University (No. 09KY11ZR).

Corresponding author: Jie Zhang. Tel/Fax: +86-551-2158447; E-mail: bst@hfuu.edu.cn

安徽省自然科学基金项目(No. 070413266X), 安徽省教育厅优秀人才基金(No. 2009SQR2162), 合肥学院博士基金项目(No. RC0016), 合肥学院自然科学基金项目(No. 09KY11ZR)资助。

具有最强降解木质素能力的一类真菌, 并能在纯培养条件下将木质素最终矿化。因此, 白腐菌已成为首选的研究木质素降解的一类微生物, 它们通过分泌漆酶(Laccase, Lacs)、木质素过氧化物酶(Lignin peroxidase, LiPs)、锰过氧化物酶(Manganese-dependent peroxidase, MnPs)、纤维素酶(Cellulase, Cels) 和半纤维素酶(Hemicellulase, Hcels)等降解植物生物质^[1]。

纤维素是植物的主要成分, 占植物质量的 1/3~1/2, 是地球上最丰富最廉价的可再生资源。各种富含纤维素的工农业废弃物, 如秸秆、稻草、木屑、蔗渣等, 绝大部分被丢弃或作为燃料, 其利用率极低, 造成能源和资源的极大浪费。提高富含纤维素的工农业废弃物的利用率, 已成为近年来研究的热点^[2-3]。目前, 我国纤维素酶主要是利用纯种固态或液态发酵生产。但是, 由于分解纤维素的酶是多酶体系, 酶组分间存在明显的协同作用, 混合菌株可以相互补充, 从而促进纤维素类物质的分解, 尤其是细菌与真菌间具有较强的相互作用, 因此, 近年来混合菌的作用逐渐受到重视^[4-5]。

微生物混菌发酵可以分泌多种木质纤维素酶系, 保持持续的木质纤维素降解能力, 对酶反馈抑制物有较高的耐受力, 可以在较粗放的环境中降解纤维素, 对实际生产具有重大现实意义。本研究利用菌株相容性实验, 从多种微生物菌种组合中, 筛选到鸡腿菇与里氏木霉为最优组合, 两者共发酵可以显著提高漆酶的分泌, 目前尚未有相关文献报道。

1 材料与方法

1.1 菌种

鸡腿菇 *Coprinus comatus*、黑曲霉 *Aspergillus niger* 购自合肥市南七食用菌种厂, 经本实验室初步纯化鉴定后, 4°C 保藏于综合马铃薯斜面培养基(CPDA); 里氏木霉 *Trichoderma reesei* 购自中国菌物保藏中心。

1.2 主要培养基

CPDA 培养基(1 L): 20%马铃薯汁, 葡萄糖 20 g, KH_2PO_4 3 g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1.5 g, 微量 VB_1 , 115°C 灭菌 30 min 备用。菌株相容性筛选及混合菌产酶能力平板试验均采用 CPDA 平板, 在上述液体培养基中

加入 2%琼脂粉, 搅拌均匀后灭菌, 倒平板。

混合发酵产酶培养基: 40 目玉米芯 4 g, 40 目玉米秸秆 2 g, 40 目麸皮 1 g, 改良的 mandels 盐^[6] 57.75%, 装液量 120 mL/250 mL 三角瓶。

1.3 平板筛选

1.3.1 菌株相容性筛选

将各菌株两两组合, 分别点接到 CPDA 平板上, 每天观察一次菌丝的生长状况, 并测量菌落直径, 判断菌株相容性。相容性较好的组合用于后续实验。

1.3.2 漆酶检测

将 0.01%愈创木酚加入到 30 mL 体积分数为 95%的乙醇溶液中, 用此溶液滴加在培养的菌落边缘, 滴加区变红褐色, 表示有漆酶产生^[7]。

1.4 实验方法

1.4.1 菌种制备

取保藏斜面, 挑取菌丝块接种于 250 mL 三角烧瓶中(内装 100 mL 液体 CPDA 培养基), 于 26°C、150 r/min 振荡培养 3 d, 生物量干重为 0.18 g/100 mL, 匀浆悬液备用。里氏木霉直接接种孢子悬液, 孢子浓度为 1.2×10^7 个孢子/mL。

1.4.2 混合发酵产酶试验

在产酶培养基中按一定的接种比例及接种顺序接入菌种, 26°C 混合发酵, 每天取样, 每样 3 个平行, 发酵液经 8 层纱布过滤, 于 4°C、10 000 r/min 离心 10 min, 取上清液, 适当稀释后用于测定漆酶等木质素降解酶活性。

1.4.3 里氏木霉发酵液对鸡腿菇产漆酶影响的实验

产酶培养基中接种 4 mL 里氏木霉的孢子液, 培养 3 d, 经过抽滤, 再经过无菌滤器获得里氏木霉的无菌发酵液, 添加 15 mL 里氏木霉的发酵液至培养 2 d 的鸡腿菇产酶培养基中, 每天取样, 每样 3 个平行, 发酵液经 8 层纱布过滤, 于 4°C、10 000 r/min 离心 10 min, 取上清液, 适当稀释后用于测定漆酶活性。

1.4.4 酶活力的测定

1) 纤维素酶活力测定: 取适当稀释的粗酶液 0.5 mL, 加入 1 mL 1%的 CMC 溶液(溶于 pH 为 4.8、浓度为 0.1 mol/L 的 HAc-Na Ac 缓冲液中), 50°C 保温 30 min, 加入 3 mL DNS 试剂, 沸水浴 5 min, 冷

却后加水稀释至 25 mL, 分光光度计调至 520 nm 处测定吸光度。

2) 木聚糖酶活力测定: 取 0.1 mL 适当稀释的粗酶液, 加入 0.1 mL 2% 梓木木聚糖溶液, 在 50°C 保温 15 min 后, 加入 0.6 mL DNS 溶液, 煮沸 10 min 灭活显色, 定容到 5 mL, 550 nm 波长下测定还原糖量(以木糖计), 以灭活的酶液作为对照。酶活定义: 在上述条件下, 每分钟产生 1 μmol 还原糖所需要的酶量为一个酶活单位(IU/mL)。

3) 漆酶活力测定: 漆酶活力测定采用 ABTS 法^[8], 以 2, 2'-连氮-二(3-乙基苯并噻唑-6-磺酸) (以下简称 ABTS) 为底物, 反应总体积为 3 mL。取 2.85 mL 0.5 mol/L 的酒石酸盐缓冲液(pH 4.0), 加入 100 μL 15 mmol/L 的 ABTS 和 50 μL 适当稀释的酶样液, 混合, 于 30°C 水浴中准确反应 3 min, 迅速测定 OD_{420} 值。定义每分钟氧化 1 μmol ABTS 所需的酶量为一个酶活单位。

2 结果与分析

2.1 不同菌种平板相容性实验结果分析

图 1 是 *T. reesei*、*C. comatus* 和 *A. niger* 单独或共同培养的平板实验, 图 1A、1B、1C 分别是 *A. niger*/*C. comatus*、*A. niger*/*T. reesei*、*C. comatus*/*T. reesei* 共培养平板, 分析可知, 图 1A 中 *A. niger* 和 *C. comatus* 可以在同一平板上生长, 与图 1E 中 *C. comatus* 单独培养相比, *A. niger* 和 *C. comatus* 之间没有明显的抑制作用也未观测到两菌生长交界处菌丝交织的现象。图 1B 中 *A. niger* 和 *T. reesei* 混合培养与图 1D 中 *T. reesei* 单独培养相比, 共培养平板上 *T. reesei* 生长明显被抑制, 出现菌落变形的现象。图 1C 为 *C. comatus*/*T. reesei* 共培养图片, 由正面(左图)和反面(右图)照片可知, 里氏木霉 *T. reesei* 和鸡腿菇 *C. comatus* 可以在同一平板共同培养且相容性良好, 在两菌接触处分泌一种黑褐色物质, 有待鉴定其成分。图 1F 是 *C. comatus* 和 *T. reesei* 共培养 7 d 后在平板上滴加愈创木酚的结果, 在两菌接触处颜色明显加深, 说明了该处漆酶活力较高, 两菌共培养促进漆酶的分泌。图 1G 是 *C. comatus* 和 *T. reesei* 共培养的显微照片, 图 1H 是 *C. comatus* 单独

培养的显微照片, 分析可知, 混合培养时, *T. reesei* 和 *C. comatus* 可以相互渗透生长, 两菌交织的菌丝体上有较多里氏木霉孢子存在。

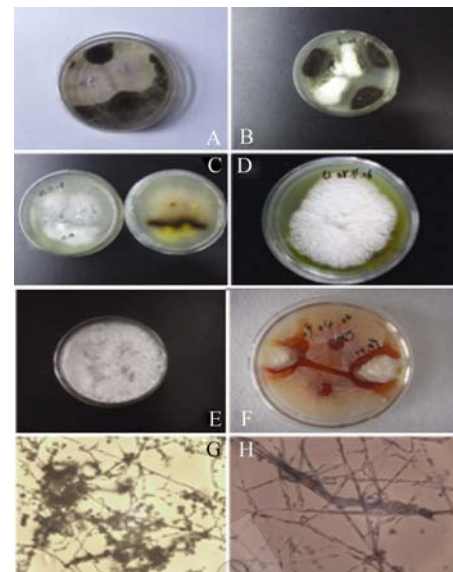


图 1 试验菌株相容性试验图

Fig. 1 Test strain compatibility experimental. (A) *C. comatus*/*A. niger* mixed-culture. (B) *T. reesei*/*A. niger* mixed-culture. (C) *C. comatus*/*T. reesei* mixed-culture. (D) *T. reesei* single-culture. (E) *C. comatus* single-culture. (F) Guaiacol dripped in plat of mixed *C. comatus*/*T. reesei*. (G) Microscopy photo of *C. comatus*/*T. reesei* mixed-culture 100(\times). (H) Microscopy photo of *C. comatus* (100 \times).

2.2 筛选不同菌种产木质纤维素酶结果

本实验采用摇瓶培养方法测定发酵 5 d 后发酵液中的酶成分, 结果见表 1, *C. comatus* 单独发酵主要产生漆酶, 很少产生纤维素酶和木聚糖酶; *A. niger* 和 *T. reesei* 单独发酵不产生漆酶, 产生纤维素酶和木聚糖酶, 前者产的两种酶比后者高。*C. comatus* 和 *T. reesei* 混合培养产生 3 种酶, 漆酶产量明显较 *C. comatus* 单独发酵提高, 纤维素酶和木聚糖酶比单独发酵有所下降。*C. comatus* 和 *A. niger* 混合培养同样产生三种酶, 漆酶量与 *C. comatus* 单独发酵相比, 漆酶酶活较小, 其他两种酶变化不大。*T. reesei* 和 *A. niger* 混合发酵木聚糖酶活力有所提高, 纤维素酶活力下降。

2.3 鸡腿菇和里氏木霉混合发酵产酶的研究

2.3.1 鸡腿菇与里氏木霉接种比例对产漆酶的影响

培养 3 d 的鸡腿菇菌液, 菌体干重为 0.18 g/100 mL, 匀浆后备用; 里氏木霉孢子悬浮液, 浓度为 $1.2 \times$

10^7 个孢子/mL, 分别按鸡腿菇与里氏木霉的接种比例为 5:0、5:1、5:2、5:3、0:5 接种于 10 mL 发酵培养基, 在 26°C 、150 r/min 下发酵产酶, 24 h 后开始测漆酶活力, 结果见图 2, 里氏木霉本身不产漆酶, 鸡腿菇单独发酵漆酶产量为 1593.5 U/mL, 当接种比为 5:2 时, 产漆酶酶活在第 3 天达峰值 2976.3 U/mL, 酶活明显高于其他两个接种比例。

2.3.2 鸡腿菇与里氏木霉不同接种时间间隔对产酶的影响

鸡腿菇和里氏木霉按 5:2 接种于发酵产酶培养基, 先接种 10 mL 鸡腿菇菌丝悬浮液, 分别间隔 0、12、24、36 h 再接种 4 mL 里氏木霉孢子悬液, 2 d 后测发酵液中各酶酶活, 结果见图 3, 在设定的时间间隔内, 时间间隔为 12 h 时, 产纤维素酶酶活最高, 为 294.4 IU/mL, 漆酶酶活最高为 1480.0 U/mL。时间间隔为 36 h 时, 木聚糖酶酶活最高达 119.5 IU/mL, 漆酶和纤维素酶活力与其他 3 种接种方式比较偏低。

表 1 不同菌株单独或混合发酵产酶量情况

Table 1 Yields of enzymes from different fungi fermentation

	Laccase (U/mL)	Xylanase (IU/mL)	CMCase (IU/mL)
<i>C. comatus</i> single fermentation	1507.3	-	-
<i>T. reesei</i> single fermentation	-	144.1	174.4
<i>A. niger</i> single fermentation	-	163.5	264.5
Mixed fermentation of <i>C. comatus</i> and <i>T. reesei</i>	1935.2	87.3	155.6
Mixed fermentation of <i>C. comatus</i> and <i>A. niger</i>	278.2	169.8	252.8
Mixed fermentation of <i>T. reesei</i> and <i>A. niger</i>	-	242.5	187.5

Attention: “-” means non-generation or less.

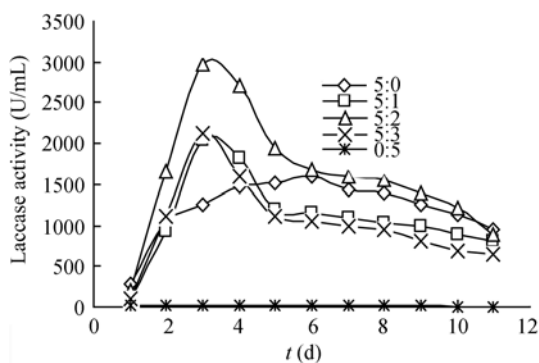


图 2 接种比例对混合发酵产漆酶的影响

Fig. 2 Effect of inoculum proportion on producing laccase.

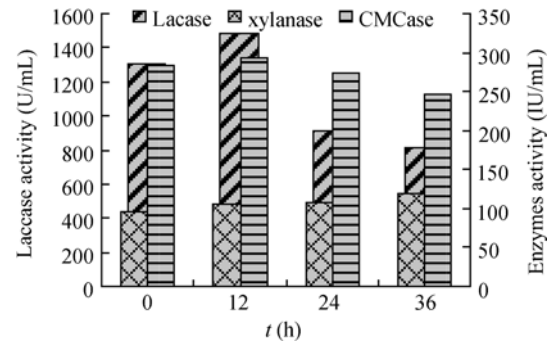


图 3 不同接种时间间隔对产酶的影响

Fig. 3 Effect of different inoculation time on producing enzymes.

2.3.3 其他培养条件对鸡腿菇和里氏木霉混合发酵产酶的影响

实验对两菌混合发酵的培养温度、初始 pH 值、摇床转速、装液量进行了单因素实验分析, 结果显示两菌混合发酵的最佳产酶温度为 26°C , 最佳初始 pH 为 5.5, 最佳摇床转速为 150 r/min, 最佳装液量为 120 mL。

2.3.4 最优条件下鸡腿菇和里氏木霉混合发酵产酶与两菌单独发酵的对比分析

在优化条件下, 两菌种按 5:2 的接种比例、时间间隔为 12 h 先接种 10 mL 鸡腿菇菌液, 再接种 4 mL 里氏木霉孢子液至发酵产酶培养基, 两菌混合发酵产酶与单独发酵的对比分析见表 2, 鸡腿菇和里氏木霉混合发酵后 3 d, 漆酶达到峰值 (3267.2 U/mL), 而鸡腿菇单独发酵第 5 天达峰值 (1593.5 U/mL), 混合发酵比鸡腿菇单独发酵产漆酶活力提高 106%, 产漆酶峰值时间提前 2 d。混合发酵产 Xylanase 和 CMCase 两种酶峰值在第 8 天出现, 酶活分别为 167.9 和 101.7, 里氏木霉单独发酵产 Xylanase 和 CMCase 出现峰值的时间分别为 5 d 和 6 d, 酶活分别为 174.1 和 204.4, 鸡腿菇单独发酵产 Xylanase 和 CMCase 的峰值为第 10 天, 活力较小, 为 32.6 和 24.9。混合发酵 CMCase 比里氏木霉单独发酵下降了 50.3%, 混合发酵 Xylanase 的峰值与里氏木霉单独发酵相比没有明显的降低。

2.4 鸡腿菇和里氏木霉共发酵促进鸡腿菇漆酶分泌原因的探讨

鸡腿菇和里氏木霉共发酵第 3 天, 漆酶达到峰值 (3267.2 U/mL), 而鸡腿菇单独发酵第 5 天达峰值

表 2 单独和混合发酵产酶峰值及其出现峰值的时间

Table 2 Peak value and appearance time of enzymes activity from single and mixed fermentation

	CMCase		Xylanase		Laccase	
	Time (d)	Enzyme activity (IU/mL)	Time (d)	Enzyme activity (IU/mL)	Time (d)	Enzyme activity (U/ml)
<i>C. comatus</i> single fermentation	10	24.9	10	32.6	5	1593.5
<i>T. reesei</i> single fermentation	6	204.4	5	174.1	—	—
Mixed fermentation of <i>C. comatus</i> and <i>T. reesei</i>	8	101.7	8	167.9	3	3267.2

Attention: time means appearance time of peak value; “—” means nothing or less.

(1593.5 U/mL), 混合发酵比鸡腿菇单独发酵产漆酶活力提高 106%。这可能是由于里氏木霉的某种代谢产物促进鸡腿菇分泌漆酶, 或者两者共发酵过程中协同分泌某种特殊的物质从而提高漆酶的产量及活力。实验对鸡腿菇和里氏木霉共发酵产漆酶、鸡腿菇在添加里氏木霉发酵液的产酶培养基中单独发酵产漆酶的情况进行了对比, 结果如图 4 所示。鸡腿菇与里氏木霉混合发酵 3 d, 漆酶达到峰值 (3267.2 U/mL), 鸡腿菇在添加里氏木霉发酵液的产酶培养基中单独发酵 1 d 后, 产漆酶活力达到 1928.5 U/mL, 鸡腿菇单独发酵 5 d, 漆酶活力达到 1593.5 U/mL。这个结果说明, 里氏木霉代谢产物中存在一种特殊的物质能促进鸡腿菇分泌漆酶。

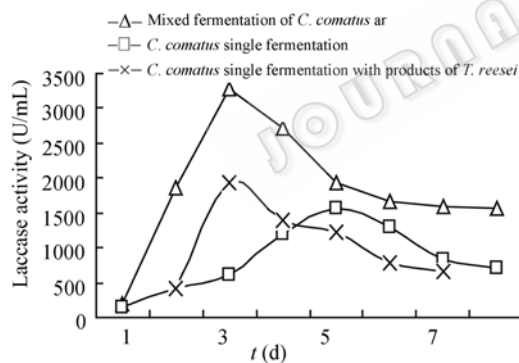


图 4 鸡腿菇单独发酵与共发酵的产酶过程

Fig. 4 Contrast between Co-fermentation and single fermentation produced enzymatic period of *C. comatus*.

3 结论

混菌培养周期短, 可获得某些新型的或优质的发酵产品, 产率高, 且在防治杂菌污染方面很占优势。鸡腿菇和里氏木霉在共同培养的情况下, 互相利用对方的以及自身产生的酶系降解产物, 既可用于自身的生长繁殖, 也为对方的生长繁殖提供营养

物质。

本实验结果表明, 鸡腿菇和里氏木霉按 5: 2 接种比例, 间隔 12 h 接种, 以玉米芯 4 g, 玉米秸秆 2 g, 麸皮 1 g, 改良的 Mandels 营养盐 57.75%, 在 26°C、150 r/min 条件下发酵 3 d, 漆酶酶活达 3276.2 U/mL, 比单独发酵提高 106%。通过鸡腿菇和里氏木霉混合发酵产酶, 鸡腿菇单独发酵产酶及鸡腿菇在添加了里氏木霉发酵液的培养基中单独发酵产酶的对比分析, 说明里氏木霉发酵液中存在一种成分可以促进鸡腿菇漆酶的产生。

混合发酵产生混合酶系, 包含纤维素、半纤维素和木质素水解酶系, 与单纯的纤维素酶水解秸秆相比, 混合酶系水解底物更充分。采用这种方法可以制备混合酶制剂, 用于转化秸秆, 降低秸秆中纤维含量, 提高蛋白质、脂肪等含量, 生产秸秆饲料; 也可采用混合酶制剂提高转化秸秆为水解糖的环境友好性及效率, 并进一步利用微生物将其转化为化工基础原料。

REFERENCES

- [1] Xie J, Ren L, Li W, et al. Studies on white rot fungi producing lignocellulose-degrading enzymes in liquid state fermentation. *J Sichuan Univ*, 2000, **37**: 161–162. 谢君, 任路, 李维, 等. 白腐菌液体培养产生木质纤维素降解酶的研究. *四川大学学报*, 2000, **37**: 161–162.
- [2] Sun QY, Ge CM, Zhang J. Production of laccase and stalk biodegradation by *Ganoderma lucidum* under solid-state fermentation. *J Hefei Univ*, 2007, **17**(3): 6–9. 孙芹英, 葛春梅, 张洁. 灵芝固态发酵产漆酶及对秸秆木质素的降解. *合肥学院学报*, 2007, **17**(3): 6–9.
- [3] Bai DM, Li SZ, Liu ZL, et al. Enhanced L-(+)-lactic acid production by an adapted strain of *Rhizopus oryzae* using corncob hydrolysate. *Appl Biochem Biotechnol*, 2008, **144**: 79–85.

- [4] Huang HY, Zhang XY. Genus reciprocity of white rot fungi on laccase production in mixed culture. *Edi Fungi China*, 2003, **23**(4): 31–32.
黄慧艳, 张晓昱. 白腐菌混合培养在胞外漆酶分泌上的种属互惠性. *中国食用菌*, 2003, **23**(4): 31–32.
- [5] Lin J, Tan ZZ, Luo WC. Study on co-fermentation using cassava residue by mixed cellulolytic strains. *J Safety Environ*, 2005, **5**(6): 26–27.
林捷, 谭兆赞, 罗伟诚. 利用木薯渣进行纤维素分解菌混合发酵工艺研究. *安全与环境学报*, 2005, **5**(6): 26–27.
- [6] Hu KJ, Wu K, Pan RR, *et al.* Solid-state mixed fermentation increases activities of xylanase and cellulose. *Mycosystema*, 2007, **26**(2): 273–278.
胡奎娟, 吴克, 潘仁瑞, 等. 固态混合发酵提高木聚糖酶和纤维素酶活力的研究. *菌物学报*, 2007, **26**(2): 273–278.
- [7] Zhang JP, Wang JW, Jiang JM, *et al.* Comparison on lignin-degrading enzymes of ganoderma-lucidum fungi. *Forest Res*, 2005, **18**(1): 106–108.
张金萍, 王敬文, 姜景民, 等. 灵芝属木质素降解高效菌株筛选. *林业科学研究*, 2005, **18**(1): 106–108.
- [8] Zhang M, Xiao YZ, Pu CL, *et al.* Preliminary studies on laccase production by a white-rot fungus AH28-2. *Microbiology*, 2002, **29**(3): 37–42.
张敏, 肖亚中, 蒲春雷, 等. 白腐真菌 AH28-2 菌株发酵合成漆酶初步研究. *微生物学通报*, 2002, **29**(3): 37–42.



科学出版社科学出版中心生命科学分社新书推介

中国生物入侵研究 (中、英版)

万方浩 郭建英 张峰 等著

中文版 978-7-03-025800-7 ¥150.00 2009年10月出版

英文版 978-7-03-025799-4 ¥180.00 2009年10月出版



本书共分为九章,第一章主要分析了中国外来有害生物入侵现状、发生与发展趋势;第二章重点介绍了中国最具危害性与威胁性的20个农林入侵物种的分布与危害以及核心研究问题;第三章在因子分析及典范对应分析的基础上,深入剖析了外来有害生物成功入侵的因素;第四章应用不同的分析模式,评估了生物入侵对经济、生态与社会的影响;第五章重点构架与解析了中国生物入侵基础与应用研究的体系与模式,提出在基础理论研究方面需要重点关注的科学问题,简要介绍了现阶段基础与应用研究的主题项目及代表前沿性研究的核心成果与突出亮点;第六章以典型农林入侵物种(病虫草)为对象,系统地归纳与总结了其入侵机制、扩张与暴发的生态学过程、与本地种的竞争与互作的关系以及对生态系统产生的影响等;第七章从预防预警、检测监测、应急处理、持续防控的技术与方法的角度,系统性总结了生物入侵防控技术的研究与发展;第八章从管理到研究等不同层面,提出了一些应对生物入侵的建议;第九章有针对性地提出了基础理论与防控技术的创新需求。

本书适合于从事生物入侵、生物多样性、生态安全、动植物检疫、植物保护与环境保护等领域的科研人员、大专院校师生以及行政管理人员等使用。

欢迎各界人士邮购科学出版社各类图书(免邮费)

邮购地址: 北京东黄城根北街16号 科学出版社 科学出版中心 生命科学分社 邮编: 100717

联系人: 李韶文(010-64000849) 周文宇(010-64031535)

更多精彩图书请登陆网站 <http://www.lifescience.com.cn>, 欢迎致电索要书目