

文章编号 :1009-038X(2003)04-0001-06

酒精浓醪发酵联产乳酸化饲料新工艺

吴天祥, 杨海龙, 石贵阳, 章克昌
(江南大学 生物工程学院, 江苏 无锡 214036)

摘要:以玉米为原料,耐高温耐高酒精度的活性干酵母为发酵剂进行浓醪酒精发酵实验,对糖化发酵工艺过程中酒精度、总糖、还原糖、酸度以及 CO₂ 失重等指标的过程变化进行了研究,并利用一株嗜酸乳酸杆菌,以酒糟为基质进行酒糟混合料的乳酸发酵实验。结果表明:玉米原料经酒精浓醪发酵 60 h 后,玉米发酵醪中酒精体积分数达 12.8%,残总糖质量分数为 3.46%,残还原糖质量分数为 0.19%,淀粉利用率 89.88% 以上。酒糟混合料接种乳酸菌,33 ℃ 条件下发酵 15 d,发酵后酒糟混合料水分质量分数为 53%,粗蛋白质量分数 18.62%,粗脂肪质量分数 3.32%,粗纤维质量分数 3.95%,17 种氨基酸质量分数达 18.3%,乳酸质量分数 1.93%,每克酒糟发酵料含乳酸菌菌数为 4.2×10^7 个,达到所设计乳酸菌菌数的要求。

关键词:酒精;浓醪发酵;乳酸发酵;酒糟

中图分类号:TS 261

文献标识码:A

A Novel Technology on Production of Ethanol by High Gravity Fermentation and Feedstuff by Lacti-transformation

WU Tian-xiang, YANG Hai-long, SHI Gui-yang, ZHANG Ke-chang
(School of Biotechnology, Southern Yangtze University, Wuxi 214036, China)

Abstract: In this paper, the high-gravity-fermentation from corn by Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF) using TH-AADY was conducted, and the time course of the parameters such as ethanol concentration, total sugar, reduce sugar, acid concentration and CO₂ during simultaneous saccharification and fermentation were studied. The lactic acid fermentation by strain of *L. acidophilus* using the vinasse materials as substrate were also investigated. The results showed the followings: after 60 h of HGF, ethanol concentration in the corn broth reached to 12.8%; the residual total sugar and reduce sugar were of 3.46% and 0.19%, respectively; and the utilization ratio of the starch was above 89.88%. The vinasse materials were inoculated with *L. acidophilus*, and then fermented for 15 d at 33 ℃. The final fermented vinasse materials contained 53% of water, 18.62% of crude protein, 3.32% of crude fat, 3.95% of crude fiber, a total of 18.3% amino acid with 17 different species, number of organisms per g mixed vinasse material of 4.2×10^7 , and Lactic acid concentration of 1.93%.

Key words: ethanol; high-gravity-fermentation (HGF); lactic acid fermentation; vinasse

收稿日期 2003-04-18; 修回日期 2003-05-20.

基金项目 国家十五科技攻关项目(2001BA501A01)资助课题.

作者简介 吴天祥(1965-),男(布依族),贵州贵阳人,副教授,发酵工程博士研究生.

当前,阻碍我国燃料酒精工业规模发展的三大难点是原料、成本和污染。因此研究开发发酵酒精生产新资源,研究高效、节能、节粮和无污染的酒精生产新工艺及联产饲料的新工艺,大幅度地降低发酵酒精生产成本,将是我国发酵工程界和酒精工业(特别是燃料酒精产业)21世纪前10年的主要发展方向^[1,2]。随着我国经济的快速发展,能源短缺问题日益加重。据统计,2002年我国实际进口原油7000万t。与此同时,我国的农副产品相对过剩,导致农民收入下降,其中玉米在农副产品中占有重要的位置,玉米是配合饲料中的主要原料。目前我国饲料年总产量达到7500万t,饲料工业总产值约为2000亿元人民币。根据规划,到2010年,全国饲料工业配合饲料产量1亿t,浓缩饲料1200万t,添加剂预混合饲料500万t^[3]。酒精联产发酵饲料新工艺研究的主要内容就是:将配合饲料产量1亿t中所需20%的玉米原料即2000万t用于酒精发酵,可生产800万t酒精,同时产生的6400万t的酒糟则与80%的玉米原料即8000万t混合后进行乳酸发酵混合饲料的生产,产量可达15000万t,该饲料经过发酵后,其营养成分丰富,氨基酸分配合理,适口性好,而且无需干燥即可长期保持,成本低,质量稳定。因此,酒精联产乳酸发酵饲料新工艺将促进我国燃料酒精工业、农业、饲料工业以及畜牧业的偶联发展,一方面部分解决了燃料酒精生产的原料来源,实现酒糟的无污染利用,保护了环境,同时大幅度降低酒精生产的总体成本;另一方面,酒糟乳酸发酵饲料的开发是对我国微生物饲料的丰富和发展,其合理的营养配比,良好的适口性,可长期保存的优点将推动我国饲料工业以及畜牧业的生态化发展,一定程度上消除了阻碍酒精工业规模化发展的原料、成本和污染三大问题。

作者对玉米原料酒精浓醪发酵过程中酒精度、总糖、还原糖等指标的变化规律进行了研究,简化了酒精生产的工艺,降低生产过程能耗,综合利用酒糟废液,控制发酵醪中残总糖质量分数在2%~3%的范围内,为酒糟的二次利用提供充足的碳源和营养供应,实现酒精联产饲料的低能耗、无污染的生态工业模式。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 菌种 TH-AADY 耐高温酒精活性干酵母:湖北安琪酵母股份公司生产;乳酸发酵菌种:嗜酸乳杆菌(*L. acidophilus*),作者所在实验室保藏。

1.1.2 酶制剂 α -淀粉酶(酶活力20000 U/mL)和糖化酶(酶活力100000 U/mL),均由无锡星达生物工程有限公司提供。

1.1.3 乳酸培养基

1)活化培养基(组分 g/dL):葡萄糖1,胰蛋白胨1,酵母膏0.5,柠檬酸铵0.2,乙酸钠1.5, KH_2PO_4 0.6, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.1, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.003, $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 0.0015,吐温-80 0.1, pH 5.5, 0.1 MPa 下灭菌15 min。

2)酒糟液体培养基(组分 g/dL):葡萄糖1,蛋白胨0.5, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.5, KH_2PO_4 0.1, NaCl 0.5, 酒糟100 mL, pH 5.5, 0.1 MPa 下灭菌15 min。

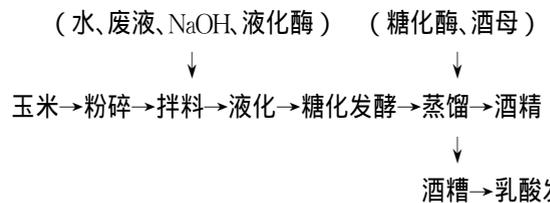
1.1.4 原料

1)玉米:未脱皮脱胚即直接粉碎,细度30目,淀粉质量分数60.85%,水分质量分数12%,由无锡某饲料公司提供。

2)酒糟混合料:酒糟、玉米、其他辅料等,作者所在实验室提供。

1.2 实验方法

1.2.1 浓醪发酵工艺流程



1.2.2 酒精浓醪发酵试验 按作者所在实验室酒精浓醪发酵工艺操作规程进行^[5~7]。

1.2.3 酒糟乳酸菌培养液 将活化好的菌种接种于250 mL三角瓶中,每瓶装液量为100 mL,37℃恒温静置培养48~72 h,作为酒糟混合料乳酸发酵种子备用。

1.2.4 酒糟混合料乳酸实验 将制备的酒糟乳酸菌培养液以体积分数5%的接种量接种至酒糟混合料中,搅拌均匀后,装入200 mL广口瓶中,密封于30℃恒温箱中进行酒糟混合料乳酸发酵,25 d后取样进行发酵指标分析。

1.3 分析方法

1.3.1 浓醪发酵分析方法

1)酒精体积分数的测定:将100 mL发酵醪转入500 mL圆底烧瓶中,加入100 mL蒸馏水一起蒸馏,取100 mL馏出液,用酒精计和温度计测定其酒精度和温度,然后查表换算为实际酒精体积分数。

2)总糖和还原糖的测定:总糖是将蒸馏后的残液用6 mol/L HCl溶液水解^[9]并中和后,采用DNS

法测定^[8] 还原糖采用 DNS 法测定^[8]。

3) 酵母细胞数的测定 : 血球计数板法。

1.3.2 酒糟发酵分析方法

1) 酒糟液体培养乳酸菌 取培养液与生理盐水混合后用分光光度计于 600 nm 测定 OD 值 绘制乳酸菌生长曲线。

2) 酒糟发酵料成分分析 粗蛋白分析采用 Foss Fecator 公司 2006Digestor 和 2300Kjeltec 自动分析仪 氨基酸分析采用日立 H825-50 氨基酸自动分析仪 其他指标采用常规分析。

3) pH 值测定 : pHS-3TC 酸度计测定法。

4) 乳酸菌计数 : 采用倾注平板法。

5) 乳酸质量分数测定 : 气相色谱法^[10]。

2 结果与讨论

2.1 先糖化后发酵工艺与糖化发酵工艺的比较

通过 CO₂ 失重实验 先糖化后发酵工艺与糖化发酵工艺对酒精浓醪发酵的影响见表 1。

表 1 不同糖化发酵工艺对发酵的影响

Tab.1 Fermentation effect of different technology

工艺	50 g CO ₂ 失重量/g					发酵醪酒精体积分数/%
	12 h	24 h	36 h	48 h	60 h	
工艺 1	5.1	10.0	13.8	15.5	16.2	12.3
工艺 2	4.7	9.4	13.0	15.9	16.8	12.8

从表 1 可见 工艺 1 为先糖化后发酵工艺 其发酵 60 h 的 CO₂ 失重量为 16.2 g 而发酵醪的酒精体积分数为 12.3% ; 采用边糖化边发酵的工艺 2 的 CO₂ 失重量为 16.8 g 最后发酵醪的酒精体积分数达到 12.8% 。实验表明发酵醪中过高的糖质量分数抑制了酵母的代谢 阻碍 CO₂ 的逸出 因此采用边糖化边发酵工艺可以在一定程度上缓解发酵醪中高糖量对发酵的抑制。

2.2 糖化酶用量对边糖化边发酵 (SSF) 的影响

在进行先糖化后发酵工艺和糖化发酵工艺实验的基础上 又进行了糖化酶用量对 SSF 的影响实验 结果见表 2。

表 2 的数据表明 糖化酶用量在 100~180 U/g 原料范围内 60 h 糖化发酵结束时 各自发酵醪中的酒精体积分数均为 12.8% , 淀粉利用率为 89.88% 即在该范围内 随着糖化酶添加量的增加 对 SSF 的影响并没有明显的表现。同时 当糖化酶添加量增加至 200 U/g 原料时 60 h 后糖化发酵结束时的酒精体积分数仅为 12.5% , 呈下降趋势 ,

其淀粉利用率为 89.35% 。实验表明 :100 U/g 的糖化酶用量已足够了 过多的糖化酶用量 (100 U/g) 反而会影响酒精的出率 其原因可能是初始糖质量分数过高反而抑制了酵母正常增殖。

表 2 糖化酶用量对 SSF 的影响

Tab.2 Effect of SSF on the amount of Glucoamylase

每克原料中糖化酶添加量/U	50 g CO ₂ 失重量/g					发酵醪酒精体积分数/%
	12 h	24 h	36 h	48 h	60 h	
100	11.8	13.6	15.6	19.3	21.4	12.8
150	12.8	15.1	17.1	19.6	21.1	12.8
180	12.4	14.8	17.0	19.7	21.5	12.8
200	13.2	15.9	17.9	19.9	21.4	12.5

2.3 SSF 过程发酵醪中还原糖和总糖的变化

图 1 表明 糖化发酵开始时的总糖质量分数为 21.18% ,60 h 发酵结束时残总糖质量分数为 3.42% 残还原糖质量分数为 0.20% 。24 h 后还原糖和总糖的降低幅度基本一致 说明系统中边糖化边发酵 处于平衡状态 故该工艺条件是可行的。

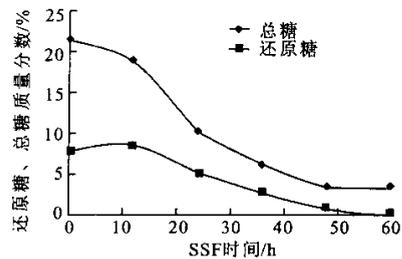


图 1 SSF 过程还原糖总糖变化曲线

Fig.1 Change curve of RS and TS in SSF

2.4 SSF 过程中酵母总数和酒精体积分数的变化

图 2 说明 经过复水和活化好的活性干酵母在边糖化边发酵系统中充分表现出繁殖和代谢的双重优势 可以满足玉米原料酒精发酵的需要 另外发酵至 60 h 时 其酒精体积分数变化曲线趋于平衡 发酵基本结束。

2.5 酒糟混合料的制备

酒精浓醪发酵后所得的酒糟中残总糖质量分数为 3.42% 还原糖质量分数为 0.19% 此外还含有蛋白质、脂肪、纤维素、矿物质和微生物菌体等营养物质 其中 BOD 值为 28 000~35 000 mg/L ,COD 值为 35 000~50 000 mg/L。由于当前酒糟除用于生产 DDGS 饲料外 (设备投资过大 生产成本高 不适宜在我国推广) 相当数量的酒精糟液仍然采用直接排放 不仅使资源大量浪费 而且对生态环境

造成严重的污染^[1].为此,作者以鸡用饲料标准为目标^[11],以蛋白质、脂肪、纤维素和氨基酸为指标,设计了鸡用乳酸发酵饲料的基本培养基.

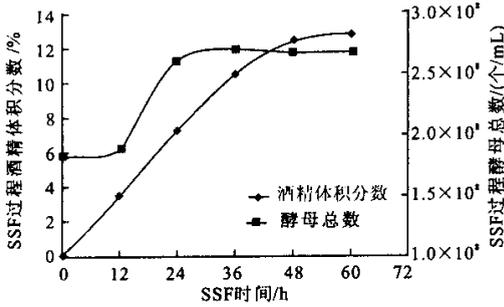


图2 SSF过程酵母总数、酒精体积分数曲线

Fig.2 Curve of total numbers yeast and ethanol concentration during SSF

酒糟混合料的制备:酒精糟液 50 g/dL,玉米 30 g/dL,豆粕 12 g/dL,麸皮 4 g/dL,鸡用预混料 4 g/dL, CaCO₃ 适量.将上述物料混合均匀后即为酒糟混合料,水分质量分数 53%,其化学成分与鸡用混合饲料的化学成分比较见表3.

表3 酒糟混合料与鸡用全价配合饲料的比较(干基计%)

Tab.3 Chemical composition of mixed vinasse material and matching feed for chicker(DM%)

饲料种类	水分 质量 分数/%	粗蛋白 质量 分数/%	粗脂肪 质量 分数/%	粗纤维 质量 分数/%	代谢能/ (Mk/kg)
鸡用全价 配合饲料	11	16.50	2.60	3.90	2.80
酒糟 混合料	53	18.46	3.10	4.10	2.92

注:表3中引用了一种鸡用全价配合饲料的分析值,酒糟混合料为实测值.

从表3看出,利用酒精糟液、玉米、豆粕等物料制备的酒糟混合料,由于吸收了酒糟中的蛋白质、脂肪、纤维素、矿物质和微生物菌体等营养物质,达到了鸡用配合饲料的营养要求^[11].

2.6 乳酸菌种的制备

以浓醪发酵后所得的酒糟滤液为基质,本批滤液中总糖质量分数为 2.05%,还原糖质量分数为 0.19%.为提高乳酸菌种子的活力,使酒糟滤液中种子生长达到最旺盛阶段,在滤液中添加葡萄糖、蛋白胨和酵母膏 3 种营养物质.对照采用乳酸菌液体培养基,结果见图3.

从图3可知,所用的菌种在酒糟滤液中生长情况与在对照培养基中的生长有一定程度的差别,但从工业化可行性和经济成本综合考虑,在以下的实验中均采用酒糟滤液作为乳酸菌种子培养基.实验

结果表明,乳酸菌种子的培养时间为 13 h,每毫升的培养液中含菌数为 5×10^6 个,达到所设计活菌数的要求.

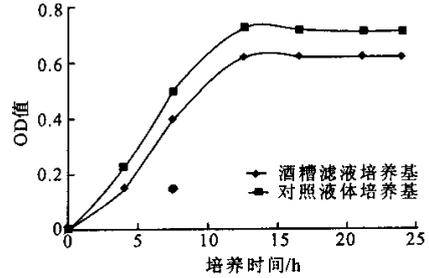


图3 乳酸菌种子培养曲线

Fig.3 Culture curve of LAB seed culture

2.7 酒糟混合料的乳酸发酵

将上述制备好的乳酸菌种子接种于酒糟混合料中搅拌均匀后,转入厌氧反应器中于 30 ℃ 进行乳酸发酵,15 d 后发酵结束.酒糟混合料乳酸发酵前后还原糖、总糖和酸度的变化见表4,酒糟混合料乳酸发酵过程中总糖的消耗与乳酸的形成见图4.

表4 酒糟混合料发酵前后的还原糖、总糖、酸度比较

Tab.4 RS,TS,Acidity, and lactic acid concentration of the mixed vinasse materials before and after fermenting

发酵 过程	还原糖 质量分 数/%	总糖质 量分数/ %	酸度	乳酸 质量分 数/%
酒精糟液	0.19	3.46	0.72	0.17
发酵前 酒糟混合料	2.06	27.68	0.46	0.23
发酵后 酒糟混合料	0.42	23.15	1.15	1.93

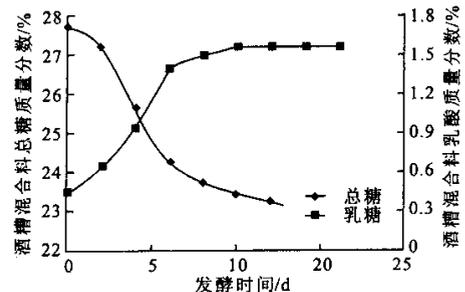


图4 酒糟混合料乳酸发酵过程变化

Fig.4 Change of lactic acid concentration and TS in the mixed vinasse material during fermentation

表4和图4表明,酒糟混合料经过乳酸发酵 15 d 后,总糖质量分数从 27.68% 下降到 23.15%;乳酸质量分数从 0.23% 提高到 1.93%,15 d 后趋于稳定.

2.8 酒糟混合料接种乳酸菌与自然乳酸发酵的比较

以酒糟混合料为培养基,进行了酒糟混合料接种乳酸菌发酵和自然乳酸发酵的实验,考察了发酵过程中乳酸菌菌数、pH 值和乳酸质量分数等指标的变化,结果见表 5。

表 5 酒糟混合料发酵过程中发酵指标的变化

Tab.5 Change of fermentation index in the mixed vinasse material during fermentation

发酵时间/d	未接种乳酸菌的自然发酵			接种乳酸菌的乳酸发酵		
	乳酸菌数/个	pH 值	乳酸质量分数/%	乳酸菌数/个	pH 值	乳酸质量分数/%
1	1.6×10^3	6.0	0.23	3.5×10^5	6.0	0.23
2	1.8×10^4	5.8	0.31	2.2×10^7	5.5	0.45
3	2.0×10^4	4.9	0.61	5.1×10^8	4.6	1.12
5	2.7×10^5	4.6	0.76	5.5×10^8	4.5	1.66
7	4.3×10^5	4.3	0.82	4.6×10^7	4.1	1.85
10	5.5×10^5	4.2	0.82	4.1×10^7	4.0	1.93
15	6.1×10^5	4.2	0.82	4.2×10^7	4.0	1.93

从表 5 可看出,接种乳酸菌的酒糟混合料乳酸发酵指标优于酒糟混合料的自然发酵,而且未经接种的酒糟混合料发酵后的气味怪异,呈现杂菌发酵的特征.实验结果表明,酒糟混合料接种乳酸菌发酵 15 d 后,乳酸菌数达到 4.2×10^7 个/g 混合料,pH 值为 4.0,并且经乳酸菌发酵后的酒糟混合料由于乳酸化作用可以达到长期保存的目的^[12,13].

2.9 发酵前后酒糟混合料的营养成分比较

酒糟混合料乳酸发酵前后的营养成分变化见表 6、7。

表 6 发酵前后酒糟混合料的化学成分变化

Tab.6 Change of chemical composition in the mixed vinasse material before and after fermenting

发酵过程	粗蛋白质量分数/%	粗脂肪质量分数/%	粗纤维质量分数/%	钙质质量分数/%	总磷质量分数/%	食盐质量分数/%
发酵前	18.46	3.10	4.10	3.52	0.66	0.25
发酵后	18.62	3.32	3.95	3.46	0.68	0.23

从表 6 可看出,酒糟混合料发酵前后的化学成分指标均达到我国鸡用混合饲料的标准.其中,蛋白质质量分数基本变化不大,说明酒糟混合料经过乳酸化作用后,其总氮含量没有损失,有效地保持了酒糟混合饲料的蛋白质水平。

从表 7 可看出,配合饲料中所要求的 17 种氨基酸指标在酒糟混合料乳酸化作用后,其氨基酸质量分数均有较大的增幅(40.8%),氨基酸质量分数从 13% 增加到 18.30%.其中,对禽畜生长发育有促进作用的谷氨酸、蛋氨酸和赖氨酸^[14]的质量分数增幅分别达到 48.2%、71.4% 和 25%.结合表 6、7 分析,酒糟混合料经乳酸菌的乳酸化作用后,混合料中的总氮基本没有变化,但含氮物质的形式却发生了变化,主要表现为氨基酸总量和必要氨基酸质量分数的增加^[15],说明酒糟混合饲料的质量得到了提高,而且乳酸化效果明显。

表 7 氨基酸分析及变化幅度

Tab.7 Analysis and value changes of Amino acid before and after fermenting

氨基酸种类	发酵前质量分数/%	发酵后质量分数/%	增幅/+(-)	氨基酸种类	发酵前质量分数/%	发酵后质量分数/%	增幅/+(-)
天冬氨酸	1.50	2.17	+44.7	胱氨酸	0.08	0.14	+75
谷氨酸	2.53	3.75	+48.2	缬氨酸	0.64	0.76	+18.9
丝氨酸	0.63	1.00	+58.7	蛋氨酸	0.21	0.36	+71.4
组氨酸	0.35	0.41	+17.1	苯丙氨酸	0.68	0.90	+32.3
甘氨酸	0.53	0.83	+56.6	异亮氨酸	0.58	0.63	+8.6
苏氨酸	0.53	0.71	+33.9	亮氨酸	1.29	1.89	+46.5
丙氨酸	0.73	1.26	+72.6	赖氨酸	0.60	0.75	+25
精氨酸	0.78	0.82	+5.1	脯氨酸	0.92	1.37	+48.9
酪氨酸	0.43	0.55	+27.9				

3 结 论

1) 实验采用的玉米原料粉碎度为 30~40 目, 发酵 60 h 后的酒精体积分数达到 12.8%, 淀粉利用率达到 89.88%, 残总糖质量分数为 3.42%, 还原糖质量分数为 0.19%, 达到实验设计的要求; 发酵残总糖虽然高一些, 但有利于该酒糟混合饲料的乳酸发酵。

2) 由于采用糖化发酵 (SSF) 工艺, 在工业化生产上可减少糖化工序所需要的设备投资, 同时达到了简化酒精生产工艺的目的。

3) 利用一株嗜酸乳杆菌经酒糟滤液培养后对酒糟混合料进行了乳酸化作用。实验表明, 发酵 15 d 后, 乳酸菌对酒糟混合饲料的乳酸化作用显著, 混合饲料的 pH 值达到 4.0, 乳酸菌数达到 4.2×10^7

个/g 混合料, 乳酸质量分数为 1.93%。由于大量乳酸菌的存在及乳酸质量分数的大幅度增加, 使乳酸发酵饲料可以在不干燥、嫌气情况下长时间贮存, 而且其风味独特, 对禽畜更具适口性。

4) 酒糟混合料乳酸发酵实验发现, 混合饲料中的总氮质量分数基本没有变化, 但有机氮质量分数增加。另外对禽畜生长发育有促进作用的谷氨酸、蛋氨酸和赖氨酸的质量分数增幅分别达到 48.2%、71.4% 和 25%, 表明乳酸菌发酵使酒糟混合饲料的质量得到提高。

5) 酒精浓醪发酵联产乳酸发酵饲料及其乳酸化新工艺的研究为立足环境, 保护和实现燃料酒精生产可持续发展提供一个低能耗、无污染的生态工业模式, 为我国燃料酒精产业和饲料工业的偶联发展提供了可行的工艺路线。

参考文献:

- [1] 章克昌. 酒精与蒸馏酒工艺学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1998.
- [2] 章克昌. 21 世纪我国燃料酒精发展的展望[J]. 无锡轻工大学学报, 1998, 17(50-51): 63.
- [3] 饶应昌, 庞声海. 非谷物饲料生产新技术[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2002.
- [4] 章克昌, 石贵阳, 徐柔, 等. 一种酒精浓醪发酵技术[P]. 中国专利: 96117189, 1996-08-02.
- [5] 章克昌. 固态发酵工艺的研究[J]. 无锡轻工大学学报, 1999, 18(6): 130-133.
- [6] 王晓霞. 瓜干原料酒精浓醪发酵工艺研究[D]. 无锡: 无锡轻工大学, 2000.
- [7] 庞钦. 酒精浓醪发酵酒糟液生产乳酸的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2002.
- [8] 张龙翔, 张庭芳. 生化试验方法和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 1987.
- [9] 蔡定域. 酿酒工业分析手册[M]. 北京: 中国轻工出版社, 1988.
- [10] Husek P. Improved procedure of the derivatization and gas chromatographic determination of hydroxycarboxylic acids treated with chloroformates[J]. J Chromatogr A, 1993, 630(2): 429-437.
- [11] 王和民. 配合饲料配制技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 1990.
- [12] 余伯良. 发酵饲料生产与应用新技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- [13] Ashbell G, Weinberg Z G, Hen Y, et al. The effects of temperature on the aerobic stability of wheat and corn silages[J]. Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology 2002, 28(5): 261-263.
- [14] 李丽立, 杨坤明. 现代生物技术与畜牧业[M]. 北京: 科学出版社, 2002. 222-236.
- [15] Driehuis F, Elferink S J W H Oude, Van Wikselaar P G. Fermentation characteristics and aerobic stability of grass silage inoculated with *Lactobacillus buchneri*, with or without homofermentative lactic acid bacteria[J]. Grass & Forage Science 2001, 56(4): 330-343.

(责任编辑: 李春丽)