

液态法发酵薏仁碎米食醋的研究

张玉梅^{1,2}, 卢红梅^{1,2,*}, 苏佳^{1,2}, 陈莉^{1,2}

(1. 贵州大学酿酒与食品工程学院, 贵州贵阳 550025;

2. 贵州大学贵州省发酵工程与生物制药重点实验室, 贵州贵阳 550025)

摘要:以薏仁加工副产品薏仁碎米为原料,采用液态法研发食醋。通过单因素实验和正交实验,对糖化、醋酸发酵阶段进行条件优化。结果表明,薏仁碎米破碎度为60~80目、料水比为1:4(g/mL)、糊化前添加酸性蛋白酶(0.2 g/kg)糖化的效果最优;醋酸发酵阶段的最优条件为静置、发酵温度32℃、接种量12%、装液量25%。得到的薏仁碎米食醋总酸含量为6.46 g/100 mL,具有薏仁碎米特有的香气,酸味较柔和,醋液体态澄清。

关键词:薏仁碎米,液态发酵法,食醋

Study on liquid fermentation of broken coix seed vinegar

ZHANG Yu-mei^{1,2}, LU Hong-mei^{1,2,*}, SU Jia^{1,2}, CHEN Li^{1,2}

(1. School of Liquor and Food Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China;

2. Guizhou Key Laboratory of Fermentation Engineering and Biopharmacy, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: Broken coix seed, by-product of coix seed processing, was used as raw material of vinegar by liquid fermentation. The conditions of saccharification and acetic acid fermentation were optimized by single factor test and orthogonal test. The results showed that the optimal saccharification conditions were as follow: broken coix seed was crushed into 60~80 mesh further, the ratio of material to water was 1:4 (g/mL) and acid protease was added before saccharification. The optimal conditions for liquid acetic acid fermentation were static, temperature 32℃, inoculation amount 12% and loading volume 25%. Finally, total acid content of broken coix seed vinegar was 6.46 g/100 mL, typical-coix seed aroma, softer and clarification.

Key words: broken coix seed; liquid fermentation; vinegar

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2017)15-0030-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2017.15.007

据《本草纲目》、《神农本草经》等医籍记载,薏仁米具有健脾胃、祛风湿、消水肿、强筋骨、清肺等功效^[1-2],中国卫生部1987年10月已将薏仁米列入第一批药食兼用名单^[3-5]。薏仁米可利水渗湿补脾、清热排脓,被誉为“世界禾本科植物之王”,营养、药用价值高,所含的酯类、甾醇类、苯并唑酮类、萜类、木脂素类、酚类、多糖类、生物碱类和腺苷类等药效成分具有抗肿瘤、抗病毒、免疫调节、降血糖血钙、降压等药理功效^[6-9]。目前对薏仁米的加工较为粗放,主要为脱去薏苡仁的壳、麸皮后加工成薏仁米销售^[10-12],产品单一、深加工产品少,且在加工过程中产生的大量薏仁碎米等副产物的回收利用不充分^[13]。在薏仁整米加工过程中产生薏仁米的碎率达30%以上^[14],薏仁碎米不仅与整米的营养价值相近,价格却便宜很多,用薏仁碎米生产食醋,将薏仁米的保健功能引入日常调味品中,也增加新型食醋品种,

既顺应时代潮流,又可引领酿醋行业新风,促进薏仁米深加工领域发展,延伸薏仁米产业链。

根据醋酸发酵形式,将食醋生产分为液态发酵和固态发酵,酶法液态发酵是上世纪发展起来的新工艺,发酵时间短、原料利用率高、出品率高、生产效率高,适合现代化大批量生产^[15-16]。以传统食醋生产为主的固态发酵原料组成丰富、发酵时间长、微生物种类多、产品品质高、风味好,深受大众喜爱^[17]。食醋的固态发酵工艺根据酒精与醋酸发酵方式又分为液固和固固两大类,传统液固发酵包含以山西老陈醋和保宁麸醋为主的食醋生产,新型液固发酵食醋综合了固态发酵和酶法液态发酵的特点,生料制醋多数体现的是固固食醋发酵工艺^[18-20]。本研究中薏仁碎米液态发酵食醋的主要工艺步骤有蛋白酶解、糊化、液化、糖化、酒精发酵、醋酸发酵到半成品,主要对糖化、醋酸发酵阶段进行条件优化。

收稿日期: 2017-03-08

作者简介: 张玉梅(1992-),女,硕士研究生,研究方向:制药与发酵工艺, E-mail: 18608514792@163.com。

*通讯作者: 卢红梅(1967-),女,博士,教授,从事酿酒工程、发酵工程、酶工程、食品生物技术等方面的教学与研究工作, E-mail: hongmeilu0826@126.com。

基金项目: 贵州省科技计划(重大专项)黔科合重大专项字[2014]6023子课2-1项目;贵州省科技厅、贵州大学联合资金计划项目(黔科合 LH 字[2014]7674)。

1 材料与方法

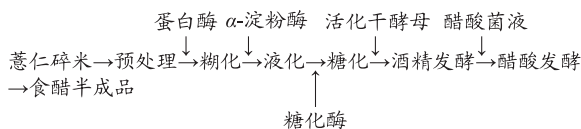
1.1 材料与仪器

薏仁碎米 为贵州兴仁县产纯种小薏苡仁,由贵州兴仁县贵州兴诚华英食品有限公司提供;活性干酵母 安琪酵母股份有限公司;薏仁米、大米 市售;葡萄糖、蔗糖、酵母膏 购于天津市瑞金特化学药品有限公司,均为分析纯;糖化酶(3700 U/g)、 α -淀粉酶(4000 U/g) 购于北京索莱宝科技有限公司;酸性蛋白酶(5万 U/g)、中性蛋白酶(10万 U/g)、碱性蛋白酶(20万 U/g) 购于江苏瑞阳生物科技有限公司;硫酸镁、硫酸亚铁铵、硫酸、重铬酸钾、磷酸二氢钾、乙醇、碘、氢氧化钠、乙酸锌、冰乙酸、亚铁氰化钾、石油醚、亚甲基蓝、酒石酸钾钠,均为分析纯。

JYZ-13521 高速组织捣碎机 九阳股份有限公司;PHs-3C 数显酸度仪 上海虹益仪器仪表有限公司;K9840 自动凯氏定氮仪 济南海能仪器股份有限公司;220 V.AC1000 W 万用电炉 天津市泰斯特仪器有限公司;101-1 电热干燥箱 北京科伟永兴仪器有限公司;HH-b 型数显恒温水浴锅 常州奥华仪器有限公司;FA2004N 精密电子天平 上海菁海仪器有限公司;THZ-92C 台式恒温振荡器 上海浦东物理光学仪器厂;SPA-250 生化培养箱 上海恒丰仪器仪表有限公司;JNL-17XB 箱式高温电炉 洛阳力宇窑炉有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 工艺流程



1.2.2 操作要点 薏仁预处理:将薏仁碎米淘洗至水清后,烘干、除杂、粉碎,细度要求在 60~80 目之间,按料水比 1:4 (g/mL)加蒸馏水。

蛋白酶处理:添加蛋白酶在 40 ℃, pH3.0 的条件下酶解 3 h。

糊化及液化:将蛋白酶处理液置于沸水浴加热糊化,在稍高于 95 ℃ 条件下加入 α -淀粉酶(酶活 4000 U/g,按 2 g/100 g 加入),调 pH 为 6.5,液化 3 h。

糖化:在 55 ℃ 时加入糖化酶(酶活为 3700 U/g,按 2.5 g/100 g 加入),调 pH 为 4.5,糖化 2.5 h。

酒精发酵:称取原料 0.1% 的安琪活性干酵母,置于 5% 的蔗糖溶液中,配制成 10 g/100 mL 的酵母活化液,在 30 ℃ 下活化 30 min 后加入到制备好的糖化醪中。初始发酵液按容器的 70%~80% 进行装液,用保鲜膜封口后,30 ℃ 条件下发酵 3 d 左右。发现气泡变少,上层液体由混浊变澄清时说明酒精发酵结束,过滤除去发酵液中的酵母菌及杂质,得到成熟的酒精发酵醪^[6]。

醋酸发酵:用无菌蒸馏水调节上述酒精发酵醪的酒精度为 8%;静置条件下接入 12% 新鲜醋酸菌种子液,发酵温度 32 ℃,装液量 25%,每隔 24 h 取一瓶发酵液测定酸度,直到酸度不再增加或略有下降

为止^[6]。

1.2.3 单因素分析 分别考察了破碎度、料水比、蛋白酶 3 个因素对糖化效果的影响和醋酸发酵温度、醋酸菌接种量、装液量 3 个因素对发酵总酸的影响,每个实验做 3 次平行,并确定各因素较优的水平。

1.2.4 正交实验条件的选择 基于单因素影响效果,按表 1 选用 $L_9(3^4)$ 来进行正交实验,以总酸含量作为衡量指标,因素及水平见表 1。

表 1 正交设计实验条件

Table 1 The condition of perpendicularity designed

水平	因素		
	A 发酵温度 (℃)	B 接种量 (%)	C 装液量 (%)
1	28	10	20
2	30	12	25
3	32	14	30

1.2.5 数据处理 实验所得的数据用 Excel 2007 处理软件建库,采用 SPSS 17.0 统计分析软件进行分析处理、Origin 7 作图软件作图。

1.3 测定方法

1.3.1 蛋白质含量测定 参照 GB/T 5511-2008 谷物和豆类氮含量测定和粗蛋白含量计算中凯氏定氮法对蛋白质含量进行测定。

1.3.2 淀粉含量测定 参照 GB/T 5514-2008 粮油检验 粮食、油料中淀粉含量测定中酶水解法对薏苡仁中淀粉含量进行测定。

1.3.3 粗脂肪含量测定 参照 GB/T 5512-2008 粮油检验 粮食中粗脂肪含量测定中索氏抽提法对粗脂肪含量进行测定。

1.3.4 水分含量的测定 参照 GB/T 5497-1985 粮食、油料检验水分测定法中直接干燥法对水分含量进行测定。

1.3.5 灰分含量测定 参照 GB/T 22510-2008 谷物、豆类及副产品灰分含量的测定中高温灰化法对薏苡仁中灰分含量进行测定。

1.3.6 还原糖含量测定 参照 GB/T 5009.7-2008 食品中还原糖的测定中直接滴定法对还原糖含量进行测定。

1.3.7 总酸含量的测定 参照 GB/T 15038-2006 葡萄酒、果酒通用分析方法中的电位滴定法进行测定。

1.3.8 乙醇含量的测定 参考 AOAC 官方 969.12 重铬酸盐氧化法测定葡萄酒中的酒精含量^[21]。

取待测液 1 mL 加到蒸馏装置中,用装有 25 mL、33.768 g/L $K_2Cr_2O_7$ 酸溶液的 50 mL 小锥形瓶液封冷凝管出口,开始蒸馏,当小锥形瓶内的溶液体积约 40 mL,取下锥形瓶,停止蒸馏。将吸收完蒸馏液的锥形瓶置于 60 ℃ 水浴中反应 20~25 min,使乙醇与 $K_2Cr_2O_7$ 反应更彻底。将小锥形瓶中的收集液用蒸馏水冲洗到 250 mL 锥形瓶中,用 $Fe(SO_4)_2(NH_4)_2$ 溶液进行滴定,溶液颜色变为墨绿色后加入 1 mL 邻菲罗啉指示剂,继续滴定并观察颜色从墨绿色刚变为棕黄色时,停止滴定并记录滴定 V。同时用 25 mL,

33.768 g/L $K_2Cr_2O_7$ 做空白滴定,记录读数 V_0 。乙醇含量按下式计算:

$$\text{乙醇含量}(\% \text{ VoL}) = (25.00 - (25 \times V/V_0)) / 25 \times 100$$

2 结果与分析

2.1 薏仁碎米基本组成成分测定

表2分析了薏仁碎米、薏仁米、大米的主要成分,从表2中可以看出,薏仁碎米中粗脂肪和蛋白质含量比薏仁米中低,淀粉含量比薏仁米高,水分和灰分基本一致,而大米中的淀粉含量比薏仁碎米中高,为75.5 g/100 g,大米中蛋白质含量约为7 g/100 g,约是薏仁碎米中蛋白质含量的二分之一,其次大米中脂肪和灰分分别约为0.8 g/100 g和0.6 g/100 g,均低于薏仁碎米中的粗脂肪和灰分的含量;综上所述可知,薏仁碎米中的营养成分比大米丰富,更接近于薏仁米。

表2 薏仁碎米、薏仁米和大米的主要成分(g/100 g)

Table 2 The main component of broken coix seed, coix seed and rice(g/100 g)

项目	蛋白质	淀粉	粗脂肪	水分	灰分
薏仁碎米	14.99	52.32	2.46	12.06	2.13
薏仁米	17.75	49.25	7.18	12.76	2.13
大米	7.0	75.5	0.8	12.4	0.6

2.2 单因素实验

2.2.1 破碎度对糖化效果的影响 分别取未过筛、 ≤ 40 目、40~60目、60~80目、 ≥ 80 目的薏仁粉测定破碎度对糖化效果的影响表明,与薏仁碎米未过筛样品的糖化醪相比,随着薏仁米破碎度的增加,还原糖含量逐渐提高,破碎度为60~80目时还原糖含量增加最为明显,而破碎度 ≥ 80 目时还原糖含量相对于未过筛增加较小,这表明一定范围内破碎度的提高有利于糖化作用,但随着破碎度的进一步提高,原料中所含淀粉转化效率的增加效果不明显,可能是因为,较高的破碎度加大了酶与颗粒的接触面积,增强了酶的降解能力,当破碎度控制在60~80目范围内时,原料中的淀粉大部分已被降解,破碎度的继续增加对还原糖含量的增加效果相对较弱。所以选取薏仁米破碎度为60~80目进行后续实验。

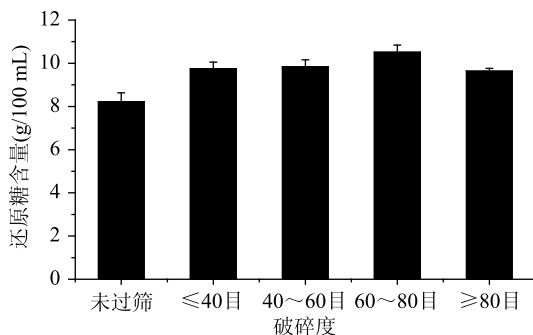


图1 破碎度对薏仁粉还原糖含量的影响

Fig.1 Effect of fragmentation of adlay powder on the reducing sugar content

2.2.2 适宜料水比的选取 分别取薏仁米粉按1:3、

1:4、1:5、1:6、1:7 (g/mL)的比例加入蒸馏水后糖化做不同料水比对糖化效果的影响实验。从图2可知,加水量的多少可以调节糖化醪的还原糖含量,加水越多则糖化醪还原糖含量越低;从图2可知,料水比为1:4 (g/mL)时,所得糖化醪的还原糖含量为10.58 g/100 g,所以选取料水比1:4 (g/mL)进行后续实验。

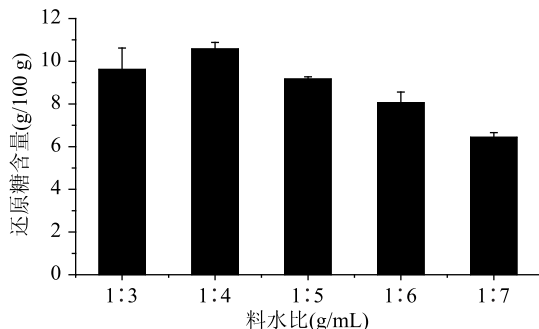


图2 料水比对糖化醪中还原糖含量的影响

Fig.2 Effect of the ratio of material to water on reducing sugar content in sugar mash

2.2.3 蛋白酶对糖化效果的影响 取薏仁粉按比例加入蒸馏水,取一份不加蛋白酶,直接液化糖化制成糖化醪液;取三份在糊化前分别加入酸性蛋白酶、中性蛋白酶和碱性蛋白酶(0.2 g/kg),反应后,经液化糖化,制成糖化醪液;另三份先液化糖化制成糖化醪液,再分别加入酸性蛋白酶、中性蛋白酶和碱性蛋白酶;分别测定上述糖化醪液的还原糖含量。从图3可知,在不添加蛋白酶时,糖化醪的还原糖含量为10.59 g/100 g,在糊化前添加蛋白酶的效果明显优于在糖化完成后的糖化醪中添加蛋白酶的效果,其中酸性蛋白酶的效果最佳,所以在后续实验中选择在糊化前添加酸性蛋白酶。

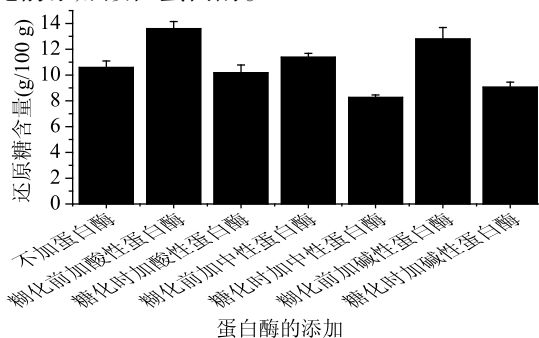


图3 蛋白酶对糖化效果的影响

Fig.3 Effect of protease on saccharification

上述结果也间接验证了薏仁米中蛋白组织的存在一定程度上阻碍了薏仁淀粉的糖化,在糊化前加入蛋白酶,薏仁米中的蛋白组织被蛋白酶分解,使得后续的糊化和淀粉分解作用更加完全,而在糖化醪中添加蛋白酶,此时淀粉酶分解淀粉的反应已经基本完成,所以按常规在糖化后加入蛋白酶对于糖化意义不大。关于糖化时加入蛋白酶条件下的还原糖含量比不加蛋白酶的还原糖含量低,可能是因为蛋白质酶解过程发生羰氨反应消耗部分还原糖所致,具体原因待后期实验探索。

2.2.4 不同发酵方式对薏仁醋酸发酵总酸的影响 不同的发酵方式对醋酸发酵过程有一定影响,在不同的装液量下影响也不相同,选取装液量 20% 和装液量 50% 两种情况下进行发酵方式的实验,实验结果如图 4 所示。

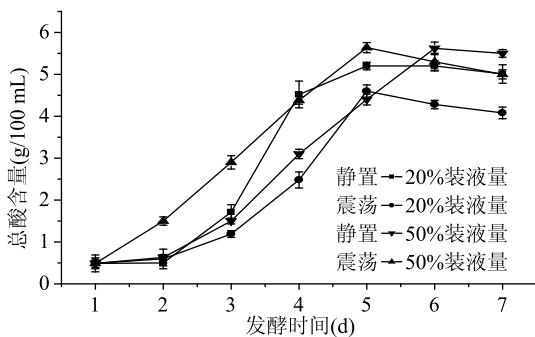


图4 发酵方式对薏仁碎米醋酸发酵总酸的影响
Fig.4 Effects of fermentation methods

on total acid production of acetic acid in broken coix seed

从图 4 可知,在装液量为 20% 的情况下,在发酵第 1 d,因为震荡情况下的溶氧量大于静置的溶氧量,所以震荡发酵比静置发酵产酸速度快,而在后续发酵过程中,静置发酵的总酸均高于震荡发酵的总酸,这可能是因为在装液量为 20% 时,静置发酵的溶氧量已经能够满足醋酸菌的生长,使发酵在较快条件下进行;而在震荡条件下发酵液中的乙醇挥发量大于静置时的乙醇挥发量,醋酸菌所转化的乙醇含量减少,所以测得的最高总酸含量低于静置发酵所测得的最高总酸含量。而当装液量为 50% 时,从图 4 可知,震荡发酵和静置发酵的最高总酸相差不大,但在发酵的前 4 d,震荡发酵所测得的总酸含量均高于静置发酵的总酸含量,从这个结果可以看出,此时静置发酵的溶氧量不能完全满足发酵所需,而在震荡发酵情况下,发酵体系所需的溶氧量得到满足,产酸速率也较静置发酵的高。

在震荡条件下,装液量为 50% 的最高总酸为 5.62 g/100 mL 高于装液量为 20% 时的 4.1 g/100 mL,可能是因为装液量 20% 时,乙醇挥发损失过大。从图 4 可知,在静置条件下,20% 和 50% 装液量的最高总酸相差 0.54 g/100 mL,相差不大,但装液量 20% 达到最高总酸的时间比装液量 50% 提前 1 d。因在后续实验中,装液量多为 20% 左右,所以针对本实验,我们选取静置发酵作为后续的醋酸发酵方式。

2.2.5 醋酸发酵温度对醋酸发酵总酸的影响 将薏仁酒精发酵醪按 20% 的装液量装入 250 mL 的锥形瓶中,按 10% 接种量接入沪酿 1.01 醋酸菌种子液,分别置于 28、30、32、34、36 °C 条件下静置培养。由图 5 可知,当醋酸发酵温度为 28、30、32 °C,发酵最高总酸都较高,分别为 4.22、5.24、4.88 g/100 mL。所以选择 28~32 °C 进行正交实验。

2.2.6 接种量对醋酸发酵总酸的影响 将薏仁酒液按 8%、10%、12%、14%、16% 接种量接入沪酿 1.01 醋酸菌种子液后培养,研究接种量对醋酸发酵总酸的影响。图 6 可知,接种量为 10%、12% 和 14% 时,最高总酸含量分别为 5.33、5.14、5.01 g/100 mL,发酵

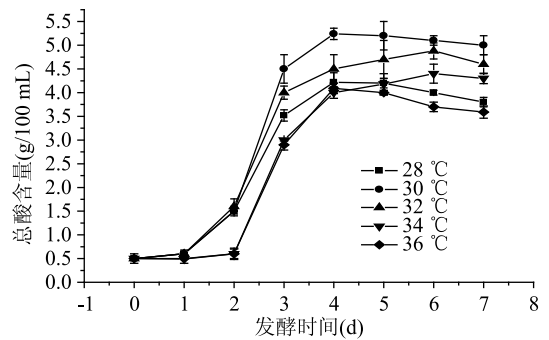


图5 温度对薏仁碎米醋酸发酵总酸的影响
Fig.5 Effect of total acid in broken coix seed acetic fermentation on temperature

速度也较快,所以初步接种量为 10%~14%。醋酸菌接种量的大小对于醋酸产量和发酵速度都有一定的影响。在发酵液成分相同的情况下,接种量越大,发酵液中的营养成分就更多的用于醋酸菌的生长,使得用于生产醋酸的底物减少或接种比例增加导致酒精含量降低,醋酸的产量反而较低;接种量过小则会导致醋酸菌生长过慢,醋酸发酵速度慢,发酵不充分,醋酸产量低^[6]。

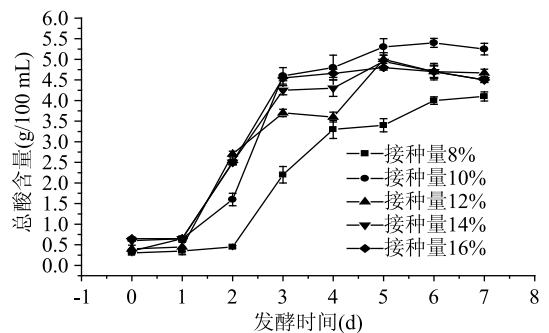


图6 接种量对薏仁碎米醋酸发酵总酸的影响
Fig.6 Effect of total acid in broken coix seed acetic fermentation on inoculation quantity

2.2.7 装液量对醋酸发酵总酸的影响 将薏仁酒液分别按 15%、20%、25%、30%、35% 的装液量装入 250 mL 的锥形瓶中培养,研究装液量对醋酸发酵总酸的影响。由图 7 可知,装液量在 20%、25% 和 30% 时,发酵产生的醋酸都较多,产生速度也较快,所以初步选择装液量为 20%~30%。醋酸菌是好

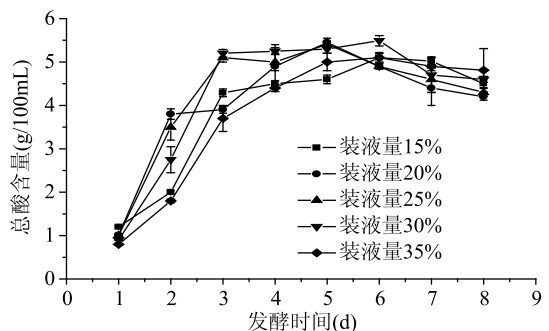


图7 装液量对薏仁醋酸发酵总酸的影响
Fig.7 Effect of total acid in broken coix seed acetic fermentation on liquid volume

菌,发酵时装液量越多,发酵液的溶氧量越少,醋酸菌因得不到足够的氧气使醋酸菌生长缓慢,所得到的醋液感官品质也会较差;在发酵时装液量过少,醋酸菌生长过快,在酒精被消耗殆尽后就会分解醋酸生产水,导致醋酸含量降低、醋液品质变差^[6]。

2.3 正交实验设计确定醋酸发酵条件

在单因素实验的结果基础上,采用三因素三水平的正交设计方法,考察发酵温度、接种量和装液量对薏仁醋酸发酵总酸含量的影响。

2.3.1 直观分析正交实验设计结果

表3 正交设计实验结果

Table 3 The results of perpendicularity is designed and tested

实验号	因素				指标
	A	B	C	误差列	总酸 (g/100 mL)
1	1	1	1	1	4.85
2	1	2	2	2	5.64
3	1	3	3	3	5.35
4	2	1	2	3	5.52
5	2	2	3	1	5.87
6	2	3	1	2	5.3
7	3	1	3	2	5.67
8	3	2	1	3	5.93
9	3	3	2	1	5.75
k ₁	5.280	5.347	5.360	5.49	
k ₂	5.563	5.813	5.637	5.537	
k ₃	5.783	5.467	5.630	5.600	
R	0.503	0.466	0.277	0.110	

2.3.2 正交实验设计方差分析

表4 正交设计实验方差分析结果

Table 4 The result of orthogonal design variance analysis

因素	偏差平方和	自由度	F值	F临界值	显著性
发酵温度(°C)	0.382	2	21.222	19.00	*
接种量(%)	0.352	2	19.566	19.00	*
装液量(%)	0.149	2	8.278	19.00	
误差	0.02	2			

极差分析(表3)可知,以总酸含量作为指标,影响主次顺序是发酵温度>接种量>装液量,而在方差分析(表4)中,发酵温度和接种量对总酸含量效果显著,而装液量不显著。

2.3.3 验证实验 在接种量12%,发酵温度32℃,装液量25%的条件下进行薏仁碎米食醋的发酵,从图8可知,在该条件下发酵所得的薏仁碎米食醋最高总酸含量为6.46 g/100 mL,均高于正交实验中所得薏仁碎米食醋的最高总酸含量,也远高于GB/T 18187-2000酿造食醋中规定的酿造食醋3.5 g/100 mL的标准。得到的薏仁碎米食醋具有薏仁碎米特有的香气,酸味较柔和,醋液体态澄清,无异物。所以将该条件作为薏仁碎米食醋液态醋酸发酵的最优条件。

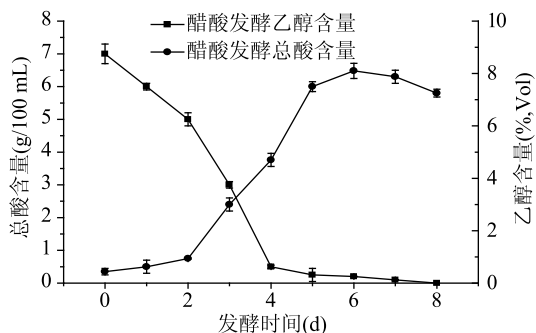


图8 正交设计优化条件的验证实验

Fig.8 The verification test of orthogonal tests conditions

3 结论

薏仁碎米中含量最高的是淀粉,为52.32 g/100 g,其次是蛋白质、水分、粗脂和灰分,含量分别为14.99、12.06、2.46、2.13 g/100 g;破碎度对薏仁粉的糖化效果有一定的影响,当薏仁碎米破碎度为60~80目时,所得糖化醪的还原糖含量最高;选取料水比为1:4(g/mL)时还原糖含量为10.58 g/100 g有利于进行后续实验;薏仁碎米中蛋白质含量较高,在糊化前加入酸性蛋白酶(0.2 g/kg),能增强糖化效果,使薏仁淀粉糖化更彻底,提高糖化醪的还原糖含量;薏仁碎米食醋液态醋酸发酵的最优条件为静置发酵、接种量12%、发酵温度32℃、装液量25%,此条件下得到总酸含量6.46 g/100 mL薏仁碎米食醋,既符合GB/T 18187-2000酿造食醋中规定的总酸3.5 g/100 mL的标准,又具有薏仁碎米特有的香气,酸味较柔和,醋液体态澄清,无异物。

参考文献

- [1] 杨凤仪,卢红梅,陈莉,等.不同储藏方式对薏仁米储藏保鲜效果的影响[J].食品工业科技,2016,19:339-344.
- [2] 岳文明,董银卯,何聪芬,等.薏苡仁肽纯化的初步研究[J].食品工业科技,2010(9):235-237.
- [3] Kim SO, Yun SJ, Jung B, et al. Effect of coix on plasma, liver, and fecal lipid components in the rat fed on lard-or soybean oil-cholesterol diet[J]. Life Science, 2004, 75(11):1391-1404.
- [4] Shih C, Chiang W, Kuo M. Effects of adlay on azoxymethane-induced colon carcinogenesis in rats [J]. Food and Chemical Toxicology, 2004, 42(8):1339-1347.
- [5] Bai C, Peng H, Xiong H, et al. Carboxymethylchitosan-coated proliposomes containing coix seed oil: Characterisation, stability and *in vitro* release evaluation [J]. Food Chemistry, 2011, 129(4):1695-1702.
- [6] 王颖.薏仁成分及薏仁醋的生产技术研究[D].重庆:西南大学,2013.
- [7] 赵婕,王明力,汤翠,等.薏苡仁功能活性成分的研究进展[J].食品工业科技,2016,18:374-377,383.
- [8] 中华人民共和国卫生部药典委员会.中国药典[Z].北京:化学工业出版社,2005:260-261.
- [9] 陈琴芳,刘建华,李永福,等.明日叶/薏仁米营养保健面条的研制[J].食品工业科技,2015(1):230-234.

(下转第44页)

- [17] 严汪汪.从小麦淀粉废水中分离回收戊聚糖的方法研究[D].广州:华南理工大学,2015.
- [18] Wu H C, Chen H M, Shiau C Y. Free amino acids and peptides as related to antioxidant properties in protein hydrolysates of mackerel (*Scomber austriasicus*) [J]. Food Research International, 2003, 36(9-10): 949-957.
- [19] 欧仕益,张宁.麦麸酶解产品清除自由基的体外实验研究[J].营养学报,2005,27(1):25-29.
- [20] 李永裕.余甘多糖分离纯化、结构及抗氧化活性研究[D].神州:福建农林大学,2010.
- [21] 李伟莉.用于生产富含阿拉伯木聚糖的制剂及其他副产品的方法和装置, Production of arabinoxylan-rich preparations and other by-products of the method and apparatus for; CN, CN 103842386 A[P].2014.
- [22] Li W, Hu H, Wang Q, et al. Molecular Features of Wheat Endosperm Arabinoxylan Inclusion in Functional Bread [J]. Foods, 2013, 2(2): 225-237.
- [23] Jelaca S L, Hlynka I. Effect of wheat-flour pentosans in dough, gluten, and bread [J]. Cereal Chemistry, 1972.
- [24] Tsiapali E, Whaley S, Kalbfleisch J, et al. Glucans exhibit

- weak antioxidant activity, but stimulate macrophage free radical activity. [J]. Free Radical Biology & Medicine, 2001, 30(4): 393-402.
- [25] Robak J, Gryglewski R J. Robak J, Gryglewski R J. Flavonoids are scavengers of superoxide anions. Biochem Pharmacol 37: 837-841 [J]. Biochemical Pharmacology, 1988, 37(5): 837-841.
- [26] Marklund S, Marklund G, Marklund S, et al. Involvement of superoxide anion radical in the autoxidation of, pyrogallol and a convenient assay for superoxide dismutase. [J]. Deutsche Medizinische Wochenschrift, 2005, 137(1-2): p1.
- [27] Dorman H J D, Hiltunen R. Fe(III) reductive and free radical-scavenging properties of summer savory (*Satureja hortensis*, L.) extract and subfractions [J]. Food Chemistry, 2004, 88(2): 193-199.
- [28] 孙海红.三株海洋微生物中胞外多糖的分离、结构和抗氧化活性研究[D].青岛:中国海洋大学,2009.
- [29] Jonas Malmström, Mats Jonsson, Ian A. Cotgreave, et al. The Antioxidant Profile of 2,3-Dihydrobenzo[b]furan-5-ol and Its 1-Thio, 1-Seleno, and 1-Telluro Analogues [J]. Journal of the American Chemical Society, 2001, 123(15): 3434-3440.

(上接第34页)

- [10] 李希宇,王颖,阙建全.薏苡仁醋发酵不同时期理化成分分析[J].食品工业科技,2014(9):174-177,182.
- [11] 唐虎,魏兴元,李祥栋,等.薏仁米侧膜抗旱高产栽培技术[J].中国种业,2015(9):83-84.
- [12] Chen H, Chung C, Chiang W, et al. Anti-inflammatory effects and chemical study of a flavonoid-enriched fraction from adlay bran [J]. Food Chemistry, 2011, 126(4): 1741-1748.
- [13] 朱怡.贵州薏仁产业的发展与思路[J].农产品市场周刊, 2015, 39: 17-21.
- [14] 谢孝红.薏仁米加工技术的优化与应用[J].粮食与食品工业, 2013(5): 27-29.
- [15] 赵德安.现代科技与传统工艺结合提高食醋质量[J].中

国酿造,2003(5).

- [16] 赵芳,李志民,陈斌.我国食醋生产的研究进展[J].邯郸职业技术学院学报,2009(4):94-96.
- [17] 沈龙青.食醋酿造工艺[J].中国酿造,1991(1):43-45.
- [18] 张伊俐.固态发酵法制醋[J].农产品加工,2008(11): 14-15.
- [19] 马学增.生料制醋技术的新发展[J].中国酿造,2012(9): 146-148.
- [20] 刘云山.浅议生料制醋中固态发酵的条件控制[J].江苏调味副食品,2009(6):22-24.
- [21] AOAC Official Method 969.12 Alcohol in Wines By Dichromate Oxidation.

(上接第39页)

- 昌:南昌航空大学,2008.
- [11] 陈力.茶饼粕黄酮苷的提取分离、化学结构表征及生物活性研究[D].南昌:南昌大学,2011.
- [12] 陈虹霞,王成章,叶建中,等.油茶饼粕中黄酮苷类化合物的分离与结构鉴定[J].林产化学与工业,2011,31(1): 13-16.
- [13] 侯留鑫,王华清,郑铁松,等.一种新型茶叶籽黄酮单体的分离鉴定及其抗氧化活性[J].食品科学,2013,34(21): 115-120.
- [14] 顾玮蕾,王春丽.六种中药水提物体外抗氧化活性研究[J].食品工业科技,2010,31(11):190-192.
- [15] 郭雪峰,岳永德,汤锋,等.用清除超氧阴离子自由基法评价竹叶提取物抗氧化能力[J].光谱学与光谱分析,2008,28(8):1823-1826.
- [16] 李少魁,亮少伟,陈忠良,等.黄酮类化合物-O-甙的¹³CNMR谱[J].波谱学杂志,1998,15(5):473-484.
- [17] 贺波,李小定,彭定祥,等.苕麻叶中黄酮类化合物的提取工艺研究[J].食品工业科技,2010,31(10):259-262.
- [18] 王玲琼,徐巧林,董丽梅,等.油茶果壳化学成分研究[J].热带亚热带植物学报,2017,(1):81-86.

- [19] Toshikazu, Jiroa, Atsukoy, et al. Two flavonol glycosides from seeds of *Camellia sinensis* [J]. Phytochemistry, 1991, 30(3): 991-995.
- [20] 姚新生,吴立军编.天然药物化学(第四版)[M].北京:人民卫生出版社,2003:235-250.
- [21] 桑圣民,劳爱娜.中药王不留行化学成分的研究(II)[J].中草药,2000,31(3):1-4.
- [22] Chen Junghui, Liu Bingchung, Jong Tingting, et al. Extraction and purification of flavanone glycosides and kaemferol glycosides from defatted *Camellia oleifera* seeds by salting-out using hydrophilic isopropanol [J]. Separation and Purification Technology, 2009, 67(1): 31-37.
- [23] 王华清,李起弘,郑铁松.茶叶籽中总黄酮的提取及结构的初步鉴定[J].食品工业科技,2012,7(41):282-286.
- [24] 王成章,陈虹霞,叶建中,等.一种中压柱快速分离油茶饼粕中黄酮苷的制备方法[P].中国专利:ZL10899070,2010,7-19.
- [25] 李利敏,沈建福,吴晓琴,等.8种油茶蒴提取物中活性物质含量及其抗氧化能力的比较研究[J].中国粮油学报,2013,28(1):41-47.