

基于酶法制备的凉薯饮料配方优化及品质测定

谭沙*, 岑士杰, 田英, 陈雪英, 陆义霞, 宋小林, 王美丽, 胡沙

(铜仁学院材料与化学工程学院, 铜仁 554300)

摘要: 目的 对基于酶法制备的凉薯饮料配方进行优化, 并对其品质进行测定。**方法** 凉薯为主要原料, 羧甲基纤维素钠(carboxymethyl cellulose-Na, CMC-Na)、白砂糖、柠檬酸、木糖醇为辅料, 凉薯经液化、糖化后, 使用单因素及正交实验研究各辅料对凉薯饮料品质的影响, 并对凉薯饮料总酸、总糖、可溶性固形物进行测定。**结果** 凉薯饮料最优配方为: 白砂糖添加量 8% (*m/V*, 下同)、柠檬酸添加量 0.12%、木糖醇添加量 1%、CMC-Na 添加量 0.18%。在此最优配方条件下, 凉薯饮料感官评分为 86.9 分、总酸含量为 0.55%、总糖含量为 7.97%、可溶性固形物含量为 11.0%。**结论** 在优化的条件下, 饮料组织均匀、酸甜适中、回味清爽, 呈淡黄色, 具有凉薯的独特风味。

关键词: 凉薯; 酶法; 饮料; 正交实验

Optimization formulation optimization and quality determination of sweet potato beverage prepared by enzyme method

TAN Sha*, CEN Shi-Jie, TIAN Ying, CHEN Xue-Ying, LU Yi-Xia, SONG Xiao-Lin,
WANG Mei-Li, HU Sha

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

ABSTRACT: Objective To optimize the formula of *Pachyrhizus erosus* beverage prepared by enzyme method and determine its quality. **Methods** Sweet potatoes were used as the main raw materials, carboxymethyl cellulose-Na (CMC-Na), white granulated sugar, citric acid and xylitol were used as auxiliary materials. After liquefaction and saccharification of sweet potato, the effects of various auxiliary materials on the quality of sweet potato beverage were studied by single factor and orthogonal test, and the total acid, total sugar and soluble solids of sweet potato beverage were determined. **Results** The optimal formula of sweet potato beverage were 8% sugar (*m/V*), 0.12% citric acid, 1% xylitol and 0.18% CMC-Na. Under the conditions, the sensory score of sweet potato beverage was 86.9, the total acid was 0.55%, the total sugar was 7.97%, the soluble solid was 11.0%. **Conclusion** Under the optimized conditions, the beverage has uniform tissue, moderate acidity and sweetness, refreshing aftertaste, light yellow and unique flavor of sweet potato.

KEY WORDS: sweet potato; enzyme method; beverage; orthogonal test

基金项目: 铜仁学院生态特色食品加工创新团队项目(CXTD[2020-21])、铜仁学院梵净特色食品开发卓越工作坊、化学工程与技术省级重点学科(黔学位合字 ZDXK[2017]8 号)

Fund: Supported by the Tongren University of Ecological and Specialty Food Processing Innovation Team Project (CXTD[2020-21]), the Tong Ren University of Fanjing Specialty Food Development Excellence Workshop, and the Provincial Key Discipline of Chemical Engineering and Technology (Qian Degree Combination ZDXK [2017]8 号)

*通信作者: 谭沙, 副教授, 主要研究方向为农产品加工与贮藏。E-mail: tansha825325@126.com

*Corresponding author: TAN Sha, Associate Professor, College of Material and Chemical Engineering, Tongren University, No.238, Qihang Road, Bijiang District, Tongren 554300, China. E-mail: tansha825325@126.com

0 引言

凉薯,学名为豆薯,又名地瓜,是一种豆科块根作物,产量高,产量稳定,大量生长在热带和亚热带地区,包括印度尼西亚、墨西哥、菲律宾、中国、马来西亚和新加坡^[1-4]。凉薯外皮为褐色,呈不规则球状,脆而多汁,多肉且肉质洁白无暇、汁液丰富、甘甜清爽,食用后无残渣,具有特殊的香气和风味^[5-6]。凉薯是一种药食同源食物^[7-8],不仅含膳食纤维、蛋白质、淀粉、维生素、糖类、多酚等多种物质,还含有钙、铁、锌等多种矿物质^[9-14]。凉薯提取物或其成分具备降血糖、降低肝脏中磷酸烯醇丙酮酸羧化激酶和葡萄糖 6-磷酸酶的表达、提高胰岛素敏感性并对肝脏糖异生有抑制、抗氧化和抗黑色素生成、抵抗由高糖饮食引起的糖尿病和肥胖、保护高糖膳食的胰腺、对高糖饮食引起的非酒精性脂肪肝具有益作用及可能有利于预防对人体健康的免疫系统相关疾病的功能^[15-20]。

凉薯的产量较高且不耐储藏,每到成熟季节,市场上的凉薯堆积如山,而凉薯的深加工利用较少,深加工的潜力巨大^[21-22]。李长见^[23]研究发现通过糖化、液化后的玉米汁制备的饮料可使营养成分充分释放,也可改善饮料的品质,而目前关于凉薯饮料报道中所提到的饮料仅是将凉薯榨汁后取其汁液为原料进行调配而成,无将凉薯进行液化、糖化后再制作成饮料的报道。本研究将凉薯进行液化、糖化后再制备成饮料,以期使凉薯得到更好的开发利用,并为解决凉薯附加值低等问题提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

凉薯、白砂糖(食品级,市售);木糖醇(食品级,山东龙力生物科技股份有限公司);柠檬酸(食品级,潍坊英轩实业有限公司);羧甲基纤维素钠(carboxymethyl cellulose-Na, CMC-Na)(食品级,河南协恒生物科技有限公司); α -淀粉酶(邢台万达生物工程有限公司);糖化酶(江苏博立生物制品有限公司);3,5-二硝基水杨酸(3,5-dinitrosalicylic acid, DNS)试剂(分析纯,上海展云化工有限公司)。

1.2 材料与设备

AL204 电子分析天平[梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司];HH-6 恒温水浴锅(常州智博瑞仪器制造有限公司);WAY-2S 阿贝折射仪(上海申光仪器仪表有限公司);PHS-3ES 酸度计(上海佑科仪器仪表有限公司);SKG1325 榨汁机(佛山艾诗凯奇电气有限公司);Alpha-1860A 紫外可见光光度计(上海市谱光仪器有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 凉薯饮料制作流程

凉薯→去皮→清洗→切块→榨汁→加水糊化→液化

→灭酶→糖化→灭酶→过滤→调配(白砂糖+柠檬酸+木糖+CMC-Na)→均质→装罐→杀菌→冷却→成品

1.3.2 操作要点

(1)原料选择与处理

选用新鲜、成熟、无病虫害的完整凉薯,入水浸泡清洗,清除凉薯表面污泥、杂质。将凉薯去表皮,切成均匀大小的块状,再将凉薯块用榨汁机榨碎,按 1:4 (g/mL)的比例加水后,经糊化、液化、糖化、过滤等工艺处理,得凉薯汁,冷藏备用。

(2)调配

将一定比例的白砂糖、木糖醇、柠檬酸充分混合后加入到经处理后得到的 100 mL 凉薯汁中,用玻璃棒不断搅拌直至混合物料全部溶解。CMC-Na 溶于水后加入饮料中。

(3)均质灌装

将调配好的饮料均质,均质后迅速将凉薯饮料灌装到经灭菌处理过的玻璃瓶中。

(4)杀菌冷却

玻璃瓶加盖后不用旋紧,放入沸水水浴锅中脱气 5 min,将玻璃瓶瓶盖旋紧后,再于 100 °C 的水浴锅中灭菌 10 min。分段快速冷却至 37 °C。

1.3.3 液化实验

采用 α -淀粉酶对糊化后的凉薯进行液化处理,考察单因素 α -淀粉酶添加量(6、10、14、18 和 22 $\mu\text{g/g}$)、液化温度(50、60、70、80 和 90 °C)和液化时间(50、60、70、80 和 90 min)对凉薯葡萄糖当量(dextrose equivalent, DE)值的影响。

1.3.4 糖化实验

液化后凉薯原浆灭酶,冷却至室温后,糖化酶糖化,考察单因素糖化酶的添加量(80、90、100、110 和 120 $\mu\text{g/g}$)和糖化时间(60、70、80、90 和 100 min)、糖化温度(20、30、40、50 和 60 °C)对凉薯原浆分解产物还原糖的含量的影响。

1.3.5 葡萄糖值的测定

DE 值是指糖化液中的还原糖含量(以葡萄糖计)占干物质的百分率,又称葡萄糖值,用作为衡量淀粉的水解程度^[23]。

$$\text{DE 值} = \frac{\text{还原糖含量}}{\text{固形物含量}} \times 100\%$$

1.3.6 还原糖含量的测定

还原糖含量的测定参照 NY/T 2742—2015《水果及制品可溶性糖的测定 3,5-二硝基水杨酸比色法》。

1.3.7 凉薯饮料调配实验

以 100 mL 的经过液化、化处理的凉薯汁为基础,考察单因素白砂糖添加量(2%、4%、6%、8%和 10%)、木糖醇添加量(1%、2%、3%、4%和 5%)、柠檬酸添加量(0.06%、0.08%、0.10%、0.12%和 0.14%)及 CMC-Na 添加量(0.14%、0.16%、0.18%、0.20%和 0.22%)对凉薯饮料品质的影响。

1.3.8 感官指标评定

依据凉薯的特性,选择 20 名食品专业人员,根据评

分标准(表 1), 对凉薯饮料的口感、色泽、组织状态、风味进行感官评定。

表 1 凉薯饮料的感官评分标准

指标	评分标准	分值/分
色泽 (20 分)	颜色为淡黄色, 颜色均匀, 清亮透明, 光泽度良好	16~20
	颜色偏白色, 颜色较均匀, 透明有光泽	11~15
	颜色为黄色, 颜色较均匀, 光泽度差	7~10
口感 (30 分)	色泽不好, 颜色不均匀, 无光泽	0~6
	酸味柔和, 酸甜适中, 浑厚感好, 回味清爽	26~30
	酸味较柔和, 酸甜较适中, 浑厚感较好, 回味清爽	16~25
	酸甜比例不协调、过酸或过甜, 回味偏涩	7~15
风味 (30 分)	口感单薄, 有令人不悦气味	0~6
	具有适宜的凉薯香味, 香味明显	26~30
	有一定的凉薯香味, 但香味淡, 无异味	16~25
	凉薯香味过于厚重, 无异味	7~15
组织状态 (20 分)	无香味或有其他不愉快气味	0~6
	液体透明, 组织均匀, 无肉眼可见沉淀	16~20
	液体透明, 组织较均匀, 无肉眼可见沉淀	11~15
	液体浑浊不均匀, 含少量沉淀	7~10
	液体浑浊不均匀, 肉眼可见沉淀	0~6

1.3.9 理化指标的测定

总酸按照 GB/T 12456—2008《食品中总酸的测定》中方法测定; 总糖含量根据王永华^[24]方法测定; pH 测定, 在室温下, 校正酸度计后测定样品的 pH, 平行测定样品 3 次, 取平均值为最终值; 可溶性固形物含量参照 GB/T 12143—2008《饮料通用分析方法》进行测定。

1.4 数据处理

Excel 处理数据, SPSS 软件分析数据, Origin Pro 8.5.1 作图。

2 结果与分析

2.1 单因素实验结果

2.1.1 液化单因素

如图 1 所示, 液化时间 80 min 时, α -淀粉酶与底物充分反应, 底物被分解完全, 此时, DE 值达到最大值; 而当液化时间达到 90 min 以后, DE 值增加不明显, 且呈现下降趋势。温度为 70 °C 后, 底物被分解得较彻底, DE 值达到最大值; 而当温度达到 80 °C 后, 由于温度过高, 导致 α -淀粉

酶的活性开始降低, 甚至失去活性, 致使 α -淀粉酶不能将底物充分分解, 从而使得 DE 值呈现下降的趋势。

随 α -淀粉酶的增加, 添加量为 18 $\mu\text{g/g}$ 时 DE 值最大, 其后开始下降, 其原因可能是 α -淀粉酶添加量较多, 与底物发生反应的过程中, 底物已经被完全分解, 而有部分 α -淀粉酶则未能与底物接触, 从而测定时导致干物质的量增多, 进而导致了 DE 值呈现略微下降的趋势。

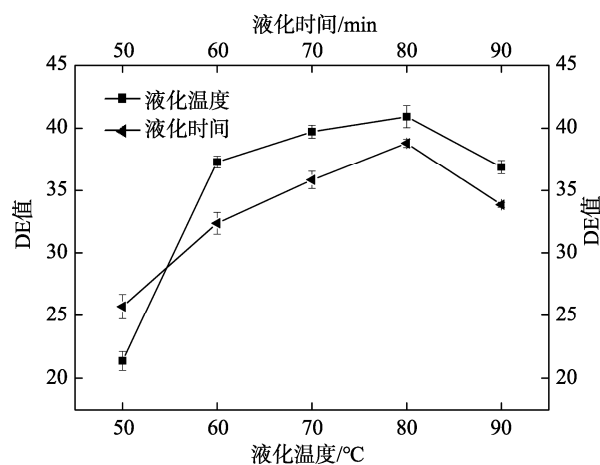


图 1 液化温度及液化时间对液化效果的影响(n=3)

Fig.1 Effects of liquefaction temperature and time on liquefaction effect (n=3)

2.1.2 糖化单因素

如图 2 所示, 当温度达到 50 °C 时, 糖化酶其活性最大, 与底物反应完全, 底物能被糖化酶彻底分解, 故在此条件下糖化得到的还原糖含量最多; 而温度调节至 60 °C 进行糖化后, 因为温度过高, 糖化酶的活力受到影响, 其酶活力降低, 并随着温度在此基础上的增加, 糖化酶活力会丧失, 从而使得还原糖含量的增加不明显, 并出现下降的趋势。糖化 80 min 时, 糖化酶和底物反应完全, 故还原糖含量在此时最多; 而糖化 80 min 之后, 还原糖的含量由于时间的延长出现下降的趋势, 原因可能是随着延长糖化时间, 糖化酶出现了钝化现象。

糖化酶的添加量在(80~100) $\mu\text{g/g}$ 范围时, 底物和糖化酶的接触不完全, 故还原糖含量只是缓慢的升高; 而酶添加量为 110 $\mu\text{g/g}$ 时, 糖化酶和底物充分接触, 底物被完全分解, 此时, 还原糖含量发生明显的增加且达到最大值。

2.1.3 凉薯调配单因素

由图 3 可知, 白砂糖添加 8% 分值最高, 为 84.2 分, 此时凉薯饮料的甜味适中, 酸甜比例协调, 具备最好的口感; 当添加量继续增大时, 凉薯饮料的综合评分迅速下降, 这是由于白砂糖的添加量过大时, 凉薯饮料中会出现较重的甜味, 酸甜比例不协调, 口感甜腻, 完全掩盖凉薯味道。在木糖醇添加量在 1%~2% 时, 随着木糖醇的添加量增加, 凉

薯饮料的感官分值随木糖醇添加量的增大而增高,少许的木糖醇可以有效地提高凉薯饮料的清爽感,使饮料口感更为饱满;在添加量为2%感官分值最高,为83.1分,此时凉薯饮料的浑厚感好,回味清爽,达到最佳口感;在添加量为2%~5%时,凉薯饮料感官分值随着木糖醇添加量的增加而逐渐下降,其原因是随木糖醇添加量的增加,凉薯饮料的柔和感变成了纯甜的甜度,缺乏了酸甜协调的爽口感。因此,木糖醇的最适添加量初步确定为2%。

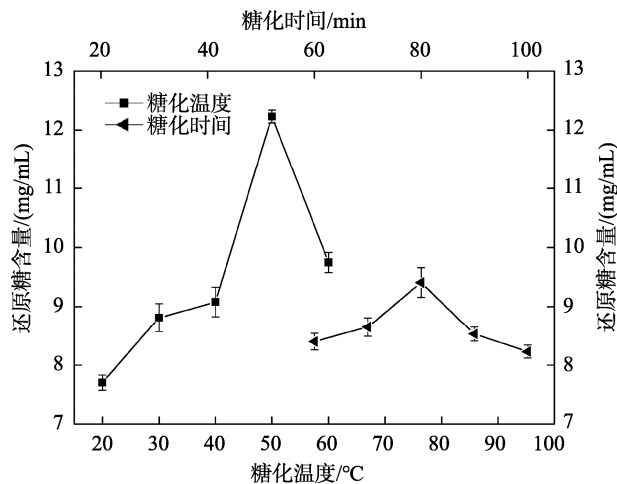


图2 糖化时间和糖化温度对糖化效果的影响($n=3$)

Fig.2 Effects of saccharification temperature and time on saccharification effect ($n=3$)

一定量的柠檬酸可以改善凉薯饮料的口感,增添柠檬酸用量可提高凉薯饮料感官评分,由图4知,柠檬酸添加量到达0.10%后,继续增加柠檬酸的用量,致使凉薯饮料酸味太重并难以进口。在柠檬酸添加量为0.10%时,既不掩盖凉薯独特的滋味,又赋予凉薯饮料有更好的口感。

添加适量稳定剂不仅可以阻滞蛋白质的凝聚,避免凉薯饮料产生分层的现象,还可以使凉薯饮料的口感更加细腻,体系更加均匀稳定。由图4可知,CMC-Na添加量为0.18%时凉薯饮料评分最高最好,感官评分也达到最高82.6分;当CMC-Na用量小于0.18%时,会出现少量沉淀;当CMC-Na添加量超过0.18%时,将导致凉薯料太过黏稠,组织状态较差。综上,初步设定柠檬酸添加量为0.10%、CMC-Na添加量为0.18%。

2.2 正交实验结果

在单因素实验结果的基础上,选择液化温度、液化时间、 α -淀粉酶添加量作为凉薯酶法液化进行正交实验设计(见表2),实验结果见表3;选择糖化温度、糖化时间、糖化酶添加量作为凉薯糖化进行正交试验设计(见表4),实验结果见表5;选择白砂糖添加量、木糖醇添加量、柠檬酸添加量、CMC-Na加量作为凉薯饮料配方正交实验设计(见表6)。

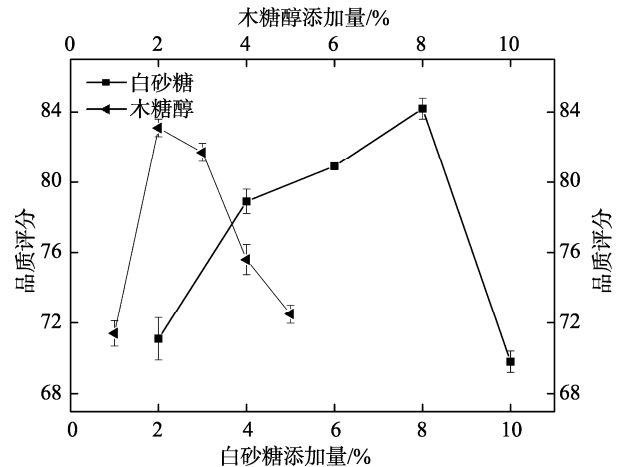


图3 白砂糖及木糖醇添加量对凉薯饮料品质的影响($n=3$)

Fig.3 Effects of sugar and xylitol addition amount on sweet potato beverage ($n=3$)

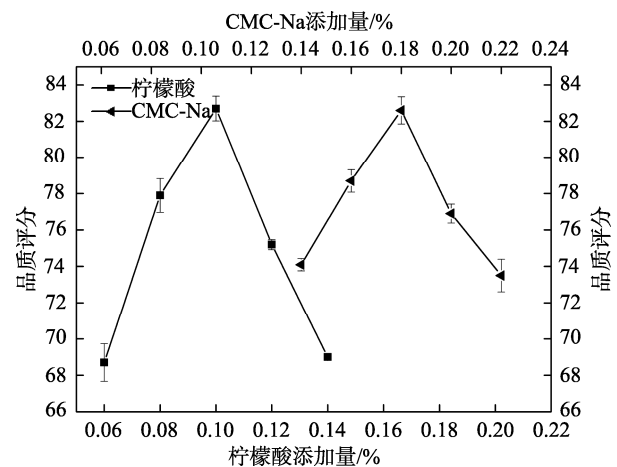


图4 柠檬酸及CMC-Na添加量对凉薯饮料品质的影响($n=3$)

Fig.4 Effects of citric acid and CMC-Na addition amount on sweet potato beverage ($n=3$)

表2 凉薯液化正交实验因素水平

Table 2 Factors and levels of orthogonal experiments for sweet potato liquefaction

水平	因素		
	A α -淀粉酶添加量/($\mu\text{g/g}$)	B 液化时间/min	C 液化温度/ $^{\circ}\text{C}$
1	14	70	70
2	18	80	80
3	22	90	90

根据表3,最好的液化条件是组合 $A_1B_1C_1$,即糖化温度为 70°C ,时间为70 min,酶添加量为 $14\ \mu\text{g/g}$ 时液化的效果最好。

表 3 凉薯液化正交实验结果

Table 3 Results of orthogonal experiments for sweet potato liquefaction

实验号	因素				DE 值
	A	B	C	D (空列)	
1	1	1	1	1	47.78
2	1	2	2	2	39.62
3	1	3	3	3	28.23
4	2	1	2	3	30.18
5	2	2	3	1	27.50
6	2	3	1	2	38.65
7	3	1	3	2	29.70
8	3	2	1	3	36.66
9	3	3	2	1	34.10
K_1	38.543	35.887	41.030	36.460	
K_2	32.110	34.593	34.633	35.990	
K_3	33.587	33.660	28.477	31.690	
极差 R	6.433	2.227	12.553	4.770	

表 4 凉薯糖化正交实验因素水平

Table 4 Factors and levels of orthogonal experiments on saccharification of sweet potato

水平	因素		
	A 糖化时间 /min	B 糖化酶添加量 /($\mu\text{g/g}$)	C 糖化温度 / $^{\circ}\text{C}$
1	70	100	40
2	80	110	50
3	90	120	60

表 5 凉薯糖化正交实验结果

Table 5 Results of orthogonal experiments on saccharification of sweet potato

实验号	因素				还原糖含量 /(mg/mL)
	A	B	C	D (空列)	
1	1	1	1	1	8.59
2	1	2	2	2	6.61
3	1	3	3	3	8.07
4	2	1	2	3	7.08
5	2	2	3	1	6.56
6	2	3	1	2	6.38
7	3	1	3	2	7.22
8	3	2	1	3	7.82
9	3	3	2	1	5.99
K_1	7.757	7.630	7.597	7.047	
K_2	6.673	6.997	6.560	6.737	
K_3	7.010	6.813	7.283	7.657	
极差 R	1.084	0.817	1.037	0.920	

由表 5 可知, 凉薯糖化最好的组合是 $A_1B_1C_1$, 即糖化酶为 $100 \mu\text{g/g}$, 在 40°C 条件下糖化 70 min 所得到还原糖含量最多。

表 6 凉薯饮料调配方正交实验因素水平

Table 6 Factors and levels of orthogonal experiments for sweet potato beverage formula

水平	因素			
	A 白砂糖/%	B 木糖醇/%	C 柠檬酸/%	D CMC-Na/%
1	6	1	0.08	0.16
2	8	2	0.10	0.18
3	10	3	0.12	0.20

对表 7 正交实验的结果进行分析, 得出凉薯饮料调配配方的优组合为 $A_2B_1C_3D_2$, 即: 白砂糖添加 8%、木糖醇添加 1%、柠檬酸添加 0.12%、CMC-Na 添加 0.18%, 采用此条件下产出的凉薯饮料感官评分为 86.9 分, 饮料组织均匀、酸甜适中、口感清爽、风味最佳。

对结果进行方程分析, 结果见表 8。由表 8 可知, 凉薯饮料配方所有因素均为显著性影响因素 ($P < 0.05$)。说明结果准确可靠。

表 7 凉薯饮料调配方正交实验结果

Table 7 Results of orthogonal experiments for sweet potato beverage formula

实验号	因素				感官评分
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	77.3
2	1	2	2	2	77.5
3	1	3	3	3	75.4
4	2	1	2	3	83.6
5	2	2	3	1	86.1
6	2	3	1	2	81.4
7	3	1	3	2	83.4
8	3	2	1	3	79.9
9	3	3	2	1	77.2
K_1	230.2	244.3	238.7	240.7	
K_2	251.1	243.5	238.3	242.3	
K_3	240.5	234.0	244.9	238.9	
k_1	76.7	81.4	79.6	80.2	
k_2	83.7	81.2	79.4	80.8	
k_3	80.2	78.0	81.6	79.6	
极差 R	7.0	3.4	2.2	1.2	
因素主次顺序					$A > B > C > D$
优水平	A_2	B_1	C_3	D_2	
优组合					$A_2B_1C_3D_2$

表 8 正交实验结果方差分析
Table 8 Variance analysis of orthogonal experiments results for sweet potato beverage formula

	III 型平方和	df	均方	F	Sig.
校正模型	318.732 ^a	8	39.841	81.248	0.000
截距	173697.161	1	173697.161	354216.266	0.000
A	219.114	2	109.557	223.417	0.000
B	66.101	2	33.050	67.399	0.000
C	27.959	2	13.979	28.508	0.000
D	5.559	2	2.779	5.668	0.012
误差	8.827	18	0.490		
总计	174024.720	27			
校正的总计	327.559	26			

注: ^a $P < 0.05$ 。

2.3 验证实验结果

根据最佳配方条件, 进行验证实验, 结果见表 9。以 $A_2B_1C_3D_2$ 组合所制得的凉薯饮料感官评分均在 86.2 分及以上, 说明此配方稳定。

表 9 稳定性实验结果
Table 9 Stability test results

实验号	感官评分					平均得分
	1	2	3	4	5	
$A_2B_1C_3D_2$	86.4	87.0	88.0	87.0	86.2	86.9

2.4 凉薯饮料的质量指标

在最佳的液化和糖化工艺条件下, 对凉薯以最优添加量进行调配, 所得凉薯饮料为淡黄色, 颜色均匀、酸甜适中、回味清爽、组织均匀, 具有独特的凉薯香味。此条件获得的凉薯饮料总酸量为 0.55%, 总糖量为 7.97%, 可溶性固形物含量为 11.0%, 符合 GB/T 31121—2014《果蔬汁类及其饮料》中的规定。

3 结论与讨论

本研究对基于酶法制备的凉薯饮料配方进行了优化, 并对其品质进行了测定。凉薯饮料最优配方为白砂糖添加 8%, 木糖醇添加 1%, 柠檬酸添加 0.12%, CMC-Na 添加 0.18%。在最佳的调配配方条件下, 凉薯饮料感官评分较高, 总酸、总糖、可溶性固形物符合相关国标要求。凉薯饮料为淡黄色, 清亮透明、组织均匀、无肉眼可见沉淀、酸甜适中、无异味, 具有独特的凉薯风味, 工艺及配方稳定性良好, 本研究结果为凉薯种植业及食品加工行业提供一定参考依据。

参考文献

- [1] SARKAR R, BHOWMIK A, KUNDDU A, *et al.* Inulin from *Pachyrhizus erosus* root and its production intensification using evolutionary algorithm approach and response surface methodology [J]. *Carbohydr Polym*, 2020, 251: 117042.
- [2] JEAN N, PATRICK R, PHINEHAS T, *et al.* Genetic analysis of earliness and its components in yam bean (*Pachyrhizus* spp.) [J]. *Res Crop*, 2017, 18(4): 728.
- [3] FADLI H, HAIRUL A, ANWAR K, *et al.* Moisture absorption and opacity of starch-based biocomposites reinforced with cellulose fiber from Bengkoang [J]. *Fibers*, 2018, 6(3): 62.
- [4] LEE S. Quality characteristics of noodle added with *Pachyrhizus erosus* powder [J]. *Culin Sci Hosp Res*, 2017, 8: 101–108.
- [5] 张德纯. 凉薯[J]. *中国蔬菜*, 2015, (3): 44.
- [6] ZHANG DC. *Pachyrhizus erosus* [J]. *China Veg*, 2015, (3): 44.
- [7] RUSMARILIN H, HILMAN A. Physicochemical characterization of water-soluble polysaccharide of *Pachyrhizus erosus* L. with fermentation assisted extraction method [J]. *Earth Environ Sci*, 2019, 260(1): 012096.
- [8] 杨光. 药食同源植物提取物抗氧化功效评价[D]. 长春: 吉林大学, 2017.
- [9] YANG G. Evaluation of antioxidant efficacy from medicinal and food homologous plant extracts [D]. Changchun: Jilin University, 2017.
- [10] 徐怀德. 药食同源新食品加工[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.
- [11] XU HD. The processing of medicine and food homology new food [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2002.
- [12] 苏雪娇, 张秀娟, 常维娜, 等. 凉薯(*Pachyrhizus erosus* L.)块茎的营养品质分析[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(19): 349–351.
- [13] SU XJ, ZHANG XJ, CHANG WN, *et al.* Analysis of nutritional quality of *Pachyrhizus erosus* L. Tubers [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2013, 34(19): 349–351.
- [14] MARTÍNEZ-BUSTOS F, LÓPEZ-SOTO M, MARTÍN-MARTÍNEZ ES, *et al.* Effects of high energy milling on some functional properties of pachyrhizus starch (*Pachyrhizus erosus* L. Urban) and cassava starch (*Manihot esculenta* Crantz) [J]. *J Food Eng*, 2007, 78(4): 1212–1220.

- [11] 康红艳, 王妙姝, 刘凤臣. 发酵凉薯酸奶工艺研究[J]. 中国农学通报, 2018, 34(28): 160-164.
KANG HY, WANG MS, LIU FC. Fermentation process of pachyrhizus yogurt [J]. Chin Agric Sci Bull, 2018, 34(28): 160-164.
- [12] SILVIANA S, KHUSNA EI, SUSANTO GAH, *et al.* Biocomposite of bacterial cellulose based from yam bean (*Pachyrhizus erosus* L. Urban) reinforced by bamboo microfibrillated cellulose through in situ method [C]. Proceedings of 2nd International Conference on Chemical Process and Product Engineering (ICCPPE), 2020.
- [13] ALICIA GL, LUIS CR, FEDERICO GM, *et al.* Anthocyanins from blackberry (*Rubus fruticosus* L.) impregnated in yam bean (*Pachyrhizus erosus* (L.) Urb.) by osmotic dehydration [J]. Food Sci Technol, 2019, 39(4): 922-929.
- [14] BUCKMAN ES, ODURO I, PLAHAR WA, *et al.* Determination of the chemical and functional properties of yam bean (*Pachyrhizus erosus* (L.) Urban) flour for food systems [J]. Food Sci Nutr, 2018, 6(2): 457-463.
- [15] 马庆昱. 凉薯多糖的制备及体内降血糖作用[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2018.
MA QY. Preparation *Pachyrhizus erosus* polysaccharide and its blood sugar lowering effect *in vivo* [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2018.
- [16] PARK JC, LEE HA, HAN JS, *et al.* Jicama (*Pachyrhizus erosus*) extract increases insulin sensitivity and regulates hepatic glucose in C57BL/Ksj-db/db mice [J]. J Clin Biochem Nutr, 2016, 58(1): 56-63.
- [17] AHREUM L, GYO NK, HAE OK, *et al.* Antioxidant activity and melanin inhibitory effects of yam bean (*Pachyrhizus erosus*) extract [J]. Kor J Herbol, 2017, 32(2): 57-64.
- [18] SANTOSO P, AMELIA A, RAHAYU R. Jicama (*Pachyrhizus erosus*) fiber prevents excessive blood glucose and body weight increase without affecting food intake in mice fed with high-sugar diet [J]. J Adv Vet Anim Res, 2019, 6(2): 222-230.
- [19] SANTOSO P, MALIZA R, RAHAYU R, *et al.* Pancreoprotective effect of jicama (*Pachyrhizus erosus* Fabaceae) fiber against high-sugar diet in mice [J]. Open Access Maced J Med Sci, 2020, 11(1): 137-143.
- [20] PUTRA S, RITA M, QONITAH F, *et al.* Beneficial effect of *Pachyrhizus erosus* fiber as supplemental diet to counteract high sugar-induced fatty liver disease in mice [J]. Rom J Diabetes Nutr Metab Dis, 2019, 26(4): 353-360.
- [21] HANIF NB, AGUNG EN, ENDANG L, *et al.* Water-soluble fiber from Bengkoang (*Pachyrhizus erosus* (L.) Urban) tuber modulates immune system activity in male mice [J]. Sci Pharm, 2020, 88: 88030034.
- [22] EKA FH, MAYASARI PA, SURYANTI S, *et al.* The effect of bengkuang (*Pachyrhizus erosus*) ethanol extract on the number of ovarian follicles, amount of epithelium and endometrium stroma cells in DMPA-treated *Rattus norvegicus* [C]. Proceedings of the 3rd International Seminar on Metallurgy and Materials (ISMM2019), 2020.
- [23] 李长见. 双酶法玉米汁饮料的研制[J]. 农产品加工, 2018, (7): 16-19, 22.
LI CJ. Preparation of corn beverage by double enzyme method [J]. Process Agric Prod, 2018, (7): 16-19, 22.
- [24] 王永华. 食品分析[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2016.
WANG YH. Food analysis [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2016.

(责任编辑: 李磅礴 张晓寒)

作者简介



谭 沙, 副教授, 主要研究方向为农产品加工与贮藏。
E-mail: tansha825325@126.com