

紫甘薯饮料加工技术优化研究

程 微, 刘天植, 徐 壮, 于千惠, 马 月, 包 福, 李 艳, 李苏红, 李拖平*

(沈阳农业大学食品学院, 沈阳 100866)

摘 要: 目的 以紫甘薯为原料研究清汁型和乳酸菌发酵型紫甘薯饮料。**方法** 比较不同料水比及酶处理对紫甘薯汁品质的影响, 采用正交法优化紫甘薯饮料配方。**结果** 紫甘薯与水的比例 1:5 (*m:m*), α -淀粉酶、糖化酶、果胶酶和蛋白酶分别酶解 60、90、60 和 60 min 后制成的紫甘薯汁澄清透亮。清汁型紫甘薯饮料以紫甘薯汁复配 6.0%蔗糖、4.0%蜂蜜、0.10%柠檬酸及 0.1%的黄原胶和羧甲基纤维素钠。发酵型紫甘薯饮料以乳酸菌接种量 1.0%、初始 pH 6.5、发酵时间 24 h, 制得的紫甘薯发酵液配合以 0.10%柠檬酸、4.0%蜂蜜及 0.1%的黄原胶和羧甲基纤维素钠。**结论** 清汁型紫甘薯饮料形态稳定, 色香味俱佳。发酵型紫甘薯饮料富含花青素类色素、可溶性蛋白、维生素、矿质元素等多种营养成分, 具有浓郁的紫甘薯香味和乳酸风味。

关键词: 紫甘薯; 乳酸菌; 饮料; 发酵; 工艺

Optimization of processing technologies of purple sweet potato beverage

CHENG Wei, LIU Tian-Zhi, XU Zhuang, YU Qian-Hui, MA Yue, BAO Fu,
LI Yan, LI Su-Hong, LI Tuo-Ping*

(College of Food Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 100866, China)

ABSTRACT: Objective To research of clear juice and lactic acid bacteria fermented beverage taking purple sweet potato as raw materials. **Methods** The effects of different material-water ratio and enzyme treatment on the quality of purple sweet potato beverage were compared and the formula of purple sweet potato beverage was optimized by orthogonal design. **Results** The purple sweet potato beverage of high clear and bright could be prepared under the follow conditions: Ratio of purple sweet potato to water was 1:5 (*m:m*), α -amylase, glucoamylase, pectinase and protease for 60, 90, 60 and 60 min respectively. The clear juice type purple sweet potato beverage was prepared by compounding purple sweet potato beverage with 6.0% sucrose, 4.0% honey, 0.10% citric acid, 0.1% xanthan gum and sodium carboxymethyl cellulose. The fermented purple sweet potato beverage was prepared with lactic acid bacteria inoculation amount of 1.0%, initial pH of 6.5, and fermentation time of 24 h, and the prepared purple sweet potato fermentation broth was mixed with 0.10% citric acid, 4.0% honey, and 0.1% xanthan gum and sodium carboxymethyl cellulose. **Conclusion** The clear juice purple sweet potato beverage can be obtained stable shape, good color, flavor and taste. The fermented purple sweet potato beverage can be obtained various nutrients such as anthocyanin pigments, soluble protein, vitamins, and minerals, with strong purple sweet potato and lactic acid flavor.

KEY WORDS: purple sweet potato; lactic acid bacteria; beverage; fermentation; technology

基金项目: 辽宁省科技特派项目(2021030219-JH5/104)

Fund: Supported by the Liaoning Science and Technology Special Project (2021030219-JH5/104)

*通信作者: 李拖平, 博士, 教授, 主要研究方向为农产品加工与贮藏。E-mail: litp@syau.edu.cn

*Corresponding author: LI Tuo-Ping, Ph.D, Professor, College of Food Science, Shenyang Agricultural University, 120 Dongling Road, Shenhe District, Shenyang 100866, China. E-mail: litp@syau.edu.cn

0 引言

紫甘薯是旋花科一年或多年生的草本植物,薯肉颜色呈紫至深紫色,富含花色苷^[1-2],具有抗氧化^[3-6]、抗肿瘤^[7-9]、抗癌症^[10-11]、抗衰老^[12]、降血压^[13-14]、降血脂^[15-17]、增强人体免疫力^[18-19]等功能。紫甘薯中的花色苷和多糖对肠道益生菌有增殖作用,林翔凯^[20]以紫甘薯多糖为原料进行实验,结果表明紫甘薯多糖能促进双歧杆菌的增殖。此外,紫甘薯还含有丰富的纤维素,可以净化肠道环境^[21-23]。因此日常饮食中食用适量的紫甘薯或紫甘薯加工产品能更好地促进人体肠道内益生菌的增殖,刺激和促进肠道蠕动,改善便秘^[24]。目前我国甘薯的种植面积和产量均居世界首位,但深加工和利用率均比较低,很少见到紫甘薯作原料的饮料制品^[25]。这是因为紫甘薯类饮料在生产过程中存在着如下的问题:含有的大量淀粉,易沉降老化而使饮料分层,并有沙砾感进而影响饮料的口感;紫甘薯饮料调味过程中酸甜不协调,或紫甘薯香气不明显。这些问题的存在,会严重影响紫甘薯饮料的市场接受度^[26]。因此,本研究以紫甘薯为原料研究了清汁型和乳酸菌发酵型紫甘薯饮料制备的关键技术与工艺,在满足消费者对饮料口感及营养需求的同时,为紫甘薯深加工提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

甘薯选肉质深紫色、均匀的紫心甘薯品种,购于辽宁省辽阳市农场; α -淀粉酶(2000 U/g)、酸性蛋白酶(50000 U/g)、糖化酶(100000 U/g)、果胶酶(10000 U/g)(肇东市日成酶制剂有限公司);大双八酸奶(辽宁省锦州市双八有限公司);蜂蜜[食品级,北京同仁堂蜂产品(江山)有限公司];蔗糖(食品级,安徽金禾实业股份有限公司);柠檬酸(食品级,上海新川崎食品有限公司);羧甲基纤维素钠(carboxymethylcellulose sodium, CMC-Na, 食品级,江苏锐康莱科技有限公司);黄原胶(食品级,山东阜丰发酵有限公司);酒石酸钾钠、苯酚、3,5-二硝基水杨酸(3,5-dinitrosalicylic acid, DNS)、氢氧化钠(分析纯,国药集团化学试剂有限公司)。

1.2 仪器与设备

FA2104N 电子分析天平(精度 0.0001 g, 上海民桥精密科学仪器有限公司);pHS-3C 精密 pH 计(上海精科雷磁有限公司);GSP-77-03 磁力搅拌器(泰县分析仪器厂);HH-4 数显恒温水浴锅(国华电器有限公司);7230G 可见分光光度计(上海精密科学有限公司);TG-16 高速离心机(巩义市予华仪器有限公司);SHP-250 型恒温箱(上海精宏实验设备有限公司);LDZX-30KBS 立式压力蒸汽灭菌器(上海

申安医疗器械厂);SZ-360 机械打浆机(济南旭众机械设备有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 清汁型紫甘薯饮料工艺流程

新鲜紫甘薯→挑选(无霉变、无腐烂、无严重机械伤、无木质化)→清洗(用清水将原料表面的污物、泥沙冲洗干净)→蒸煮(切片、蒸锅蒸 20 min)→去皮→打浆(紫甘薯与水以一定的比例打浆)→酶解(α -淀粉酶温度 75 °C、pH 6.4;糖化酶温度 60 °C、pH 4.5;果胶酶、蛋白酶温度 40 °C、pH 4.0)→双层纱布过滤→调配(将蜂蜜与蔗糖混合均匀,加入温水并不断搅拌溶解,过滤备用;然后将蜂蜜、蔗糖、柠檬酸分别加入过滤后的紫甘薯汁液中,在加入的过程中不停搅拌,以防结块)→玻璃瓶灌装→压盖密封→杀菌(80 °C、20 min)→成品。

1.3.2 乳酸菌发酵型紫甘薯饮料工艺流程

新鲜紫甘薯→挑选→清洗→蒸煮→去皮→打浆→酶解→双层纱布过滤→接种(在无菌条件下,将直投式酸奶发酵剂接入紫甘薯汁中)→发酵(温度 37 °C)→调配→玻璃瓶灌装→压盖密封→杀菌→成品。

操作要点同清汁型紫甘薯饮料。

1.3.3 紫甘薯汁单因素实验

(1)打浆料水比对紫甘薯汁品质的影响

分别对料水比按 1:1、1:3、1:5、1:7 ($m:m$) 4 种处理制得的紫甘薯汁进行感官评价。

(2)紫甘薯汁酶解时间的确定

添加 0.3 mL/kg α -淀粉酶于预处理好的紫甘薯汁中,在 pH 6.4、75 °C 恒温水浴中分别酶解 0、30、60、90 min,测定液化液可溶性固形物含量;添加 0.2 mL/kg 糖化酶于灭酶后的液化液中,在 pH 4.5、60 °C 恒温水浴中分别酶解 0、30、60、90 min,测定糖化液还原糖含量;添加 0.2 mL/kg 果胶酶于灭酶后的糖化液中,在 pH 4.0、60 °C 恒温水浴中分别酶解 0、30、60、90 min,测定出汁率;添加 0.2 mL/kg 蛋白酶于灭酶后的紫甘薯汁中,在 pH 4.0、60 °C 恒温水浴中分别酶解 0、30、60、90 min,测定透光率。

1.4 检测方法

1.4.1 感官评价

紫甘薯饮料感官评定标准见表 1。根据产品的色泽、香气、滋味、组织状态 4 个方面进行综合评定,请本校有相关品评经验的 10 名男同学、10 名女同学及 10 名教师打分,每项均为 25 分制,计算各项平均得分后,再相加,即为总得分。

1.4.2 理化指标测定

(1)还原糖含量测定

3,5-二硝基水杨酸法测定还原糖含量^[27]。

DNS 试剂的配制:酒石酸钾钠 18.2 g,溶于 50 mL 蒸馏水中,加热,于热溶液中依次加入 DNS 0.03 g、NaOH 2.1 g、

苯酚 0.5 g, 搅拌至溶, 冷却后用蒸馏水定容至 100 mL, 贮于棕色瓶中, 室温保存。

表 1 感官评分标准
Table 1 Sensory evaluation standard

项目	标准	分数		
清汁型饮料	色泽	红色 深红色 紫红色或粉红色	20~25 15~19 <15	
	香气	浓郁的甘薯味 甘薯味较淡 无甘薯味	20~25 15~19 <15	
	滋味	酸甜适口, 口感协调 酸甜较适口, 口感较协调 过酸或过甜, 口感不协调	20~25 15~19 <15	
	组织状态	体系均一, 无沉淀 微浑浊略有沉淀 浑浊, 有明显沉淀	20~25 15~19 <15	
	色泽	玫瑰红色 深红色 紫红色或粉红色	20~25 15~19 <15	
	香气	浓郁的甘薯和乳酸混合香气 甘薯和乳酸味较淡 无甘薯和乳酸风味	20~25 15~19 <15	
	滋味	酸甜可口, 滋味协调 酸甜较可口, 滋味较协调 过酸或过甜, 滋味不协调	20~25 15~19 <15	
	组织状态	体系均一, 无沉淀 微浑浊, 有少量沉淀 浑浊, 沉淀明显	20~25 15~19 <15	
	发酵型饮料	色泽	玫瑰红色 深红色 紫红色或粉红色	20~25 15~19 <15
		香气	浓郁的甘薯和乳酸混合香气 甘薯和乳酸味较淡 无甘薯和乳酸风味	20~25 15~19 <15
滋味		酸甜可口, 滋味协调 酸甜较可口, 滋味较协调 过酸或过甜, 滋味不协调	20~25 15~19 <15	
组织状态		体系均一, 无沉淀 微浑浊, 有少量沉淀 浑浊, 沉淀明显	20~25 15~19 <15	

测定方法: 取试样 3 g, 离心后定容至 100 mL, 取 0.1 g/100 mL 葡萄糖标准溶液为 0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.2 mL, 稀释后的样液 0.5 mL 置于 25 mL 容量管中, 各加入蒸馏水至 2 mL, 各加入 DNS 试剂 1.5 mL, 放入沸水浴 5 min 后, 然后以流水迅速冷却, 用蒸馏水定容至 20 mL, 摇匀。以空白调零, 在 540 nm 处测定吸光度, 绘制标准曲线, 并计算样品中的还原糖的含量。

(2) 酸度的测定

参考 GB 5009.239—2016《食品安全国家标准 食品酸度测定》, 用滴定法进行测定。

(3) 透光率的测定

采用分光光度法^[28]。取一定量紫甘薯汁并用蒸馏水稀释, 4000 r/min 离心 10 min, 以蒸馏水作空白, 于 420 nm 下测定透光率。

(4) 可溶性固形物含量测定

参照行业标准 SB/T 10203—1994《中华人民共和国行业标准 水果及水果浓缩汁》测定可溶性固形物含量, 结果以折光浓度 °Bx 表示。

1.5 数据处理

Excel 2013 版本处理数据, SPSS 24.0 数据分析软件对结果进行统计学分析, 使用 Origin Pro 8.5.1 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 紫甘薯汁制备工艺研究

2.1.1 打浆料水比对紫甘薯汁品质的影响

紫甘薯与水的比例为 1:1、1:3 (*m:m*) 时, 紫甘薯汁过于浓稠, 口感不佳。比例为 1:7 (*m:m*) 时, 紫甘薯汁香味淡, 浆液颜色浅, 影响紫甘薯饮料的整体风味。比例为 1:5 (*m:m*) 时, 紫甘薯汁流动性好、香气浓郁、呈鲜艳的红色, 所以下列实验紫甘薯与水的比例为 1:5 (*m:m*)。

2.1.2 紫甘薯汁酶解时间的确定

α -淀粉酶是一种液化型、内切型淀粉酶, 作用于淀粉时以无规则的方式酶切其内部 α -1,4 糖苷键, 使得淀粉黏度快速下降, 生成物为环状糊精以及少部分还原糖^[29]。随液化时间的延长, 紫甘薯汁中可溶性固形物含量增加。当酶解时间为 60 min 时可溶性固形物含量达到最大值 7.0%, 随后趋于稳定。这可能是由于随着水解程度加深, 不断累积的酶解产物会抑制酶活性, 导致液化 60 min 后可溶性固形物含量趋于稳定, 这与李政浩等^[30]的研究结果趋势保持一致。因此, 确定 α -淀粉酶的酶解时间为 60 min。

糖化酶从淀粉分子链的非还原性末端开始, 分解 α -1,4 葡萄糖苷键生成葡萄糖, 也有少量水解 α -1,6 和 α -1,3 糖苷键, 是水解淀粉产生葡萄糖的主要酶类^[31]。随着糖化时间的延长, 紫甘薯汁中还原糖含量增加。当酶解时间为 90 min 时还原糖含量达到最大值 5.5%, 继续增加酶解时间, 还原糖含量变化不明显, 这主要是因为酶反应速度取决于酶和底物的浓度^[32], 糖化反应初始阶段底物浓度高, 酶反应速度受时间的影响较大, 糖化液中还原糖含量急剧增加; 当反应达到平衡后, 反应速度受底物浓度的影响更多, 底物浓度逐渐下降, 反应速率也随之降低, 故还原糖含量增加不明显, 这与张碧莹^[33]的研究结果趋势保持一致。因此, 确定糖化酶的酶解时间为 90 min。

随着果胶酶酶解时间的延长, 紫甘薯出汁率增加, 当酶解时间为 60 min 时出汁率达到最大值 85%, 继续增加酶解时间, 出汁率达到饱和状态, 确定果胶酶的酶解时间为 60 min。

随着蛋白酶酶解时间的延长, 紫甘薯汁透光率增加, 当酶解时间为 60 min 时透光率达到最大值 90%, 继续增加酶解时间, 透光率变化不明显, 确定蛋白酶的酶解时间为 60 min。

2.2 清汁型紫甘薯饮料调配工艺

2.2.1 清汁型紫甘薯饮料配方的优化

根据决定饮料口感的呈味物质用量, 通过正交实验

确定最佳配方。以柠檬酸(A)、蔗糖(B)、蜂蜜(C)为实验因素(表2)对清汁型紫甘薯饮料配方进行优化,结果如表3所示。由极差分析可知对饮料影响最大的是C,其次是A与B。以组合 $A_1B_2C_2$ 评分最高,即清汁型紫甘薯饮料最优配方为0.10%柠檬酸、6.0%蔗糖、4.0%蜂蜜。在此条件下验证实验感官评分为93,结果比正交表中实验因素水平组合略高。

表2 正交实验因素水平表
Table 2 Factor level of orthogonal test

水平	因素		
	A 柠檬酸/%	B 蔗糖/%	C 蜂蜜/%
1	0.10	4.0	2.0
2	0.15	6.0	4.0
3	0.20	8.0	6.0

表3 正交实验结果
Table 3 Results of orthogonal test

实验号	A	B	C	感官评分				总分
				色泽	香气	滋味	口感	
1	1	1	1	22	20	22	21	85
2	2	1	2	21	22.5	19	21.5	84
3	3	1	3	19	21	22	22	84
4	1	2	2	22	22.5	23.5	21	89
5	2	2	3	22	21.5	21	21.5	86
6	3	2	1	20	20	21	22	83
7	1	3	3	22.5	22	20.5	19	84
8	2	3	1	22	21	20	20	83
9	3	3	2	21	22.5	21	21.5	86
k_1	258	253	251					
k_2	253	258	259					
k_3	253	253	254					
R	5	5	8					
优水平	A_1	B_2	C_2					

经上述优化工艺制得的清汁型紫甘薯饮料澄清透亮,呈鲜艳的红色,具有浓郁的天然紫甘薯香气,酸甜可口,清爽细腻,可溶性固形物含量为11.7 °Bx,还原糖含量为6.1%,pH为3.8。

2.2.2 稳定剂对紫甘薯饮料品质的影响

分别对以单一的稳定剂黄原胶(0.2%)、CMC-Na(0.2%)及黄原胶和CMC-Na的复合物(0.1%)3种处理制得的紫甘

薯饮料进行感官评价。稳定剂可以提高饮料的黏稠度,阻碍大分子蛋白质、淀粉等颗粒沉淀,脂肪聚集,使饮料保持均匀稳定状态^[34-35],因此稳定剂的选择是影响饮料品质的主要因素。结果如表4所示,使用单一稳定剂时,饮料质地黏稠、流动性差,出现分层现象。黄原胶和CMC-Na的复合稳定剂制得的紫甘薯饮料体系均一、无分层、无沉淀。这与杨金妹^[36]的研究结果一致,复合稳定剂对饮料的稳定性较单一稳定剂好。在此条件下验证实验感官评分为92,结果比实验因素水平略高。

表4 不同稳定剂对饮料品质的影响
Table 4 Effects of different stabilizers on beverage quality

稳定剂种类	使用量/%	感官评分
黄原胶	0.2	73
CMC-Na	0.2	81
黄原胶+CMC-Na	0.1+0.1	91

2.3 乳酸菌发酵型紫甘薯饮料加工工艺的确定

2.3.1 单因素实验

(1)接种量对饮料酸度及感官品质的影响

以酸度和感官评分为指标,考察乳酸菌接种量分别为1.0%、5.0%、10.0%对紫甘薯饮料感官品质的影响。乳酸菌接种量影响其代谢产生的乳酸量及饮料的感官品质^[37]。如图1a所示,随着乳酸菌接种量的增加,紫甘薯饮料的酸度呈现上升趋势,而感官评分呈现下降趋势,在接种量为1.0%时,饮料感官评分最高、口感最佳,确定乳酸菌的最适接种量为1.0%。

(2)初始pH对紫甘薯饮料酸度及感官品质的影响

以酸度和感官评分为指标,考察初始pH分别为6.0、6.5、7.0对紫甘薯饮料感官品质的影响。初始pH对饮料酸度及感官品质的影响如图1b所示。随着pH增加,酸度呈现下降趋势,初始pH在6.0~6.5之间,感官评分随着pH增加而升高,在pH6.5时,感官评分最高,此时饮料酸甜适口,具有浓郁的甘薯和乳酸混合香气。此后随着pH继续升高,感官评分反而下降,确定紫甘薯饮料发酵的最适初始pH为6.5。

(3)发酵时间对紫甘薯饮料酸度及感官品质的影响

以酸度和感官评分为指标,考察发酵时间分别为12、24、36h对紫甘薯饮料感官品质的影响。发酵时间直接影响乳酸菌发酵代谢物的产量及饮料的感官品质^[38]。如图1c所示,随着发酵时间的延长,紫甘薯饮料的酸度呈现上升趋势。在12~24h内,感官评分随着时间的延长而增加,在24h时,感官评分最高,此后随着时间延长,感官评分反而下降,所以确定紫甘薯饮料的最适发酵时间为24h。

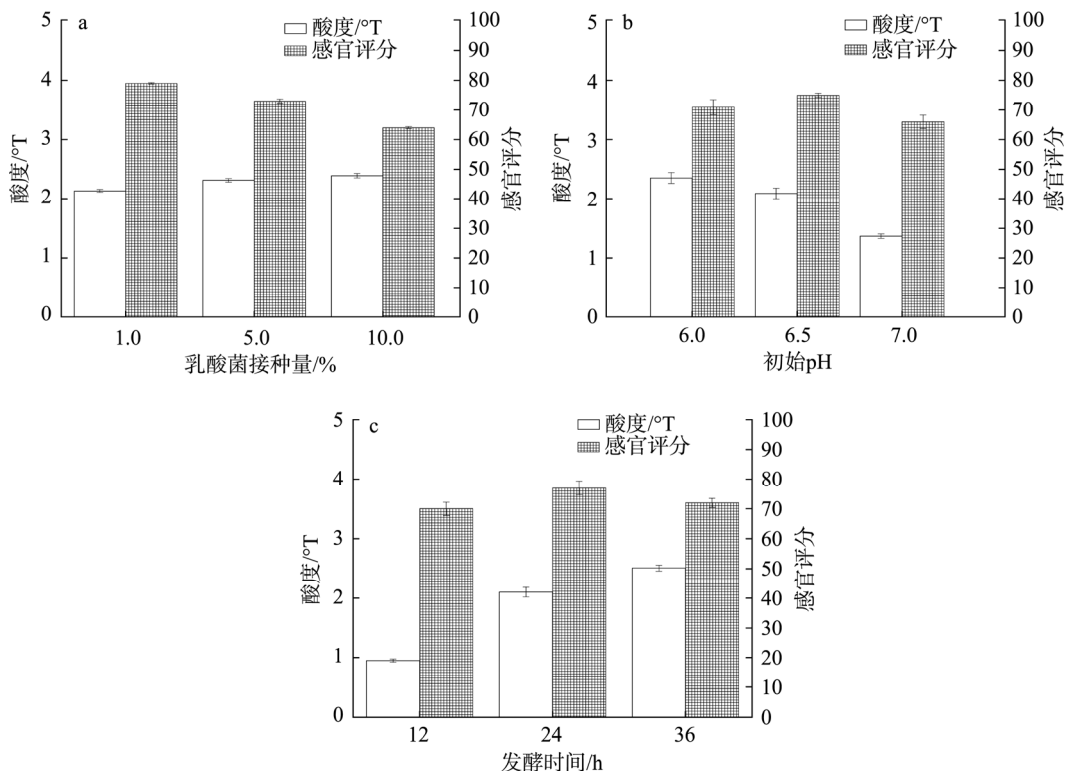


图 1 乳酸菌接种量、初始 pH 和发酵时间对发酵型紫甘薯饮料酸度及感官品质的影响(n=3)

Fig.1 Effects of inoculation amount of lactic acid bacteria, initial pH and fermentation time on acidity and sensory quality of fermented purple sweet potato beverage (n=3)

(4)发酵工艺优化

在单因素实验的基础上, 选取接种量、初始 pH 和发酵时间 3 个因素, 以酸度和感官评分为考核指标, 设计正交实验优化工艺(表 5), 结果如表 6 所示, 由极差分析可知对发酵工艺影响最大的是 G, 其次是 F 与 E, 最佳组合是 E₂F₁G₃。即乳酸菌接种量 1.0%、初始 pH 6.5、发酵时间 24 h。在此条件下验证实验感官评分为 90, 结果比正交表中实验因素水平组合略高。

表 5 正交实验因素水平表
Table 5 Factor level of orthogonal test

水平	因素		
	E 接种量/%	F 初始 pH	G 发酵时间/h
1	0.5	6.5	12
2	1.0	7.0	18
3	1.5	7.5	24

2.3.2 乳酸菌发酵型紫甘薯饮料调配工艺的确定

(1)蜂蜜添加量对饮料感官品质的影响

以感官评分为指标, 考察蜂蜜添加量分别 2.0%、4.0%、6.0%对成品紫甘薯饮料品质的影响。

蜂蜜是一种天然健康的甜味剂, 并且不易导致龋齿。蜂蜜添加量对饮料感官品质的影响如图 2a 所示, 蜂蜜添加量小于 4.0%时, 口味淡。添加量 4.0%时, 口味最佳, 感官评分最高。而继续增加蜂蜜用量, 甜味重、口感腻, 所以

确定蜂蜜添加量为 4.0%。

表 6 正交实验结果

Table 6 Results of orthogonal test

实验号	E	F	G	酸度/°T	感官评分
1	1	1	1	0.900	73
2	1	2	3	1.350	82
3	1	3	2	1.242	70
4	2	2	2	1.575	72
5	2	3	1	0.830	71
6	2	1	3	2.079	89
7	3	3	3	1.188	78
8	3	1	2	1.620	72
9	3	2	1	0.620	76
k ₁	3.492	4.599	2.350		
k ₂	4.484	3.545	3.437		
k ₃	3.428	3.260	4.617		
R	1.056	1.339	2.267		
优水平	E ₂	F ₁	G ₃		
k ₁	225	234	220		
k ₂	232	230	214		
k ₃	226	219	249		
R	7	15	35		
优水平	E ₂	F ₁	G ₃		

(2)柠檬酸添加量对饮料感官品质的影响

以感官评分为指标, 考察柠檬酸添加量分别为

0.05%、0.10%、0.15%时对成品紫甘薯饮料品质的影响。柠檬酸添加量对饮料感官品质的影响如图 2b 所示, 柠

檬酸添加量 0.10%时, 酸甜适口, 感官评分最高。继续增加柠檬酸量, 感官评分反而降低, 确定柠檬酸用量为 0.10%。

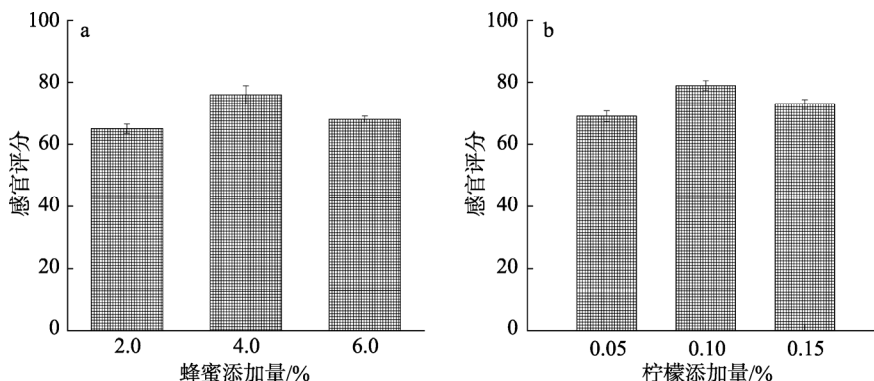


图 2 蜂蜜添加量和柠檬酸添加量对发酵型紫甘薯饮料感官品质的影响($n=3$)

Fig.2 Effects of honey addition and citric acid addition on sensory quality of fermented purple sweet potato beverage ($n=3$)

经上述工艺制得的乳酸菌发酵型紫甘薯饮料质地均一, 呈玫瑰红色, 具有乳酸和紫甘薯的混合香气, 酸甜适中, 口感细腻, 可溶性固形物含量为 11.5 °Bx, 还原糖含量为 6.2%, pH 为 3.7。

3 结论

本研究以紫甘薯为原料, 经蒸煮、打浆、并经 α -淀粉酶、糖化酶、果胶酶和蛋白酶顺次酶解后制得透亮的宝石红紫甘薯汁。紫甘薯汁复配 6.0%蔗糖、0.10%柠檬酸、4.0%蜂蜜、0.1%的黄原胶和 CMC-Na 复合稳定剂, 得到质地均一、稳定效果好的清汁型紫甘薯饮料, 具有浓郁的紫甘薯香。进一步对紫甘薯汁接种乳酸菌进行发酵, 并对发酵型紫甘薯饮料制备技术参数和工艺条件进行了优化, 得到了玫瑰红色泽、酸甜适口、口感细腻, 且具有乳酸和紫甘薯混合香气的紫甘薯乳酸菌发酵饮料。研究结果为紫甘薯深加工增添了新的技术和产品, 具有广阔的市场前景。

参考文献

- [1] HUANG YX, ZHOU SY, ZHAO GH, *et al.* Destabilisation and stabilisation of anthocyanins in purple-fleshed sweet potatoes: A review [J]. Trends Food Sci Technol, 2021, 10(116): 1141–1154.
- [2] HAN Y, GUO YT, CUI SW, *et al.* Purple sweet potato extract extends lifespan by activating autophagy pathway in male drosophila melanogaster [J]. Exp Gerontol, 2021, 2(144): 111190.
- [3] YONG HM, WANG XC, BAI RY, *et al.* Development of antioxidant and intelligent pH-sensing packaging films by incorporating purple-fleshed sweet potato extract into chitosan matrix [J]. Food Hydrocolloid, 2019, 90: 216–224.
- [4] CAI Z, SONG LH, QIAN BJ, *et al.* Understanding the effect of anthocyanins extracted from purple sweet potatoes on alcohol-induced liver injury in mice [J]. Food Chem, 2018, 245: 463–470.
- [5] HUMIA BV, KLEBSON SS, JADERSON KS, *et al.* Physicochemical and sensory profile of Beaugard sweet potato beer [J]. Food Chem, 2020, 312: 126087.
- [6] SUN QL, SONG XQ, MUJUNMDAR AS, *et al.* Effects of blanching drying methods on the structure and physicochemical properties of starch in sweet potato slices [J]. Food Hydrocolloid, 2022, 1: 107543.
- [7] GOU YR, SUN J, LIU J, *et al.* Structural characterization of a water-soluble purple sweet potato polysaccharide and its effect on intestinal inflammation in mice [J]. J Funct Foods, 2019, 61: 103502.
- [8] TANG C, SUN J, LIU J, *et al.* Immune-enhancing effects of polysaccharides from purple sweet potato [J]. Int J Biol Macromol, 2019, 123: 923–930.
- [9] LUO D, MU TH, SUN HN, *et al.* Profiling of phenolic acids and flavonoids in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) leaves and evaluation of their anti-oxidant and hypoglycemic activities [J]. Food Biosci, 2021, 2(39): 100801.
- [10] JI CF, ZHANG ZY, ZHANG BH, *et al.* Purification, characterization, and *in vitro* antitumor activity of a novel glucan from the purple sweet potato *Ipomoea batatas* (L.) Lam [J]. Carbohydr Polym, 2021, 257: 117605.
- [11] ZHENG Q, LE ZW, HAN FR, *et al.* Inhibitory regulation of purple sweet potato polysaccharide on the hepatotoxicity of tri-(2,3-dibromopropyl) isocyanate [J]. Int J Biol Macromol, 2022, 1(194): 445–451.
- [12] QI Z, LIN L, LI FH, *et al.* The anthocyanin extracts from purple-fleshed sweet potato exhibited anti-photoaging effects on ultraviolet B-irradiated BALB/c-nu mouse skin [J]. J Funct Food, 2020, 64: 103640.
- [13] 刘军伟, 胡志和. 超高压处理对紫甘薯中多酚氧化酶活性的影响[J]. 食品科学, 2012, 33: 262–265.
- [14] LIU JW, HU ZH. Effect of ultra high pressure treatment on polyphenol oxidase activity in purple sweet potato [J]. Food Sci, 2012, 33: 262–265.
- [15] TORRES A, AGUILAR-OSORIO G, CAMACHO M, *et al.* Characterization of polyphenol oxidase from purple sweet potato (*Ipomoea batatas* L. Lam) and its affinity towards acylated anthocyanins and caffeoylquinic acid derivatives [J]. Food Chem, 2021, 356: 129709.
- [16] 彭强, 高彦祥, 袁芳. 紫甘薯及其花色苷的研究与开发进展[J]. 食品科学, 2010, 31: 401–405.
- [17] PENG Q, GAO YX, YUAN F. Research and development of purple sweet potato and its anthocyanins [J]. Food Sci, 2010, 31: 401–405.
- [18] HWANG YP, CHOI JH, HAN EH, *et al.* Purple sweet potato anthocyanins attenuate hepatic lipid accumulation through activating adenosine monophosphate-activated protein kinase in human HepG₂ cells and obese mice [J]. Nutr Res, 2011, 31(12): 896–906.
- [19] LIU M, ZHOU SH, LI YX, *et al.* Structure, physicochemical properties

- and effects on nutrients digestion of modified soluble dietary fiber extracted from sweet potato residue [J]. *Food Res Int*, 2021, 12(150): 110761.
- [18] 王冬梅, 王建玲, 孙妮娜, 等. 紫甘薯的营养成分及开发利用研究[J]. *安徽农业科学*, 2014, (20): 6762-6763.
WANG DM, WANG JL, SUN NN, *et al.* Study on the nutritional components and development and utilization of purple sweet potato [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2014, (20): 6762-6763.
- [19] DING YY, SHEN MY, WEI DM, *et al.* Study on compatible characteristics of wheat and purple sweet potato starches [J]. *Food Hydrocolloid*, 2020, 107: 105961.
- [20] 林翔凯. 紫薯多糖的提取及功能特性的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2014.
LIN XK. Study on extraction and functional characteristics of purple sweet potato polysaccharide [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2014.
- [21] LI SH, AN YF, FU WN, *et al.* Changes in anthocyanins and volatile components of purple sweet potato fermented alcoholic beverage during aging [J]. *Food Res Int*, 2017, 100: 23-240.
- [22] SUN J, CHEN H, KAN J, *et al.* Anti-inflammatory properties and gut microbiota modulation of an alkali-soluble polysaccharide from purple sweet potato in DSS-induced colitis mice [J]. *Int J Biol Macromol*, 2020, 153: 708-722.
- [23] ZHU LL, MU TH, MA MM, *et al.* Nutritional composition, antioxidant activity, volatile compounds, and stability properties of sweet potato residues fermented with selected lactic acid bacteria and bifidobacteria [J]. *Food Chem*, 2022, 4(374): 131500.
- [24] 张婷, 陈小伟, 张琪, 等. 紫薯功能性与其食品研究开发研究进展[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(13): 315-319, 324.
ZHANG T, CHEN XW, ZHANG Q, *et al.* Function of purple potato and its food research and development [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2018, 39(13): 315-319, 324.
- [25] 刘婷婷, 李新华, 陈红丽. 紫甘薯酶解及全质饮料调配技术[J]. *食品与发酵工业*, 2013, 39(6): 5.
LIU TT, LI XH, CHEN HL. Enzymatic hydrolysis of purple sweet potato and blending technology of whole beverage [J]. *Food Ferment Ind*, 2013, 39(6): 5.
- [26] 单珊, 周惠明, 朱科学. 紫薯淀粉理化性质的研究[J]. *粮食与饲料工业*, 2011, (4): 27-30.
DAN S, ZHOU HM, ZHU KX. Study on physicochemical properties of purple potato starch [J]. *Cere Feed Ind*, 2011, (4): 27-30.
- [27] 杨俊慧, 郑岚, 马耀宏, 等. 马铃薯中还原糖不同测定方法的比较[J]. *食品研究与开发*, 2011, 32(6): 104-107.
YANG JH, ZHENG L, MA YH, *et al.* Comparison of different determination methods of reducing sugar in potato [J]. *Food Res Dev*, 2011, 32(6): 104-107.
- [28] 刘建军. 甘薯饮料加工工艺及其稳定性研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2009.
LIU JJ. Study on processing technology and stability of sweet potato beverage [D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2009.
- [29] 曹慧慧, 胡珈玮, 桂波, 等. 中高温 α -淀粉酶热稳定性的研究进展[J]. *绿色科技*, 2019, 4(8): 244-245.
CAO HH, HU JW, GUI B, *et al.* Research progress on thermal stability of medium and high temperature α -amylase [J]. *J Green Sci Technol*, 2019, 4(8): 244-245.
- [30] 李政浩, 罗仓学. 甘薯浓缩汁加工过程中液化和糖化的工艺研究[J]. *食品工业科技*, 2010, 31(2): 212-214.
LI ZH, LUO CX. Study on liquefaction and saccharification of concentrated sweet potato juice processing parameters [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2010, 31(2): 212-214.
- [31] 朱婧, 青艳, 廖思明, 等. 一株酸性糖化酶的分离纯化及酶学性质研究[J]. *现代食品科技*, 2012, 28(10): 1294-1297.
ZHU J, QING Y, LIAO SM, *et al.* Purification and characterization of an acid glucoamylase [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2012, 28(10): 1294-1297.
- [32] 张涛. 紫甘薯浓缩汁的酶法生产工艺及其特性研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2012.
ZHANG T. Study on enzymatic production technology and characteristics of purple sweet potato concentrated juice [D]. Tianjin: Tianjin University of Science & Technology, 2012.
- [33] 张碧莹. 甘薯鲜榨汁工艺及品质特性研究[D]. 重庆: 西南大学, 2018.
ZHANG BY. Study on technology and quality characteristics of sweet potato fresh juice [D]. Chongqing: Southwest University, 2018.
- [34] 孙梦雅, 刘珊, 顾文娟, 等. 不同类型稳定剂和乳化剂对冰淇淋品质特性的影响[J]. *食品工业科技*, 2021, 4(42): 76-78.
SUN MY, LIU S, GU WJ, *et al.* Effects of different stabilizers and emulsifiers on the quality of ice cream [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2021, 4(42): 76-78.
- [35] 朱红, 钮福祥, 张爱君, 等. 紫甘薯饮料加工工艺研究[J]. *食品科学*, 2008, 2(24): 106-109.
ZHU H, NIU FX, ZHANG AJ, *et al.* Study on processing technology of purple sweet potato milk beverage [J]. *Food Sci*, 2008, 2(24): 106-109.
- [36] 杨金妹. 羧甲基纤维素钠在食品工业中的应用研究[J]. *农产品加工*, 2014, 11(11): 76-78.
YANG JS. Application of sodium carboxymethyl cellulose in food industry [J]. *Farm Prod Process*, 2014, 11(11): 76-78.
- [37] 齐希光, 张晖, 钱海峰, 等. 紫薯乳酸菌发酵饮料的发酵工艺研究[J]. *食品科技*, 2014, 39(9): 123-125.
QI XG, ZHANG H, QIAN HF, *et al.* Study on fermentation technology of purple sweet potato beverage fermented by lactic acid bacteria [J]. *Food Sci Technol*, 2014, 39(9): 123-125.
- [38] 黄和升, 王海平. 紫甘薯乳酸菌饮料工艺技术研究[J]. *食品研究与开发*, 2015, 36(20): 60-62.
HUANG HS, WANG HP. Study on technology of purple sweet potato lactobacillus beverage [J]. *Food Res Dev*, 2015, 36(20): 60-62.

(责任编辑: 张晓寒 韩晓红)

作者简介



程微, 硕士研究生, 主要研究方向为农产品加工与贮藏。

E-mail: 2943915210@qq.com



李拖平, 博士, 教授, 主要研究方向为农产品加工与贮藏。

E-mail: litp@syau.edu.cn