

麻糖水发酵工艺优化及抗氧化活性分析

李刚凤¹, 朱成成¹, 段萧燕¹, 吴素华¹, 王欢^{1,2}, 熊小艳¹

(1. 铜仁学院材料与化学工程学院, 贵州铜仁 554300) (2. 河南工业大学生物工程学院, 河南郑州 450001)

摘要: 以红薯为原料, 感官评分和产酸量为评价指标, 经发酵制备麻糖水。通过正交试验优化麻糖水料液比、酒曲接种量、发酵时间、发酵初始 pH 等工艺条件, 比较优化麻糖水与市售麻糖水营养成分、抗氧化活性。结果表明: 麻糖水最佳发酵工艺条件为料液比 1:3 (g/mL), 红薯浆糖度 23 °Brix, 60 °C 糖液化 3 h, 酒曲 0.19%, pH=4.5, 30 °C 发酵 9 d。发酵后麻糖水感官综合评分为 90 分, 还原糖含量 6.85 g/100 g, 总糖 7.20 g/100 g, 粗蛋白 6.65 g/100 g, 黄酮 0.92 mg/100 g, 总游离氨基酸 0.27 mg/100 g, DPPH 自由基清除率 64.60%, 总抗氧化力 365.47 mmol/L, 羟自由基清除率 89.99%; 市售麻糖水还原糖含量 7.84 g/100 g, 总糖 8.00 g/100 g, 粗蛋白 1.43 g/100 g, 黄酮 0.41 mg/100 g, 总游离氨基酸 0.18 mg/100 g, DPPH 清除率 80.25%, 总抗氧化力 446.80 mmol/L, 羟自由基清除率 41.25%。实验优化麻糖水还原糖、总糖含量、DPPH 自由基清除率及总抗氧化力较市售麻糖水低, 而粗蛋白、黄酮、总游离氨基酸含量及羟自由基清除率均较市售麻糖水高。综合分析, 麻糖水经最佳发酵工艺优化后羟自由基清除率、黄酮含量及总游离氨基酸均高于市售麻糖水, 符合中老年人对低糖、高营养产品的选择, 因此, 选择优化麻糖水更适宜饮用。

关键词: 红薯; 麻糖水; 工艺优化; 营养成分; 抗氧化活性

文章编号: 1673-9078(2020)09-228-236

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.9.0252

Optimization of the Ma Tang Shui Fermentation Process and Analysis of its Antioxidant Activity

LI Gang-feng¹, ZHU Cheng-cheng¹, DUAN Xiao-yan¹, WU Su-hua¹, WANG Huan^{1,2}, XIONG Xiao-yan¹

(1. College of Material and Chemical Engineering, Tongren University, Tongren 554300, China)

(2. College of Bioengineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Sweet potato was used as the raw material, sensory score and acid yield were used as the evaluation indexes, and Ma Tang Shui was prepared by fermentation. Through orthogonal experiments, the technological conditions of *Ma Tang Shui*, such as the material-liquid ratio, distiller's yeast inoculum size, fermentation time, and initial fermentation pH were optimized, and the nutritional components and antioxidant activity of the Ma Tang Shui produced in this study and commercial Ma Tang Shui were compared. The results showed that the optimum fermentation conditions for Ma Tang Shui were as follows: solid-liquid ratio 1:3 (g/mL), sugar degree of sweet potato syrup 23 °Brix, sugar liquefaction at 60 °C for 3 h, distiller's yeast 0.19%, pH=4.5, fermentation at 30 °C for 9 d. After fermentation, the Ma Tang Shui sensory comprehensive score was 90 points, reducing sugar content was 6.85 g/100 g, total sugar was 7.20 g/100 g, crude protein was 6.65 g/100 g, flavone was 0.92 mg/100 g, total free amino acid was 0.27 mg/100 g, DPPH radical scavenging rate was 64.60%, total antioxidant capacity was 365.47 mmol/L, and hydroxyl radical scavenging rate was 89.99%. The reducing sugar content in commercial Ma Tang Shui was 7.84 g/100 g, total sugar was 8.00 g/100 g, crude protein was 1.43 g/100 g, flavone was 0.41 mg/100 g, total free amino acid was 0.18 mg/100 g, DPPH scavenging rate was 80.25 %, total antioxidant power was 446.80 mmol/L, and hydroxyl radical scavenging rate was 41.25 %. The content of reducing sugar, total sugar, DPPH radical scavenging rate and total antioxidant capacity of the optimized Ma Tang Shui were lower than those of commercial *Ma Tang Shui*, while the content of crude protein, flavone, and total free amino acid, and the hydroxyl radical scavenging rate were

引文格式:

李刚凤,朱成成,段萧燕,等. 麻糖水发酵工艺优化及抗氧化活性分析[J].现代食品科技,2020,36(9):228-236

LI Gang-feng, ZHU Cheng-cheng, DUAN Xiao-yan, et al. Optimization of the Ma Tang Shui fermentation process and analysis of its antioxidant activity [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(9): 228-236

收稿日期: 2020-03-18

基金项目: 贵州省教育厅大学生创新创业训练中心项目 (2016SJDZX001)

作者简介: 李刚凤 (1988-), 女, 教授, 研究方向: 生态特色食品开发

228

higher than those of commercial Ma Tang Shui. A comprehensive analysis showed that the hydroxyl radical scavenging rate, flavone content, and total free amino acid of the Ma Tang Shui optimized by the optimal fermentation process were higher than those of the commercial Ma Tang Shui, which aligns with the selection of low-sugar and high-nutrition products by the middle-aged and elderly people. Therefore, the optimized Ma Tang Shui is more suitable for drinking.

Key words: sweet potato; Ma Tang Shui; process optimization; nutritional components; antioxidant activity

红薯又名番薯、甘薯等,是仅次于水稻、小麦、玉米之后的重要的粮食作物^[1]。红薯富含淀粉、蛋白质、氨基酸(赖氨酸)、还有维生素、亚油酸与膳食纤维以及微量元素等多种营养物质,有抗癌、保护心脏、降血糖等作用。明代李时珍《本草纲目》记载有“甘薯补虚,健脾开胃,强肾补阴”,中医常视其为良药^[2,3]。

红薯可用来生产淀粉类制品、全粉制品、干制品、糖制品以及饮料制品等多种食品^[4]。郝萍萍等^[5]利用到红薯研制了一款具有酒醇味香,经济实惠的红薯白酒。刘雪飞等^[6]以红薯薯肉为原料,新研制一款红薯饮料,并应用响应面法和模糊数学评价来对产品进行优化。谭属琼等^[7]通过单因素和正交试验得出红薯大豆高蛋白复合饮料的最优配方。红薯不仅可以制成饮料,还可以发酵成酒。陈林等^[8]将红薯和糯米混合发酵得到一款具有红薯香甜味的米酒,并研究了不同条件下的理化性质。林灼华^[9]研究的伏特加酒则是用红薯为原料进行发酵、蒸馏而得。

麻糖水贵州省铜仁市德江县地方特色食品,又名宴酒,贵州省土家族特有的民族饮食,其风味独特,含有人体必须的10多种微量元素。该产品可消除疲乏,具有增益人体的精气,健脾胃,消除脾虚水肿,强肾阴的生理功效。同时,麻糖水既能有效预防季节变换引起的流行性感病毒,又能提高人体免疫力、抗衰老、防止血管硬化、加速人体新陈代谢,具一定的保健功能^[10]。因此对麻糖水传统发酵工艺条件的优化及营养品质分析的研究具有一定的意义。

本实验对影响麻糖水发酵工艺的基本参数进行分析,研究料液比、酒曲接种量、发酵时间、发酵初始pH对麻糖水感官及营养成分的影响,确定最佳发酵工艺参数,并与市售麻糖水进行营养成分、抗氧化性比较分析,以期对地方特色产品麻糖水的进一步开发与利用及麻糖水的品质鉴定提供理论依据和数据支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

红薯(薯7-12)、白糖,铜仁市售; α -淀粉酶(10000 u/g)、糖化酶(50000 u/g),湖南新鸿鹰生物有限公司;酒曲,贵州德江六二酒厂;葡萄糖

(AR),天津市大茂化学试剂厂;牛血清蛋白($\geq 99\%$)、L-茶氨酸($\geq 98\%$)、芦丁($\geq 98\%$)、邻二氮菲($\geq 99\%$)、DPPH(97%),标准品,合肥博美生物科技有限公司;硫酸亚铁(AR),天津市致远化学试剂有限公司。

电热恒温水浴锅DK-98-11,天津市泰斯特仪器有限公司;生化培养箱SPX-150,金坛市三和仪器有限公司;电子天平MAX-A3003,深圳市无限量衡器有限公司;可见分光光度计721,上海舜守恒平科学仪器有限公司;高速万能粉碎机RH-600A,浙江荣浩工贸有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 麻糖水发酵工艺

红薯→去皮、切块→软化→组织粉碎→调酸→糖液化→灭菌→接种酒曲→发酵→过滤澄清→灭菌→成品

1.2.2 主要操作要点

去皮、切块:挑选表面光滑,无霉味,无病变,无发芽纺锤状红薯。将挑选好的红薯,清水洗净并削皮,切长块或方块浸泡在水中,防止红薯暴露空气中较长时间引起褐变^[11];

熟化、打浆:红薯蒸煮30 min,称取熟化红薯125 g以一定料液比加入蒸馏水进行打浆;

调酸:浆液中添加适量的柠檬酸,调节初始pH到一定值;

糖液化:添加0.08% α -淀粉酶和0.16%糖化酶,加至浆液,60℃水浴糖液化3 h;

成分调整:液化结束后将红薯浆液调糖度至23°Brix;

添加酒曲:按一定接种量将酒曲直接加入浆液,搅拌均匀,30℃恒温培养发酵一定时间;

过滤、灭菌:发酵结束后的浆液经过滤澄清,再经巴氏杀菌冷却获得成品。

1.2.3 麻糖水发酵料液比的选择

熟化红薯进行打浆加水,其红薯浆与蒸馏水比例为1:1、1:2、1:3、1:4、1:5(g/mL),柠檬酸调节pH至4.0,经 α -淀粉酶和糖化酶糖液化,浆液接种0.16%酒曲,30℃恒温条件下密封发酵7 d后,以感官综合评分和产酸量作为评价指标。

1.2.4 麻糖水发酵初始 pH 的选择

经 α -淀粉酶和糖化酶糖液化的浆液, 柠檬酸分别调节初始 pH 为 3.5、4.0、4.5、5.0、5.5, 浆液分别接种 0.16% 酒曲, 30 °C 恒温条件下, 密封发酵 7 d 后, 以感官综合评分和产酸量作为评价指标。

1.2.5 麻糖水酒曲接种量料液比的选择

经 α -淀粉酶和糖化酶糖液化的浆液, 柠檬酸调节 pH 至 4.0, 酒曲接种量为 0.11%、0.13%、0.16%、0.19%、0.21%, 30 °C 恒温条件下密封发酵 7 d 后, 以感官综合评分和产酸量作为评价指标。

1.2.6 麻糖水发酵最佳时间的选择

经 α -淀粉酶和糖化酶糖液化的浆液, 柠檬酸调节 pH 至 4.0, 接种 0.16% 的酒曲, 30 °C 恒温条件下, 分别密封发酵 3、5、7、9、11 d 后, 以感官综合评分和产酸量作为评价指标。

1.2.7 正交试验设计

在单因素试验的基础上, 对料液比、酒曲接种量、发酵初始 pH、发酵时间为试验因素, 以感官综合评分和产酸量作为评价指标, 设计正交试验。麻糖水发酵工艺优化的因素水平见表 1。

表 1 正交试验因素水平表

Table 1 Factors and levels of orthogonal test

水平	试验因素			
	A 料液比/(g/mL)	B 发酵初始 pH	C 酒曲接种量/%	D 发酵时间/d
1	1:2	3.5	0.13	5
2	1:3	4	0.16	7
3	1:4	4.5	0.19	9

表 2 麻糖水感官评价标准

Table 2 Sensory Evaluation standards of Ma tangshui

评价指标	分值/分	评分标准
色泽	15	色泽均匀且金黄色泽 (11~15 分); 光泽均匀 (6~10 分); 色泽不均匀、暗淡 (0~5 分)。
口感	30	酸甜适中, 无异味, 口感好 (21~30 分); 酸甜比例不协调, 口感良好, 无异味 (11~20 分); 酸甜比例不合适, 有异味 (0~10 分)。
气味	15	无霉味有红薯味、醋酸味、醇香味 (11~15 分); 霉味且有醋酸味 (6~10 分); 霉味且腐败不良气味 (0~5 分)。
透明度	15	无浑浊且没有悬浮物 (11~15 分); 浑浊 (6~10 分); 呈浑浊, 有少量悬浮物 (0~5 分)。
沉淀物	25	无沉淀物且没有悬浮物 (18~25 分); 有少量沉淀 (8~17 分); 有大量沉淀物, 固体颗粒 (0~7 分)。

1.2.8 麻糖水感官品质测定

麻糖水感官评价指标包括色泽、口感、香气、透明度、沉淀物, 由 10 名接受食品感官培训的品评员组成评价小组对麻糖水感官品质进行评价^[5], 麻糖水感官评价标准见表 2。

1.2.9 麻糖水产酸总量测定

以滴定消耗 NaOH 溶液的体积计算样品中的含酸量^[12] (扣除调节所用柠檬酸, 以醋酸计, g/L) 见公式:

$$\text{产酸量}/(\text{g/L}) = \frac{(V - V_1) \times C_{(\text{NaOH})} \times k}{V_{\#}}$$

式中: V : 测定液滴定用去的 NaOH 溶液, mL; V_1 : 蒸馏水为空白用去的 NaOH 体积; $C_{(\text{NaOH})}$: 滴定中所用的 NaOH 浓度, mol/L; k : 醋酸换算系数, $k = 60$; $V_{\#}$: 样品体积, mL。

1.2.10 麻糖水可溶性固形物含量测定

采用折射仪法^[13]测定可溶性固形物含量。

1.2.11 麻糖水 pH 测定

采用酸度计直接测定 pH。

1.2.12 麻糖水还原糖、总糖含量测定

230

还原糖和总糖的测定采用 DNS 法。移取 1 mL 麻糖水, 加水 50 mL, 沸水加热 30 min, 蒸馏水定容至 100 mL, 得还原糖提取液^[14]。移取 1 mL 麻糖水, 加水 50 mL、6 mol/L HCl 溶液 10 mL, 热提 30 min, 水解至蓝色消失, 加 1 滴的酚酞, 6 mol/L NaOH 中和为红色^[15], 定容至 100 mL, 得总糖的提取液。

分别移取 0.10、0.20、0.40、0.60 和 0.80 mL, 浓度 1 mg/mL 葡萄糖溶液于 10 mL 容量瓶, 加水定容, 得浓度 0.01、0.02、0.04、0.06 和 0.08 mg/mL 葡萄糖溶液, 再分别移取 1 mL 于 25 mL 具塞试管, 加入 1 mL DNS, 沸水浴 6 min, 冷却, 定容至 25 mL, 振荡混匀, 540 nm 处测吸光值, 绘制得线性回归方程: $Y = 6.2232x - 0.0075$, $R^2 = 0.9992$ 。分别移取麻糖水还原糖和总糖提取液 1 mL, 按照上述方法进行测定还原糖、总糖含量。

1.2.13 麻糖水的粗蛋白含量测定

采用考马斯亮蓝法^[16]。分别移取 0.10 mg/mL 牛血清蛋白溶液 0.0、0.20、0.40、0.60、0.80 和 1.00 mL 置于 10 mL 比色管中, 各加 5 mL 考马斯亮蓝溶液,

振荡混匀, 放置 5 min, 定容至 10 mL, 595 nm 处测吸光值, 绘制线性回归方程: $Y=0.4271x-0.0204$, $R^2=0.9929$ 。移取 1 mL 麻糖水, 按照上述方法进行测定。

1.2.14 麻糖水黄酮含量测定

采用硝酸铝比色法^[17]。分别移取浓度 0.20 mg/mL 芦丁溶液 0.50、1.00、2.00、3.00 和 4.00 mL 于 10 mL 容量瓶, 加 5%亚硝酸钠溶液 0.30 mL, 摇匀、放置 5 min, 加 10%硝酸铝溶液 0.30 mL, 摇匀, 放置 5 min, 加 4%氢氧化钠溶液 4 mL, 80%乙醇定容, 摇匀, 放置 15 min, 以无水乙醇为空白对照, 510 nm 处测定吸光值, 绘制线性回归方程: $Y=0.2756x+0.0114$, $R^2=0.9991$ 。移取 10 倍麻糖水稀释液 1 mL, 按照上述方法进行测定。

1.2.15 麻糖水游离氨基酸总量测定

以浓度 10 mg/mL 茶氨酸溶液, 制得浓度为 0.20、0.30、0.40、0.50 和 0.60 mg/mL 茶氨酸溶液, 分别移取 1 mL 不同浓度茶氨酸溶液于 25 mL 具塞比色管, 加 0.50 mL pH=8.0 磷酸缓冲液, 加 0.50 mL 2%茚三酮溶液, 摇匀, 沸水浴 15 min, 冷却, 加水至 25 mL, 在 570 nm 处测定吸光值^[18,19], 绘制得线性回归方程: $Y=0.0611x-0.0476$, $R^2=0.9905$ 。移取 10 倍麻糖水稀释液 1 mL, 按照上述方法进行测定。

1.2.16 麻糖水铁离子总抗氧化能力测定

参考铁离子还原法^[20], 以浓度 1 mmol/L 硫酸亚铁溶液配制 0、50、100、150、200 和 250 mmol/L 硫酸亚铁梯度溶液, 分别移取 1 mL, 加入 2 mL FRAP 工作液, 37 °C 水浴 30 min, 取出、冷却, 在 593 nm 处测吸光值, 绘制得标准曲线方程 $Y=0.0005x-0.0007$, $R^2=0.9991$ 。

1.2.17 麻糖水羟自由基清除率的测定

移取 1 mL 6.30 mmol/L 邻二氮菲溶液于 25 mL 比色管, 加 2 mL 0.01 mmol/L pH 7.4 磷酸盐缓冲液, 加 1 mL 无水乙醇, 混匀, 加 1 mL 0.75 mmol/L 硫酸亚铁溶液, 混匀, 加 1 mL 0.03%过氧化氢溶液, 37 °C 水浴 1 h, 在 510 nm 处测定吸光值为 $D_{[损伤]}$ 。以麻糖水原液替换无水乙醇测定吸光值为 $D_{[替]}$, 以蒸馏水替换 0.03%过氧化氢溶液测定吸光值为 $D_{[未损伤]}$ ^[21]。

$$\text{羟自由基清除率}/\% = \frac{D_{[替]} - D_{[损伤]}}{D_{[未损伤]} - D_{[损伤]}} \times 100\%$$

1.2.18 麻糖水 DPPH 自由基清除率测定

移取 2 mL 麻糖水 10 倍稀释液于 25 mL 棕色容量瓶^[22,23], 加 2 mL 0.20 mmol/L DPPH 溶液, 摇匀, 室温避光反应 30 min, 在 517 nm 处测定吸光值为 D_i ; D_0 : 2 mL 无水乙醇加 2 mL 麻糖水 10 倍稀释液;

D_0 : 2 mL 无水乙醇加 2 mL DPPH 溶液。

$$\text{DPPH自由基清除率}/\% = \left(1 - \frac{D_i - D_0}{D_0}\right) \times 100\%$$

1.3 数据处理与分析

试验数据采用 SPSS 19.0 和 Excel 软件进行处理, 平行之间进行多重比较, 采用 Duncan's 新复极差法, 以 $p < 0.05$ 为显著差异, 采用 origin 进行作图。

2 结果与分析

2.1 料液比对麻糖水发酵品质的影响

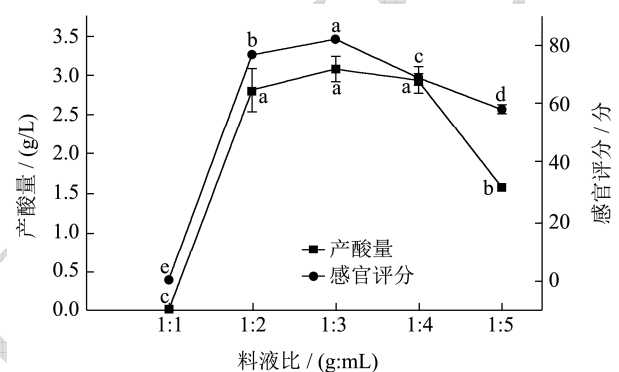


图1 料液比对麻糖水发酵品质的影响

Fig.1 Effect of material-liquid ratio on the fermentation quality of Ma Tang Shui

注: 不同字母表示处理间存在显著差异 ($p < 0.05$), 下同。

由图 1 可知, 在料液比为 1:1 (g/mL), 因残糖量基体过大, 制备液呈浑浊且无发酵液析出, 无法测得产酸量及做出感官评分, 当料液比为 1:3 (g/mL) 时, 感官综合评分为 82.33 分, 产酸量为 3.60 g/L, 相比在料液比为 1:2 (g/mL) 时, 有显著增大 ($p < 0.05$); 随着料液比的增加, 感官评分和产酸量呈递减趋势, 差异显著 ($p < 0.05$)。蔡文韬等^[24]制备红薯乳酸菌发酵饮料发现, 红薯与水为质量比为 1:2 时, 其口感、风味、组织状态较其他配比好。涂强^[25]等优化甘薯发酵液时发现, 甘薯与水质量比为 1:6 时, 甘薯饮料口感清爽感, 香气及色泽适宜。对于麻糖水, 综合感官评分及产酸率对麻糖水品质的影响考虑, 选择麻糖水发酵料液比为 1:3 (g/mL) 较适宜。

2.2 发酵初始 pH 对麻糖水发酵品质的影响

由图 2 可知, 麻糖水在发酵初始 pH=3.5 时, 麻糖水的感官评分和产酸量都发生口感, 色泽等品质的变化, 在发酵初始 pH=4.0 时, 产酸量有显著减小 ($p < 0.05$), 可能为酒曲中微生物生长消耗红薯中营养物质, 导致产酸量未随发酵初始 pH 增加而增加; 当

发酵初始 pH 为 4.5 时, 感官综合评分为 86 分, 产酸量为 4.22 g/L, 有显著增大 ($p < 0.05$), 感官品质较好, 随着酒曲中微生物在 pH=4.5 环境中持续生长消耗营养物质, 副产物的增加, 导致麻糖水产生的风味, 品质上升。张晓莲等^[26]优化紫薯酒加工工艺时发现, 酵母接种量为 0.55% 时, 初始 pH=4, 21.50 °C 发酵后, 紫薯酒有较高的自由基清除率。同时涂强等^[25]对不同 pH 条件下薯浆进行发酵, 结果表明, 薯浆 pH 在 4.5~5.5 范围内较适宜饮用。综合考虑感官评分及产酸率对麻糖水品质的影响, 选择麻糖水最佳发酵初始 pH 为 4.5。

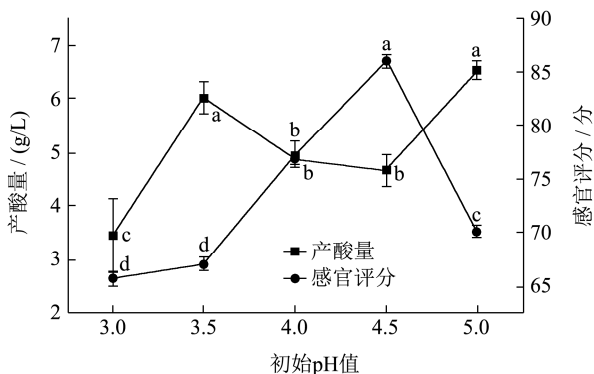


图 2 发酵初始 pH 对发酵品质的影响

Fig.2 Effect of fermentation initial pH on fermentation quality of Ma Tang Shui

2.3 酒曲接种量对麻糖水发酵品质的影响

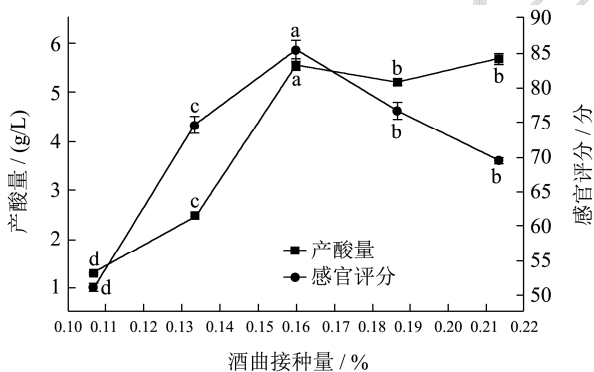


图 3 酒曲接种量对麻糖水发酵品质的影响

Fig.3 Effect of koji inoculum amount on the fermentation quality of Ma Tang Shui

由图 3 可知, 麻糖水在酒曲接种量 0.16% 时, 产酸量为 3.65 g/L, 感官综合评分为 85.33 分, 相比酒曲的接种量为 0.11% 时, 有显著增大 ($p < 0.05$); 随接种量的增加, 在酒曲接种量为 0.19% 时, 产酸量呈下降趋势, 差异显著 ($p < 0.05$), 原因是酒曲微生物的持续生长, 消耗麻糖水发酵生成所积累的营养物质。夏慧玲等^[27]甘薯液与牛乳按 5:5 混匀时, 添加 1:1 保加利亚乳杆菌和嗜热链球菌 39 °C 发酵时间 12 h, 发酵制得营养丰富、口味独特的甘薯酸牛奶。孔瑾^[28]等以甘薯

为原料, 酶法糖化水解甘薯淀粉, 经糊化、糖化后, 无氧环境下接种 6% 双歧杆菌 39 °C 发酵 10 h 后, 其品质最佳。原材料处理、加工工艺及菌种的不同均是导致其接种量不同的主要原因。综合麻糖水的感官评分及产酸量考虑, 选择麻糖水发酵酒曲接种量为 0.16%。

2.4 发酵时间对麻糖水发酵品质的影响

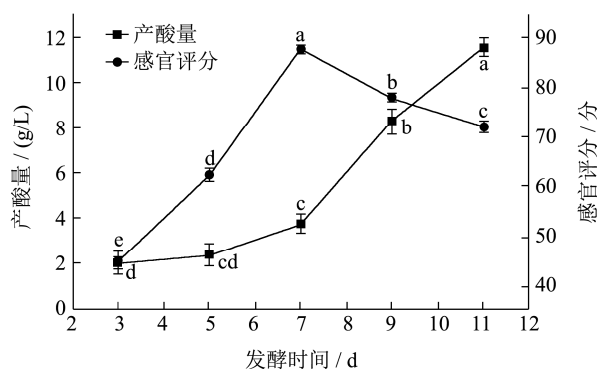


图 4 发酵时间对麻糖水发酵品质的影响

Fig.4 Effect of fermentation time on the fermentation quality of Ma Tang Shui

由图 4 可知, 麻糖水在发酵时间为 7 d 时, 感官综合评分值达到顶峰点 88.33 分, 产酸量为 3.73 g/L, 麻糖水品质良好, 相比发酵时间为 5 d 时, 发酵时间差异显著增大 ($p < 0.05$); 随着发酵时间 7 d 至 11 d 时, 感官评分曲线呈下降趋势, 当发酵时间为 9 d 时, 差异显著 ($p < 0.05$), 原因是随着发酵时间的延长, 酸度积累过高, 导致色泽、口感、风味、透明度、沉淀物的效果差。马永昆^[29]等通过在 10~12 °C 条件下发酵 3~4 d 制得发酵型红薯果啤饮料。陈林等^[8]研究发现, 发酵第 3 d 为红薯糯米酒发酵关键时期, 红薯糯米酒通过在 25 °C “7 d 发酵+7 d 后熟”后, 红薯糯米酒的品质和风味得到提高, 抗氧化能力和总还原能力明显增加。麻糖水加工工艺与发酵类红薯饮料、红薯酒存在一定的共通之处, 这为后期麻糖水在技术及理论上的研究提供一定的基础, 同时为拓宽红薯类产品的开发提供参考。再综合考虑感官评分及产酸率对麻糖水品质的影响, 选择麻糖水最佳发酵时间为 7 d。

2.5 麻糖水发酵工艺优化正交试验结果分析

由表 3 极差分析结果可知, R 值越大, 试验因素对应试验影响越显著, 根据比较 R 值大小可知, 影响麻糖水感官品质和产酸量综合得分的因素主次顺序依次为发酵时间>发酵初始 pH 值>发酵时间>料液比, 其最佳发酵条件为 A₂B₃C₃D₃, 即料液比为 1:3 (g/mL), 酒曲接种量 0.19%, 发酵时间 9 d, 发酵初始 pH 值 4.5, 该组合是由于这四个条件结合下, 酒曲的代谢活力最

大, 利于总酸的积累, 从而得到酸甜可口的麻糖水。通过表 4 分析可知, 所选四个因素显著性差异无变化, 是麻糖水的发酵是一个因素交互影响的过程, 各个因

素在发酵过程中发挥各自作用, 唯有综合各因素, 才会对试验有显著差异。

表 3 正交试验结果分析

Table 3 Analysis of orthogonal test results

序号	实验因素					感官评分
	A 料液比/(g/mL)	B 发酵初始 pH 值	C 酒曲接种量/%	D 发酵时间/d	产酸量/(g/L)	
1	1 (1:2)	1 (3.5)	1 (0.13)	1 (3.5)	3.65	60
2	1	2 (4.0)	2 (0.16)	2 (4.0)	3.94	62
3	1	3 (4.5)	3 (0.19)	3 (4.5)	6.07	90
4	2 (1:3)	1	2	3	7.32	69
5	2	2	3	1	7.56	67
6	2	3	1	2	6.96	71
7	3 (1:4)	1	3	2	2.86	63
8	3	2	1	3	3.26	64
9	3	3	2	1	7.29	68
K ₁	202	195	192	195		
K ₂	207	196	193	198		
K ₃	195	213	219	210		
k ₁	67.30	65	64	65		
k ₂	69.00	65.33	64.33	66		
k ₃	65.00	71	73	70		
R	4	6	9	5		
最优水平			A ₂ B ₃ C ₃ D ₃			
主次顺序			C>B>D>A			

表 4 方差分析

Table 4 Variance analysis

因素	偏差平方和	自由度	p 值	F 临界值	显著性
料液比	24.222	2	0.335	4.460	不显著
酒曲接种量	156.222	2	2.163	4.460	
发酵时间	40.222	2	0.557	4.460	
发酵初始 pH	68.222	2	0.945	4.460	
误差	288.89	8			

注: 在 $p < 0.05$ 水平下, *表示差异显著。

2.6 验证性试验

为进一步验证麻糖水发酵过程的稳定性, 按照最佳发酵条件组合 A₂B₃C₃D₃, 即发酵料液比为 1:3 (g/mL), 发酵酒曲接种量 0.19%, 发酵时间 9 d, 发酵初始 pH 值 4.5, 在该条件下进行 3 次试验, 每次试验设定 3 组。根据试验结果可得以验证, 在该发酵条件下所得麻糖水产酸量基本维持在 6.10 g/L, 感官综合评分为 90 分, 其品质酸甜可口, 色泽均匀、口感良好。因此, 证明在该发酵条件下麻糖水发酵稳定性最好。

2.7 麻糖水感官指标测定结果

麻糖水的颜色呈金黄色、色泽均匀、酸甜适中、口感良好、无异味有淡淡的红薯味、果酸味、醇香味、无浑浊、无沉淀物且无悬浮物。

2.8 麻糖水营养品质与抗氧化分析

Saigusa N^[30]等研究紫甘薯发酵饮料, 结果发现甘薯经发酵后其 DPPH 自由基诱变性较未处理的甘薯高。由表 5 可知, 市售麻糖水还原糖含量 7.84 g/100 g,

总糖含量 8.00 g/100 g, 可溶性固形物含量 29.00%, 总酸含量 6.04 g/L, DPPH 清除率 80.25%, 铁离子总抗氧化力 446.80 mmol/L, 均高于试验麻糖水。而实验麻糖水羟自由基清除率为 (89.99±0.17)%, 总游离氨基酸 0.27 mg/100 g, 黄酮含量高达 0.92 mg/100 g, 高于市售麻糖水。还原糖和总糖含量的不同将直接影响口感, 试验麻糖水口感酸甜适宜, 其总酸含量 < 8 g/L。综合以上分析可知, 实验发酵麻糖水羟自由基清除率优于市售麻糖水, 且实验麻糖水的黄酮含量较市售麻糖水高, 黄酮具有抗氧化, 抗衰老, 降低胆固醇, 预防糖尿病等作用^[31], 因此对糖尿病的人群实验优化麻糖水更适宜饮用。

表 5 麻糖水营养品质与抗氧化性分析

Table 5 Analysis on the nutritional components and antioxidant of Ma Tang Shui

成分	麻糖水类型	
	实验麻糖水	市售麻糖水
还原糖含量/(g/100 g)	6.85±0.01	7.84±0.18
总糖含量/(g/100 g)	7.20±0.01	8.00±0.03
可溶性固形物含量/%	26.83±0.76	29.00±0.50
总酸含量/(g/L)	2.47±0.01	6.04±0.17
pH 值	4.80±0.10	3.73±0.06
粗蛋白含量/(g/100 g)	6.65±0.33	1.43±0.13
黄酮含量/(mg/100 g)	0.92±0.00	0.41±0.01
总游离氨基酸含量/(mg/100 g)	0.27±0.00	0.18±0.04
DPPH 清除率/%	64.60±0.81	80.25±0.78
铁离子总抗氧化力/(mmol/L)	365.47±2.31	446.80±7.21
羟自由基清除率/%	89.99±0.17	41.25±0.83

3 结论

该研究以感官评分和产酸量作为评价指标, 对麻糖水进行色泽、口感、气味、透明度、沉淀物等感官品质综合评价, 经单因素试验、正交试验和验证性试验对麻糖水加工工艺进行优化。研究表明, 麻糖水的最佳发酵工艺: 料液比 1:3(g/mL), 酒曲接种量 0.19%, 发酵时间 9 d, 发酵初始最佳 pH 为 4.5, 糖度调节为 23 °Brix, 30 °C 恒温培养, 在此加工工艺下得到的麻糖水感官综合评分为 90 分, 产酸量为 6.10 g/L, 市售麻糖水感官综合评分为 68 分, 汤色暗黄, 口感偏酸; 且实验麻糖水活性成分黄酮与总游离氨基酸的含量均比市售麻糖水含量高, 羟自由基清除率比市售麻糖水好。试验麻糖水酸甜可口、汤色呈金黄色, 保留红薯特有的风味, 同时又具有醇厚的酒香, 不仅丰富了红薯的加工产品, 提高红薯的利用率, 提高麻糖水广泛开发和综合利用, 提供了一定的理论参考依据。

参考文献

- [1] 吴广辉, 毕韬韬. 红薯营养价值及综合开发利用研究进展[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(20): 189-192
WU Guang-hui, BI Tao-tao. Research progress on nutritional value and comprehensive development and utilization of sweet potato [J]. Food Research and Development, 2015, 36(20): 189-192
- [2] 李文鹏, 李雪晖, 田龙, 等. 红薯格瓦斯复合发酵饮料的研制[J]. 南阳理工学院学报, 2018, 17(3): 26-30
LI Wen-peng, LI Xue-hui, TIAN Long, et al. Preparation of compound fermented beverage of sweet potato and Gowasu [J]. Journal of Nanyang Institute of Technology, 2018, 17(3): 26-30
- [3] 岳春, 李津, 陈明忠. 红薯叶啤酒饮料的工艺研究[J]. 中国酿造, 2008, 3: 107-109
YUE Chun, LI Jin, CHEN Ming-zhong. Technological research on sweet potato leaf beer beverage [J]. Brewing in China, 2008, 3: 107-109
- [4] 张继明, 潘艳芳, 李喜宏, 等. 适合加工浓缩汁的红薯品种筛选[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(12): 1-4
ZHANG Ji-ming, PAN Yan-fang, LI Xi-hong, et al. Selection of sweet potato varieties suitable for processing concentrated juice [J]. Food Research and Development, 2017, 38(12): 1-4
- [5] 郝萍萍, 黄玉莲, 张楷正, 等. 红薯白酒的制备工艺及甲醇控制方法[J]. 酿酒科技, 2011, 11: 97-99, 109
HAO Ping-ping, HUANG Yu-lian, ZHANG Kai-zheng, et al. Preparation technology of sweet potato liquor and methanol control method [J]. Brewing Technology, 2011, 11: 97-99, 109
- [6] 刘雪飞, 贺磊, 宋俊伟, 等. 基于响应面法和模糊数学评价的红薯饮料生产工艺优化[J]. 食品工业科技, 2018, 39(18): 33-38, 44
LIU Xue-fei, HE Lei, SONG Jun-wei, et al. Optimization of sweet potato beverage production process based on response surface methodology and fuzzy mathematics evaluation [J]. Food Industry Science and Technology, 2018, 39(18): 33-38, 44
- [7] 谭属琼, 谢勇武. 红薯大豆高蛋白复合饮料的研制[J]. 食品工业, 2017, 38(3): 133-137
TAN Shu-qiong, XIE Yong-wu. Preparation of sweet potato soybean high protein compound beverage [J]. Food Industry, 2017, 38(3): 133-137
- [8] 陈林, 肖国生, 顾欣, 等. 红薯糯米酒发酵与贮存阶段品质分

- 析[J].食品科学技术学报,2018,36(4):87-92
- CHEN Lin, XIAO Guo-sheng, GU Xin, et al. Quality analysis of sweet potato glutinous rice wine during fermentation and storage [J]. Journal of Food Science and Technology, 2018, 36(4): 87-92
- [9] 林灼华.伏特加酒生产工艺研究[J].食品安全导刊,2019,11: 26
- LIN Zhuo-hua. Research on the production technology of vodka [J]. Food Safety Guide, 2019, 11: 26
- [10] 郑健.红薯的营养价值与保健功能[J].科技视界,2018,5: 170-158
- ZHENG Jian. Nutritional value and health care function of sweet potato [J]. Science and Technology Vision, 2018, 5: 170-158
- [11] 张丽丽.紫薯醋发酵工艺的研究[D].沈阳:吉林农业大学, 2014
- ZHANG Li-li. Study on fermentation technology of purple sweet potato vinegar [D]. Shenyang: Jilin Agricultural University, 2014
- [12] 李自强.凉薯果醋酿造工艺的研究[J].食品研究与开发, 2016,37(9):141-143
- LI Zi-qiang. Study on brewing technology of sweet potato vinegar [J]. Food Research and Development, 2016, 37(9): 141-143
- [13] NY/T 2637-2014 水果和蔬菜可溶性固形物含量的测定折射仪法[S]
- NY/T 2637-2014 Determination of Soluble Solids in Fruits and Vegetables-Refractometer Method [S]
- [14] 程柳,李静.3,5-二硝基水杨酸法测定山楂片中还原糖和总糖含量[J].轻工科技.2016,3:25-27
- CHENG Liu, LI Jing. Determination of reducing sugar and total sugar in hawthorn tablets by 3,5- dinitrosalicylic acid method [J]. Light Industry Science and Technology, 2016, 3: 25-27
- [15] 宋娇娇,裴斐,马勇,等.3,5-二硝基水杨酸法测定黄水中总糖的含量[J].酿酒科技,2019,4:113-117
- SONG Jiao-jiao, PEI Fei, MA Yong, et al. Determination of total sugar content in yellow water by 3,5- dinitrosalicylic acid method [J]. Brewing Technology, 2019, 4: 113-117
- [16] 聂昌宏,郑欣,阿依居来克·卡得尔,等.考马斯亮蓝法检测不同乳中乳清蛋白含量[J].食品安全质量检测学报,2019, 10(5):1138-1142
- NIE Chang-hong, ZHENG Xin, Aguillac Kadeer, et al. Determination of whey protein content in different milk by coomassie brilliant blue method [J]. Journal of Food Safety and Quality Testing, 2019, 10(5): 1138-1142
- [17] 赵红宇,陈敦洪,邓良,等.桑葚果酒全渣发酵过程中生物活性物质及其抗氧化活性变化的研究[J].食品工业科技,2015, 36(23):182-189
- ZHAO Hong-yu, CHEN Dun-hong, DENG Liang, et al. Study on the changes of bioactive substances and antioxidant activities in mulberry wine during whole residue fermentation [J]. Food Industry Science and Technology, 2015, 36(23): 182-189
- [18] 李改艳,刘小丹,张琳娜.款冬花多糖功能饮料的制备及其抗氧化能力测定[J].西北药学杂志,2016,31(4):399-402
- LI Gai-yan, LIU Xiao-dan, ZHANG Lin-na. Preparation and antioxidant activity determination of tussilago farfara polysaccharide functional beverage [J]. Northwestern Journal of Pharmacy, 2016, 31(4): 399-402
- [19] GB/T 8314-2013 茶游离氨基酸总量的测定[S]
- GB/T 8314-2013 Determination of Total Free Amino Acids in Tea [S]
- [20] 田强,张梦娜,赵琳,等.厚朴叶不同溶剂提取物抗氧化活性比较分析[J].食品研究与开发,2018,39(16):37-42
- TIAN Qiang, ZHANG Meng-na, ZHAO Lin, et al. Comparative analysis of antioxidant activities of different solvent extracts from magnolia leaves [J]. Food Research and Development, 2018, 39(16): 37-42
- [21] 涂宗财,傅志丰,王辉,等.红薯叶不同溶剂提取物抗氧化性及活性成分鉴定[J].食品科学,2015,36(17):1-6
- TU Zong-cai, FU Zhi-feng, WANG Hui, et al. Antioxidant activity and active component identification of different solvent extracts from sweet potato leaves [J]. Food Science, 2015, 36(17): 1-6
- [22] 魏欢,颜小捷,杨建文,等.核桃叶多酚含量的测定和抗氧化能力的研究[J].广西植物,2018,38(5):596-601
- WEI Huan, YAN Xiao-jie, YANG Jian-wen, et al. Determination of polyphenols in walnut leaves and study on antioxidant capacity [J]. Guangxi Plants, 2018, 38(5): 596-601
- [23] 吕行,黄继红,冯中莹,等.桑葚发酵工艺及其抗氧化活性[J].食品工业,2019,40(9):93-97
- LYU Xing, HUANG Ji-hong, FENG Zhong-ying, et al. Mulberry fermentation process and its antioxidant activity [J]. Food Industry, 2019, 40(9): 93-97
- [24] 蔡文韬,周传云,李彦.红薯乳酸菌发酵饮料的研制[J].农产品加工,2009,11:70-73,77
- CAI Wen-tao, ZHOU Chuan-yun, LI Yan. development of sweet potato lactobacillus fermented beverage [J].

- Agricultural Product Processing, 2009, 11: 70-73, 77
- [25] 涂强.甘薯发酵饮料的研制[D].武汉:华中农业大学,2009
TU Qiang. Preparation of sweet potato fermented beverage [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2009
- [26] 张晓莲,赵东,袁杰彬,等.紫薯酒发酵条件优化及品质特征研究[J].酿酒科技,2015,11:76-80,84
ZHANG Xiao-lian, ZHAO Dong, YUAN Jie-bin, et al. Study on optimization of fermentation conditions and quality characteristics of purple sweet potato wine [J]. Brewing Technology, 2015, 11: 76-80, 84
- [27] 夏慧玲,王水兴,吴凌伟.红薯乳酸菌发酵酸奶的研制[J].食品科技,2008,1:70-72
XIA Hui-ling, WANG Shui-xing, WU Ling-wei. Preparation of yoghurt fermented by sweet potato lactic acid bacteria [J]. Food Science and Technology, 2008, 1: 70-72
- [28] 孔瑾,赵功玲,朱志方.红薯双歧杆菌发酵保健饮料的研制[J].食品工业科技,2008,6:189-192
KONG Jin, ZHAO Gong-ling, ZHU Zhi-fang. Research and development of sweet potato *Bifidobacterium* fermented health drink [J]. Food Industry Science and Technology, 2008, 6: 189-192
- [29] 马永昆,杨艳彬,窦清柱,等.红薯果啤饮料工艺的研究[J].食品科学,2000,2:44-46
MA Yong-kun, YANG Yan-bin, DOU Qing-zhu, et al. Study on the technology of sweet potato fruit beer beverage [J]. Food Science, 2000, 2: 44-46
- [30] Saigusa N, Teragara N, Ohba R. Evaluation of DPPH-radical-scavenging activity and antimutagenicity and analysis of anthocyanins in an alcoholic fermented beverage produced from cooked or raw purple-fleshed sweet potato (*Ipomoea batatas* cv. *Ayamuraski*) roots [J]. Food Science and Technology Research, 2005, 11(4): 390-394
- [31] 李喜泉,杨巍巍,周迎雪,等.山楂叶黄酮功能果酱的研制[J].现代食品,2019,16:54-58
LI Xi-quan, YANG Wei-wei, ZHOU Ying-xue, et al. Development of hawthorn leaf flavone functional jam [J]. Modern Food, 2019, 16: 54-58

(上接第 313 页)

- [19] Wang W D, Zhang P P, Gao S Q, et al. Core-shell nanowires of $\text{NiCo}_2\text{O}_4/\alpha\text{-Co(OH)}_2$ on Ni foam with enhanced performances for supercapacitors [J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2020, 579: 71-81
- [20] Dong X X, Li M Y, Feng N N, et al. A nanoporous MgO based nonenzymatic electrochemical sensor for rapid screening of hydrogen peroxide in milk [J]. RSC Advances, 2015, 5: 86485
- [21] Wang J, Zhou H, Fan D, et al. A glassy carbon electrode modified with nanoporous PdFe alloy for highly sensitive continuous determination of nitrite [J]. Microchimica Acta, 2015, 182: 1055-1061
- [22] Gu B, Liu Z, Wang X, et al. RF magnetron sputtering synthesis of carbon fibers/ZnO coaxial nanocable microelectrode for electrochemical sensing of ascorbic acid [J]. Materials Letters, 2016, 181: 265-267
- [23] Dong X X, Yuan L P, Liu Y X, et al. Development of a progesterone immunosensor based on thionine-graphene oxide composites platforms: improvement by biotin-streptavidin-amplified system [J]. Talanta, 2017, 170: 502-508
- [24] 关桦楠,龚德状,韩博林,等.辣根过氧化物酶脂质体电化学生物传感器检测亚硝酸盐[J].分析试验室,2019,3:279-283
GUAN Hua-nan, GONG De-zhuang, HAN Bo-lin, et al. Fabrication of horseradish peroxidase liposome electrochemical biosensor for rapid detection of nitrite [J]. Chinese Journal of Analysis Laboratory, 2019, 3: 279-283
- [25] 李佳汶,马伟师,陈佳,等.金纳米颗粒修饰酶生物电极检测亚硝酸盐[J].四川理工学院学报(自然科学版),2019, 32(6):8-14
LI Jia-wen, MA Wei-shi, CHEN Jia, et al. Gold nanoparticle modified enzyme bioelectrode for the detection of nitrite [J]. Journal of Sichuan University of Science & Engineering (Natural Science Edition), 2019, 32(6): 8-14
- [26] 朱晓洁,赵伟,许升,等.二茂铁基聚合物/碳纳米管用于亚硝酸盐检测[J].功能高分子学报,2018,31(5):468-477
ZHU Xiao-jie, ZHAO Wei, XU Sheng, et al. Carbon nanotubes modified with ferrocenyl copolymers for nitrite determination [J]. Journal of Functional Polymers, 2018, 31(5): 468-477