

乙醇发酵菌种的选育及发酵条件的初步探索试验

曾凡洲, 卫民*, 蒋剑春, 赵剑, 李科

(中国林业科学研究院林产化学工业研究所; 生物质化学利用国家工程实验室;
国家林业局林产化学工程重点开放性实验室, 江苏 南京 210042)

摘要:对 5 种燃料乙醇发酵菌种进行了选择, 对较好菌种做了耐高温驯化及发酵条件的优化。结果表明, 在以葡萄糖为单一碳源的发酵中, 相对于依哈塔假丝酵母、嗜单宁管囊酵母、间型脉胞菌、好食脉胞菌, 酿酒酵母种液制备时间最短(对数生长期在 6~13 h), 发酵制取乙醇得率最高; 对酿酒酵母驯化后, 得到一株可在 42℃ 正常生长的菌株; 经研究, 该耐高温菌株的较优发酵条件为温度 30℃、转速 150 r/min、初始 pH 值 5.0、接种量 10%。该耐高温驯化后的酿酒酵母不能直接用于水解液发酵制乙醇, 还需要经过驯化或菌种改良后方能使用。

关键词:燃料乙醇; 水解液; 耐高温酿酒酵母; 发酵条件

中图分类号: TQ351

文献标识码: A

文章编号: 1673-5854(2010)05-0035-06

Strain Screening of Hydrolysate Fermentation for Ethanol and Preliminary Study on Fermentation

ZENG Fan-zhou, WEI Min, JIANG Jian-chun, ZHAO Jian, LI Ke

(Institute of Chemical Industry of Forest Products, CAF; National Engineering Lab. for Biomass Chemical Utilization; Key and Open Lab. on Forest Chemical Engineering, SFA, Nanjing 210042, China)

Abstract: Strains were selected from five fuel ethanol hydrolysate fermentation. Thermostable domestication and the fermentation optimization of better strain were studied. The results showed that in the fermentation comparison of *Candida shechatae*, *Pachysolen tannophilus*, *Neurospora intermedia* and *Neurospora sitophila* with glucose as the single carbon source, *Saccharomyces cerevisiae* was the best for the highest ethanol yield and the shortest log phase with 6-13 h. By domestication, a thermostable strain was screened out, which performed normal growth under 42℃. By optimizing, the optimum fermentation conditions were determined for temperature 30℃, stirring rate 150 r/min, initial pH value 5.0, inoculation amount 10%. The yeast can not be directly used for ethanol fermentation hydrolysis. But it can be used after domesticated or strain improvement.

Key words: fuel ethanol; hydrolysate; thermostable *S. cerevisiae*; fermentation conditions

随着化石能源日渐枯竭, 石油价格攀升, 环境问题的愈加严峻, 燃料乙醇的制造及其使用技术的开发已受到世界各国普遍关注^[1-3]。我国是农业大国, 玉米秸秆产量丰富, 以其为原料制取燃料乙醇, 符合我国国情, 有助于缓解能源紧张, 减少环境污染, 促进农业发展和新农村建设^[4]。本研究对比了 5 种菌株的发酵性能, 对较好菌株进行了耐高温驯化和发酵条件的优化, 为下一步菌种驯化及水解液的发酵和燃料乙醇的制取奠定了基础。

1 实验

1.1 原料、试剂及仪器

玉米秸秆, 取自江苏农村。氢氧化钙、硫酸、氯化钠和葡萄糖, 均为分析纯; 蛋白胨、酵母浸膏、琼脂,

收稿日期: 2010-06-13

基金项目: 国家林业局 948 创新重点项目 (2006-4-C06)

作者简介: 曾凡洲 (1984-), 男, 山东济宁人, 硕士生, 主要从事微生物发酵的研究工作; 联系电话: 025-85482436; E-mail: zeng-fanzhou@163.com

* 通讯作者: 卫民 (1961-), 男, 安徽来安人, 副研究员, 硕士生导师, 从事木质素化学利用、植物纤维水解及树脂研究开发工作; 联系电话: 025-85482436; E-mail: nanjingwm@163.com。

均为生化试剂。

UV1100 分光光度计,上海天美科学仪器有限公司;GC-2010 气相色谱仪,日本岛津;白酒分析专用柱,AT.LZP-930,中国科学院兰州化学物理研究所色谱技术研究开发中心;Aminex HPX-87H Ion Exclusion Column,美国伯乐;TG16-WS 离心机,长沙湘智;SW-CJ-2FD 超净工作台,GSP-9080MBE 隔水式恒温培养箱,YXQ-LS-30SH 立式压力蒸汽灭菌器,上海博讯实业有限公司医疗设备厂;THZ-100 恒温培养摇床,南京科尔仪器设备有限公司。

1.2 原料处理

将玉米秸秆粉碎后,过 0.85 mm 分样筛,按固液比 1:9(g:mL),180 ℃,2 % 硫酸的水解条件反应 1 h。得水解液,用于 1.8 节的后续发酵。

水解液经 10 000 r/min,5 min 离心后,所得上清液 0.45 μm 水系滤膜过滤,高效液相色谱分析水解液的成分。

1.3 菌种及培养基

酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)、好食脉孢菌(*Neurospora sitophila*)、间型脉孢菌(*Neurospora intermedia*)均为本实验室保存;休哈塔假丝酵母(*Candida shechatae*)、嗜单宁管囊酵母(*Pachysolen tannophilus*),均购自中国工业微生物菌种保藏中心。

斜面及平板固体培养基:马铃薯 200 g/L,葡萄糖 20 g/L,琼脂 20 g/L,121 ℃ 下灭菌 30 min;液体马铃薯培养基:马铃薯 200 g/L,葡萄糖 20 g/L,121 ℃ 下灭菌 20 min;发酵培养基:葡萄糖 50 g/L,蛋白胨 10 g/L,酵母浸膏 10 g/L,121 ℃ 下灭菌 20 min;水解液培养基:蛋白胨 10 g,酵母浸膏 10 g,玉米秸秆水解液(石灰乳调 pH 值至 5.0)1L,121 ℃ 下灭菌 20 min。

1.4 分析方法

乙醇气相色谱分析:色谱柱,AT.LZP-930 白酒分析专用柱,18 m × 0.53 mm × 1.00 μm;注射室温度 180 ℃,柱温 70 ℃;检测器 FID(氢离子火焰检测器);自动进样,进样量 1 μL;载气为高纯 N₂;分析时间 5 min。

水解液高效液相色谱分析:色谱柱,Aminex HPX-87H Ion Exclusion Column(300 mm × 7.8 mm),Bio-Rad USA;流动相为 5 mmol/L H₂SO₄,流速 0.6 mL/min;柱温 55 ℃,示差折光检测器温度 35 ℃;进样量 10 μL。

1.5 发酵菌种的选择

1.5.1 菌种生长曲线的测定^[5] 分别取一环斜面固体培养基新传代培养的酿酒酵母、休哈塔假丝酵母、嗜单宁管囊酵母于液体马铃薯培养基中,30 ℃,150 r/min 恒温摇床培养,每隔 2 ~ 3 h 取样。发酵液经 6 000 r/min 离心 8 min,收集菌体,用 0.9 % 的氯化钠溶液洗涤 3 次。稀释 25 倍后,测 600 nm 处吸光度(OD₆₀₀)。

1.5.2 发酵能力的比较 分别取一环斜面固体培养基新传代培养的 5 种菌种于液体马铃薯培养基中,30 ℃、150 r/min 恒温摇床培养,至对数生长期后期。以 10 % 种液量加到发酵培养基中,30 ℃、150 r/min 恒温摇床培养。每隔一定时间取样,气相色谱法测试乙醇含量。

1.6 酿酒酵母的高温驯化

取一环斜面固体培养基新传代培养的酿酒酵母于液体马铃薯培养基中,30 ℃、150 r/min 恒温摇床培养,10 h 后停止培养,取约 0.5 mL 涂布于平板,34 ℃ 培养箱中培养。待平板长出酵母菌菌落后,挑取生长良好菌落,转接于斜面固体培养基培养。将 34 ℃ 生长良好酵母菌重复以上操作,并逐步提高培养温度(36、38、40、42 ℃)进行驯化^[6-8]。

1.7 耐高温酿酒酵母发酵条件的优化^[9-11]

对经过高温驯化后的酿酒酵母进行发酵条件的优化。

1.7.1 温度 取一环斜面固体培养基新传代培养的耐高温酿酒酵母于液体马铃薯培养基中,30 ℃、

150 r/min 恒温摇床培养 10 h,以 10 % 种液量加到发酵培养基中。在一定温度下,150 r/min 恒温摇床中培养 1 d。气相色谱法测试乙醇含量。考察温度对该酵母发酵产乙醇的影响。

1.7.2 转速 取一环斜面固体培养基新传代培养的耐高温酿酒酵母于液体马铃薯培养基中,30 ℃、150 r/min 恒温摇床培养 10 h,以 10 % 种液量加到发酵培养基中。在 30 ℃、一定转速的恒温摇床培养 1 d。气相色谱法测试乙醇含量。考察转速对该酵母发酵产乙醇的影响。

1.7.3 初始 pH 值 取一环斜面固体培养基新传代培养的耐高温酿酒酵母于液体马铃薯培养基中,30 ℃、150 r/min 恒温摇床培养 10 h,以 10 % 种液量分别加到不同 pH 值的发酵培养基中。在 30 ℃、150 r/min 恒温摇床培养 1 d。气相色谱法测试乙醇含量。考察培养基初始 pH 值对该酵母发酵产乙醇的影响。

1.7.4 接种量 取一环斜面固体培养基新传代培养的耐高温酿酒酵母于液体马铃薯培养基中,30 ℃、150 r/min 恒温摇床培养 10 h,分别以一定的种液量加到发酵培养基中。在 30 ℃、150 r/min 恒温摇床培养 1 d。气相色谱法测试乙醇含量。考察种液量对该酵母发酵产乙醇的影响。

1.8 水解液发酵制取乙醇探索性试验

在所得耐高温酿酒酵母最佳发酵条件下,对水解液发酵制取乙醇作探索性试验。取一环斜面培养的新传代酵母菌接到液体马铃薯培养基中,在转速为 150 r/min,30 ℃ 的摇床中培养 10 h。取种子悬浮液 10 mL,加入含 90 mL 水解液发酵培养基的蓝口瓶中。发酵在 30 ℃、150 r/min 的摇床中进行,3 d 后取样,气相色谱法测定乙醇含量。

2 结果与讨论

2.1 水解液成分分析

由表 1 可知,玉米秸秆水解液糖类主要成分为葡萄糖 35.70 g/L,故发酵制取乙醇以葡萄糖为碳源,其次为木糖 15.42 g/L,但是大多数产乙醇菌株不能利用五碳糖,可考虑以水解液中木糖为原料制取木糖醇等呋喃型产品,本实验不做研究。其余糖分如阿拉伯糖、纤维二糖等含量较低。另外,玉米秸秆水解液中还含有对后续发酵有抑制作用的有毒物质,如甲酸、乙酸、糠醛等,质量浓度分别为 1.17、4.79 和 2.25 g/L。

2.2 发酵菌种的选择

酿酒酵母、嗜单宁管囊酵母和休哈塔假丝酵母的生长曲线如图 1 所示。由图 1 可知,酿酒酵母的对数生长期在 6 ~ 13 h,嗜单宁管囊酵母对数生长期在 13 ~ 20 h,休哈塔假丝酵母对数生长期在 17 ~ 24 h。

故在菌种发酵性能比较试验中,将酿酒酵母、嗜单宁管囊酵母、休哈塔假丝酵母的种液分别培养至 10、18 和 22 h,然后转至发酵培养基中。对于好食脉孢菌与间型脉孢菌,由于是霉菌,生长曲线不易测定,可将试管斜面的孢子接入含种子培养基的摇瓶中,在摇床上恒温振荡培养至种液变黏稠(约 20 h),以获得菌丝体,作为种子,然后转至发酵培养基。

图 2 为酿酒酵母、休哈塔假丝酵母、嗜单宁管囊酵母、好食脉孢菌与间型脉孢菌以葡萄糖为碳源发酵产乙醇随时间变化图。由图 2 知,在发酵的 3 d 中,酿酒酵母发酵产乙醇的质量浓度最高,达 25.2 g/L;其次为嗜单宁管囊酵母,可达 23.1 g/L;再次为休哈塔假丝酵母和好食脉孢菌,分别为 9.2、7.4 g/L;间型脉孢菌产乙醇很少。从发酵产乙醇速率上看,酿酒酵母最快,32 h 基本可发酵完毕,51 h 乙醇质量浓度最高;其次为嗜单宁管囊酵母;休哈塔假丝酵母在考察的 3 d 内尚未发酵完全;好食脉孢菌 51 h 发酵产乙醇完毕,但其乙醇得率低;间型脉孢菌最慢,在 3 d 内几乎不产乙醇。

表 1 玉米秸秆水解液主要成分分析
Table 1 Analysis of main composition of corn stover hydrolyzate

成分 composition	质量浓度/(g·L ⁻¹) mass concentration
葡萄糖 glucose	35.70
木糖 xylose	15.42
阿拉伯糖 arabinose	2.12
纤维二糖 cellobiose	0
甲酸 formic acid	1.17
乙酸 acetic acid	4.79
糠醛 furfural	2.25
乙酰丙酸 levulinic acid	0.91

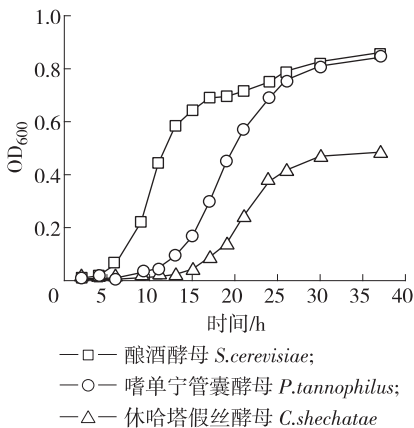


图 1 酿酒酵母、嗜单宁管囊酵母和休哈塔假丝酵母的生长曲线

Fig.1 Growth curves of *Saccharomyces cerevisiae*, *Pachysolen tannophilus* and *Candida shechatae*

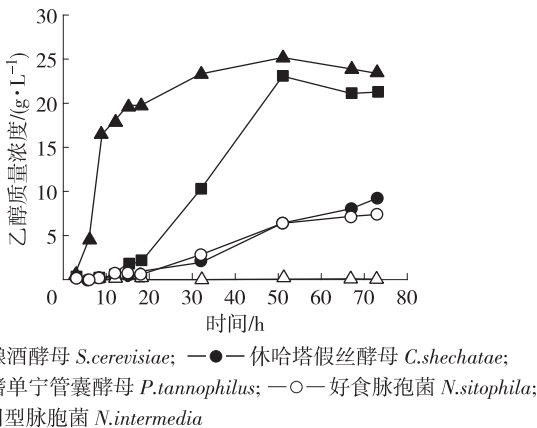


图 2 发酵时间对乙醇质量浓度的影响

Fig.2 Effects of fermentation time on ethanol mass concentration

表 2 对比了 5 种菌种的对数生长期和以葡萄糖为碳源的乙醇得率。可知,酿酒酵母的对数生长期最短(6 ~ 13 h),乙醇得率最高(98.6 %)。以此菌种用来发酵,种液制备时间短,可获得较高的乙醇得率。因此,酿酒酵母在考察的 5 种菌种中是发酵性能最好的,可考虑用于水解液发酵。

表 2 5 菌种发酵性能比较¹⁾

Table 2 Comparison of five strains'fermentation

菌种 strains	对数生长期/h log phase	乙醇得率/% ethanol yield
酿酒酵母 <i>S. cerevisiae</i>	6 ~ 13	98.6
休哈塔假丝酵母 <i>C. shechatae</i>	17 ~ 24	36.2
嗜单宁管囊酵母 <i>P. tannophilus</i>	13 ~ 20	90.2
好食脉孢菌 <i>N. sitophila</i>		28.9
间型脉孢菌 <i>N. intermedia</i>		1.0

1) 好食脉孢菌和间型脉孢菌生长曲线不易测定,对数生长期不予列出。The log phases of *N. intermedia* and *N. sitophila* are not listed, for which growth curves are determined hardly.

2.3 酿酒酵母高温驯化结果及发酵条件的优化

经过一系列的驯化,最后筛选出一株可在 42 ℃ 下正常生长的酵母菌,其菌落呈乳白色、大而厚、表面光滑、湿润、黏稠、容易用针挑起、质地均匀,对该耐高温酿酒酵母发酵条件做优化探索。

2.3.1 温度的影响 图 3 为温度对耐高温酿酒酵母发酵产乙醇的影响。由图 3 可知,随着温度的升高,发酵液中乙醇质量浓度逐渐增大,呈上升趋势;当温度在 30 ~ 42 ℃ 之间时,乙醇质量浓度变化不大;当温度超过 42 ℃,乙醇质量浓度减小,曲线直线下降;50 ℃ 下基本没有微生物发酵活动。说明该耐高温酿酒酵母适宜的发酵温度为 30 ~ 42 ℃。但是,温度过高,杂菌繁殖会增强,易造成细菌污染,在生产中要权衡这两方面的因素。本研究工作在实验室中进行,属基础研究,以防止杂菌污染为主,故发酵温度选取 30 ℃。

2.3.2 转速的影响 转速对耐高温酿酒酵母发酵的影响见图 4。由图 4 可知,在 0 ~ 150 r/min 之间,转速越大,发酵液中乙醇质量浓度越高。150 与 200 r/min 转速下发酵,发酵液中乙醇质量浓度相差不大。摇床培养有助于发酵液中营养物质的传递,减小酵母细胞的沉降,增大营养物质与细胞的接触面积。但转速增大,功率消耗也增大,故发酵转速确定为 150 r/min。

2.3.3 初始 pH 值的影响 发酵培养基初始 pH 值对耐高温酿酒酵母发酵的影响如图 5 所示。由图 5 可知,当 pH 值 5.0 时,发酵液中乙醇质量浓度最高。pH 值高于或低于 5.0 时,乙醇得率均有不同程度的下降。本实验工作在水解液发酵中,发酵前要将 pH 值调至 5.0。

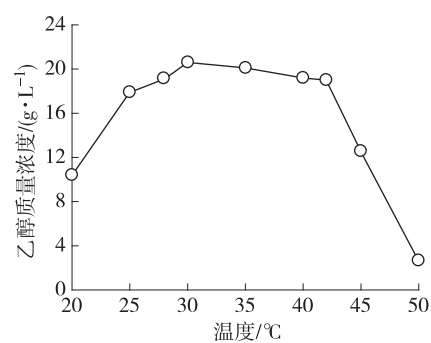


图 3 温度对耐高温酿酒酵母发酵的影响

Fig.3 Effect of the temperature on the fermentation of thermostable *S. cerevisiae*

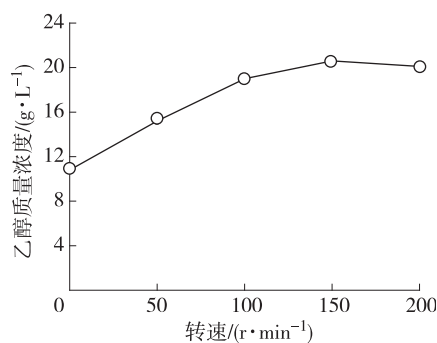


图 4 转速对耐高温酿酒酵母发酵的影响

Fig.4 Effect of the stirring rate on the fermentation of thermostable *S. cerevisiae*

2.3.4 接种量的影响 图 6 反映了接种量对耐高温酿酒酵母发酵的影响。由图 6 可知,随着接种量的增大,发酵乙醇产量呈逐渐上升趋势,其中以种液量 10 % 为最佳。而后随着接种量的增加,乙醇产量下降。可能是由于种液量的加大,造成酵母对培养基中营养物质的竞争加剧,导致菌体的发酵活性下降,乙醇产量降低。接种量确定为 10 %。

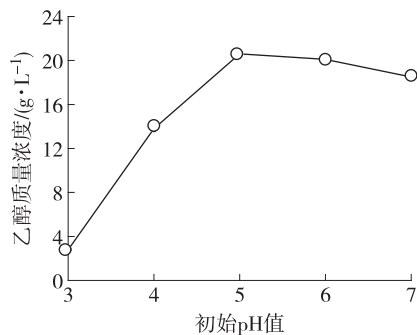


图 5 初始 pH 值对耐高温酿酒酵母发酵的影响

Fig.5 Effect of the initial pH value on the fermentation of thermostable *S. cerevisiae*

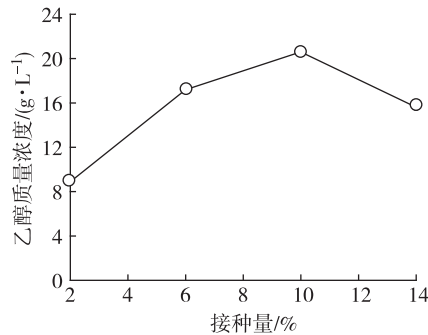


图 6 接种量对耐高温酿酒酵母发酵的影响

Fig.6 Effect of the inoculation amount on the fermentation of thermostable *S. cerevisiae*

通过以上发酵条件的优化,较优的发酵条件为:温度 30 ℃、转速 150 r/min、初始 pH 值 5.0、接种量 10 %。

2.4 水解液发酵制取乙醇的探索性试验

水解液发酵培养基经耐高温酿酒酵母发酵 3 d 后,气相色谱分析知,乙醇质量浓度为 0.1 g/L,基本无乙醇生成。究其原因,原料水解液中含有甲酸、乙酸、糠醛等对发酵制取乙醇有抑制作用的物质。该酿酒酵母不能直接用于水解液发酵,还需要经过驯化后方能使用。在后续的驯化中,可逐步增加培养基中水解液的含量,分批次进行,以提高其耐受抑制剂能力;或对菌种做进一步的改良,用诱变育种、代谢控制育种、杂交育种、基因工程育种等方法,以期提高乙醇得率和糖转化率。

3 结 论

3.1 通过对比酿酒酵母、依哈塔假丝酵母、嗜单宁管囊酵母、好食脉孢菌与间型脉孢菌等 5 种菌种的发酵性能,酿酒酵母种液制备时间最短(对数生长期在 6 ~ 13 h),在以葡萄糖为单一碳源的发酵中乙醇得率最高,可考虑用于水解液发酵。

3.2 对酿酒酵母经过逐步提高温度的驯化,筛选出了一株可在 42 ℃ 下生长良好的菌株。

3.3 通过对耐高温驯化后酿酒酵母发酵条件的优化,较优的发酵条件为:温度 30 ℃、转速 150 r/min、初始 pH 值 5.0、接种量 10 %。

3.4 该耐高温驯化后的酿酒酵母不能直接用于水解液发酵制乙醇,还需要经过驯化或菌种改良后方能使用。

参考文献:

- [1] HAHN-HÄGERDAL B, GALBE M, GORWA-GRAUSLUND M F, et al. Bio-ethanol—the fuel of tomorrow from the residues of today [J]. Trends in Biotechnology, 2006, 24(12): 549–556.
- [2] DIEN B S, COTTA M A, JEFFRIES T W. Bacteria engineered for fuel ethanol production: current status [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2003, 63(3): 258–266.
- [3] ZALDIVAR J, NIELSEN J, OLSSON L. Fuel ethanol production from lignocellulose: a challenge for metabolic engineering and process integration [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2001, 56(1/2): 17–34.
- [4] 刘荣厚, 梅晓岩, 颜涌捷. 燃料乙醇的制取工艺与实例 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 1–16.
- [5] 郭春叶, 龚月生, 刘林丽, 等. 酵母菌生长曲线的测定及其转葡萄糖苷酶基因重组菌遗传稳定性的检测 [J]. 安徽农业科学, 2007, 35(7): 1909–1910.
- [6] 华子安, 田亚平, 金其荣. 选育耐高温酿酒酵母的研究 [J]. 酿酒, 2003, 30(3): 37–39.
- [7] 曾云中, 吴雪昌, 金珊, 等. 耐高温酿酒酵母的选育 II. 菌株的选育及产酒发酵特性初探 [J]. 杭州大学学报: 自然科学版, 1992, 19(3): 327–335.
- [8] 宋瑶, 缪礼鸿, 高素芹, 等. 耐高温酒精酵母菌株的筛选及发酵能力比较 [J]. 中国酿造, 2009(5): 38–41.
- [9] 张嘉, 沈丹虹, 郑晓冬. 1 株高产油脂酵母菌株的诱变选育及其发酵条件研究 [J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2009(5): 497–502.
- [10] 彭林才, 陈元彩, 付时雨. 酵母发酵条件的优化及其发酵造纸污泥产乙醇 [J]. 食品与发酵工业, 2009(5): 1–5.
- [11] AMBATI P, AYYANNA C. Optimizing medium constituents and fermentation conditions for citric acid production from palmyra jaggery using response surface method [J]. World Journal Microbiology and Biotechnology, 2001, 17(4): 331–335.

欢迎订阅 2011 年的下列期刊

《中国林副特产》(双月刊)是应用技术性科技期刊,被“中国学术期刊(光盘版)”、“中国期刊网”全文数据库、“万方数据——数字化期刊群”、“中文科技期刊数据库(全文版)”、“中国核心期刊(遴选)数据库”、“中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊)”收录。

主要报道:山野菜、中草药、果树、油料、香料、蜜源等林区特产经济植物的调查、保护、开发种植和加工;野生动物的调查、养殖、加工;食用菌的引种、栽培、加工;林区农作物种植;园林绿化;林业多种经营管理经验;科技信息等。

大 16 开,双月 20 日出版。国内外公开发行,全国各地邮局均可订阅,也可直接向编辑部订阅。**邮发代号:**14–202。每册定价 8.00 元,年价 48.00 元。**国外发行:**中国国际贸易总公司(北京市 399 信箱),代号:Q4107。

地址:157011 黑龙江牡丹江市爱民区北山街 15 号;**电话:**0453–6527409;**传真:**0453–6528052;**http:**://www. flsic.com;**E-mail:** zgfltc@sohu. net。

《林业科学研究》(双月刊)是由中国林业科学研究院主办的营林科学综合性学术刊物。主要任务是及时反映以中国林科院为主的营林科学最新研究成果、学术论文和研究报告、科技动态和信息等,促进国内外学术交流,开展学术讨论,繁荣林业科学,更好地为我国林业建设服务。主要内容:林木种子、育苗造林、森林植物、林木遗传育种、树木生理生化、森林昆虫、资源昆虫、森林病理、林木微生物、森林鸟兽、森林土壤、森林生态、森林经营、森林经理、林业遥感、林业生物技术及其它新技术、新方法,并增加林业发展战略、学科发展趋势、技术政策和策略等,适于林业及相关学科的科技人员、院校师生、领导和管理人员、基层林业职工等阅读。

连续被列为中国自然科学核心期刊,入选了中国科学技术期刊文摘 CSTA 数据库(英文版)、《中国学术期刊(光盘版)》和“中国科学引文数据库”,加入了“万方数据——数字化期刊群”;被“中国生物学文献数据库”、“中国林业科技文献库”、“中国期刊全文库”、“中国科技期刊文献(维普)库”、“中国科技文献(万方)库”等国内刊库列为重要的文献源期刊。

该刊被俄罗斯《文摘杂志》、CAB(英联邦农业和生物科学文摘)、AGRIS(联合国粮农组织书目)、BA(美国生物学文摘)、ZR(英国《动物学记录》)、美国《剑桥科学文摘社网站:土木工程文摘》(CSA:CEA)、美国《剑桥科学文摘社网站:污染文摘》(CSA:POLL)和 Forestry ABS、Forest Product ABS、Agris ABS、GA《地质文摘》等国外大型刊库收录。1992 年以来,连续被美国《生物学文摘》收录。

国内外公开发行,**邮发代号:**80–717,每期 15.00 元,全年 90.00 元,全国各地邮局均可订阅。港澳台及国外读者可到中国国际图书贸易总公司订阅(北京 399 信箱,邮编 100044),**国外代号:**BM4102。也可直接向编辑部订阅。订费汇到:100091 北京 1958 信箱 中国林科院林业研究所《林业科学研究》编辑部,并注明订购本刊款项;银行汇款,开户名:中国林业科学研究院林业研究所;开户银行:北京海淀农行营业室;账号:11050101040034493。**电话:**(010) 62889680;**E-mail:** lykxyj@caf. ac. cn;**http:**://www. lykxyj. com。