

基于模糊数学评价法优化南瓜沙棘复合果泥工艺

曹文秀 李光英 张艳珍* 王 菲

(青海省轻工工业研究所有限责任公司, 青海西宁 810001)

摘要 本研究旨在研制一款南瓜沙棘复合果泥。以板栗南瓜和大果沙棘原浆为原料, 配合使用白桃浓缩汁, 采用单因素与正交试验设计, 以色泽、香味、质地、口感为指标, 通过模糊数学感官评价法, 优化南瓜沙棘复合果泥工艺, 并测定优化后南瓜沙棘复合果泥的味觉特征和相关指标。结果表明, 南瓜沙棘复合果泥最佳工艺为: 板栗南瓜蒸煮时间为30 min, 制泥时间为4 min, 沙棘原浆添加量为10%, 白桃浓缩汁添加量为4%。在此工艺条件下制备的南瓜沙棘复合果泥, 色泽鲜亮、酸甜可口、香味浓郁、营养丰富。

关键词 南瓜; 沙棘; 果泥; 模糊数学; 感官评价

中图分类号: TS275.2

文献标志码: A

文章编号: 2096-4781 (2023) 06-0644-07

DOI: 10.19707/j.cnki.jpa.2023.06.011

Optimization of Pumpkin Sea-buckthorn Compound Puree Based on Fuzzy Mathematics Evaluation Method

CAO Wenxiu, LI Guangying, ZHANG Yanzhen*, WANG Fei

(Qinghai Light Industry Institute Co., Ltd., Xining Qinghai, 810001, China)

Abstract: The purpose of this study is to develop a composite puree combining pumpkin and sea buckthorn. Chestnut pumpkin and large fruit sea buckthorn puree were used as the primary ingredients, along with concentrated white peach juice. A combination of single-factor and orthogonal experimental designs was employed, with color, aroma, texture, and taste serving as evaluation criteria. Utilizing fuzzy mathematical sensory assessment, the processing parameters for optimizing the pumpkin and sea buckthorn composite puree were determined, and the taste characteristics and relevant attributes of the optimized product were assessed. The results showed that the optimal processing conditions for pumpkin and sea-buckthorn composite puree was as follows: a pumpkin cooking time of 30 minutes, a mashing time of 4 minutes, an addition of 10% sea buckthorn pulp, and an addition of 4% concentrated white peach juice. Under these optimized conditions, the composite puree exhibited vibrant color, delightful sweet-and-sour taste, rich aroma, and high nutritional value.

Key words: pumpkin; sea-buckthorn; fruit paste; fuzzy mathematics; sensory evaluation

板栗南瓜肉质致密, 口感甜面, 味似板栗, 具有一定的功效^[1]。

深受消费者喜爱。板栗南瓜营养丰富, 富含淀粉、碳水化合物、蛋白质、多种维生素和膳食纤维, 对防治便秘、高血压、糖尿病、动脉粥样硬化等

沙棘俗称醋柳, 酸刺。沙棘为药食同源植物, 沙棘果中除含有丰富的蛋白质、脂肪和碳水化合物外, 还含有人体必需的多种维生素和矿物质,

收稿日期: 2023-02-17

作者简介: 曹文秀 (1992-), 女, 汉族, 助理工程师。研究方向: 主要从事高原特色食品的研究与开发工作。

通信作者: 张艳珍 (1992-), 女, 汉族, 助理研究员。研究方向: 主要从事食品科学与工程专业工作。

基金项目: 青海省中央引导地方科技发展专项项目 (2021ZY004), 项目名称为“青海特色浆果深加工研发创新基地建设”。

尤其维生素C的含量居果蔬之冠^[2]。沙棘果有消食健胃、祛痰、止咳、平喘的作用^[3]。但由于沙棘果味道极酸涩,被开发利用的产品形态较少,市场拓展难度较高。

模糊数学评价法可以将具有模糊特性的指标量化,能很好地减少感官评价指标及感官评价主体间的主观评定误差,提高评价结果的科学性、合理性和客观性,被广泛应用于食品新产品的工艺研发^[4-6]。本试验以板栗南瓜、沙棘和白桃浓缩汁为原料,通过正交设计及模糊数学评价法优化复合果泥工艺,制备符合现代人们所需求的复合果泥,为南瓜和沙棘资源深加工及果泥新口味开发提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

肋果沙棘(*H. Neurocarpa*), 青海省海东市民和

县, 秋季采摘, 经清洗破碎后榨汁、分离得到沙棘原浆; 板栗南瓜, 青海省西宁市大百超市购买; 白桃浓缩汁, 厦门肯昇进出口有限公司。

1.2 主要仪器设备

BT125D 电子分析天平(赛多利斯科学仪器有限公司); PAL-1 阿贝折光仪(日本 ATAGO 公司); FE28-Standard pH 计(梅特勒-托利多国际贸易(上海)有限公司); TS-5000Z 型味觉分析仪(日本 INSENT 公司); TMS-Pro 质构仪(美国 FTC 公司); C21-RT2120 型多功能电磁炉和专用蒸锅(九阳电器制造有限公司)。

1.3 试验方法

1.3.1 南瓜沙棘复合果泥制备流程

通过对南瓜、沙棘原料预处理、打浆、过滤、调配、灌装、灭菌等工序, 得到南瓜沙棘复合果泥。南瓜沙棘复合果泥制备流程图, 如图1所示。

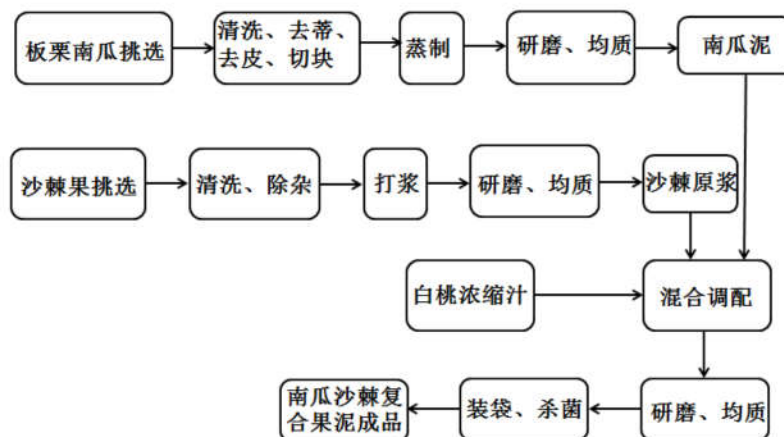


图1 南瓜沙棘复合果泥制备流程图

Fig.1 Flow chart of preparation of pumpkin sea-buckthorn compound puree

1.3.2 操作要点

南瓜泥制备: 选无霉变、完好、成熟度高的新鲜板栗南瓜作为制备原料, 用流动水清洗南瓜表面的泥土和异物, 去除瓜蒂, 刮掉瓢籽去皮, 切块大小均匀, 长宽约4 cm, 厚度约2 mm。置于蒸笼上蒸熟, 将蒸熟的南瓜用打浆机反复打细,

得到南瓜泥粗品。再将南瓜泥粗品置于胶体磨中进行研磨、均质, 获得均匀细腻、粒度细小的南瓜泥。

沙棘原浆制备: 挑选成熟、完好、无病虫害的新鲜沙棘果, 进行清洗、除杂; 将清洗干净的新鲜沙棘果加入破碎机中进行破碎, 之后加入双

道打浆机中,进行打浆,分离出沙棘汁和沙棘籽、皮等,得到沙棘原浆。

南瓜沙棘果泥制备:制备的南瓜泥、沙棘原浆以及白桃浓缩汁,按照一定配比,加入到胶体磨中反复研磨,混合均匀后进行低温灌装,对其进行低温巴氏杀菌。

1.4 配方优化试验设计

1.4.1 单因素试验

南瓜蒸煮时间:称取南瓜800 g,制泥时间为3 min,沙棘原浆放入蒸锅,设定软化时间,依据感官标准评定综合评分,确定适宜的南瓜蒸煮时间。软化时间设置为20 min, 25 min, 30 min, 35 min, 40 min,共5个处理。

南瓜泥制泥时间:称取南瓜800 g,放入蒸锅,依据感官标准评定,确定适宜的南瓜制泥时间。制泥时间分别为1 min、2 min、3 min、4 min、5 min,共5个处理。

沙棘原浆添加量:称取南瓜泥800 g,白桃浓缩汁6%,依据感官标准评定,确定沙棘原浆添加量。沙棘原浆添加量为8%、9%、10%、11%、12%,共5个处理。

白桃浓缩汁添加量:称取南瓜泥800 g,沙棘原浆10%,依据感官标准评定,确定白桃浓缩汁添加量。白桃浓缩汁添加量为2%、4%、6%、8%、10%,共5个处理。

1.4.2 正交试验

在单因素试验的基础上,以沙棘原浆添加比,白桃浓缩汁添加量,蒸煮时间,制泥次数为主要因素,选用 $L_9(3^4)$ 正交试验对工艺进行研究,通过正交优化工艺,以期获得最佳的工艺参数。正交试验因素水平见表1。

1.4.3 南瓜沙棘复合果泥模糊数学评价法模型建立

(1) 确定评价因素加权集

结合感官评价表,确定评价因素集 $U=\{\text{色泽, 香味, 质地, 口感}\}$;评价因素权重集采用主观赋

表1 南瓜沙棘复合果泥试验因素和水平表

Tab.1 Test factors and levels of pumpkin seabuckthorn compound puree

水平	沙棘原浆添加量/%	浓缩白桃汁添加量/%	制泥时间/min	蒸煮时间/min
1	9	4	3	25
2	10	6	4	30
3	11	8	5	35

权法,确定色泽,香味,组织形态,口感的权重。经主观赋权权重 $X=\{0.20, 0.25, 0.30, 0.25\}$;评价得分集 $V=\{\text{优, 良, 中, 差}\}=\{90, 80, 70, 60\}$ 。

(2) 模糊关系综合评判集

食品感官指标综合评判结果用 Y 表示, $Y=X \cdot R$,其中 X 表示感官指标权重, R 为模糊矩阵。

1.5 实验方法

1.5.1 理化指标检测方法

可溶性固形物:参照宋菲红等人^[7]方法,采用折光仪检测定;pH参照王娟等人^[8]对果泥样品的pH测定方法进行;总酸含量(酸碱滴定法)参照杨颖等人测定果酱的方法检测^[9];微生物检测参照赵鹏^[10]的方法测定;质构参数参照谭银莹^[11]果泥检测方法测定。

1.5.2 感官评分方法

组织感官评定人员共20人,年龄在20~35岁。其中男8人,女12人。按照色泽,香味,质地和口感4个指标对南瓜沙棘复合果泥感官品质进行评价。南瓜沙棘复合果泥感官评分标准如表2所示。

2 结果

2.1 单因素试验结果分析

2.1.1 蒸煮时间对南瓜泥品质的影响

蒸煮时间的长短对果泥品质的影响至关重要,突出的感官效果主要是果泥的风味、质地和色泽,表3为不同蒸煮时间对南瓜沙棘果泥品质的影响。

由表3可知,不同的蒸煮时间对产品的风味和

表2 南瓜沙棘复合果泥感官品评表

Tab.2 Sensory evaluation of pumpkin sea-buckthorn compound puree

评分项目	评分标准	评价等级
色泽	色泽有光泽、呈现黄色、均匀	优
	色泽有光泽、呈现深黄色、均匀	良
	色泽有光泽、呈现褐色、基本均匀	中
	色泽无光泽、呈现褐色、不均匀	差
香味	富有南瓜沙棘果泥的特有风味,无异味	优
	有南瓜沙棘果泥的特有风味,无异味	良
	果香味不明显,无异味	中
	有异味,果香味没有	差
质地	质地均匀、无分层析水,流散适中	优
	质地均匀、无分层析水,流散较适中	良
	质地较均匀、轻微分层析水,无流散	中
	质地不均匀、较多水析出,无流散	差
口感	酸甜适中,口感细腻	优
	酸甜适中,口感较细腻	良
	酸甜不平衡,口感较为细腻	中
	偏酸或偏甜,口感粗糙	差

表3 蒸煮时间对南瓜泥品质的影响

Tab.3 Effects of cooking time on the quality of pumpkin puree

蒸煮时间/min	果泥质地	风味	色泽
20	较软烂	南瓜味寡淡	黄色
25	软烂	清淡的南瓜味	黄色
30	软烂	南瓜香味浓郁	黄色
35	软烂	南瓜香味浓郁	黄色
40	很软烂	南瓜香味浓郁	黄色

质地都有影响，对色泽影响较小，较短时间的蒸煮，南瓜泥风味和质地不佳；而蒸煮较长时间可以获得较好的质地和风味，但南瓜中的营养成分不适宜煮太长时间。综合考虑以上各方面的因素，确定南瓜泥蒸煮时间为25 min、30 min和35 min。

2.1.2 制泥时间对南瓜泥感官评价的影响

制泥时间对南瓜泥品质的影响至关重要，尤其是南瓜泥的质地，表4为不同制泥次数对南瓜泥感官品质的影响。

由表4可知，制泥时间对南瓜泥的质地影响较大，制泥时间越短，南瓜泥越不均匀，因此，确

表4 制泥时间对南瓜泥品质的影响

Tab.4 Effects of mud making time on the quality of pumpkin puree

制泥时间/min	果泥质地	风味	色泽
1	南瓜泥不均匀	南瓜香味浓郁	黄色
2	南瓜泥较均匀	南瓜香味浓郁	黄色
3	南瓜泥均匀	南瓜香味浓郁	黄色
4	南瓜泥均匀、细腻	南瓜香味浓郁	黄色
5	南瓜泥均匀、细腻	南瓜香味浓郁	黄色

定制泥时间为3 min、4 min和5 min。

2.1.3 沙棘原浆添加量对南瓜沙棘复合果泥感官评价的影响

沙棘原浆的添加量对南瓜沙棘复合果泥进行感官评价，评价结果如表5所示。

表5 沙棘原浆添加量对复合果泥感官评定的影响

Tab.5 Influence of the amount of sea-buckthorn puree added on the sensory of composite fruit puree

沙棘原浆添加量/%	感官评定
8	口感稍甜,复合果泥香味较为浓郁
9	口感酸甜适中,复合果泥香味较为浓郁
10	口感酸甜适中,复合果泥香味沙棘香气浓郁
11	口感酸甜适中,复合果泥香味沙棘香气浓郁
12	口感酸甜偏酸,复合果泥香味沙棘香气浓郁

从表5可看出，沙棘原浆添加比小于8%，果泥稍甜；沙棘原浆添加比大于12 %时，果泥偏酸，因此，确定沙棘原浆添加比为9%、10%和11%时，果泥酸甜适口，并且果泥香味浓郁。

2.1.4 白桃浓缩汁添加量对南瓜沙棘复合果泥感官评价的影响

白桃浓缩汁添加量对复合果泥进行感官评价，评价结果如表6所示。

由表6可知，白桃浓缩汁添加量小于2%，果泥口感较淡，偏酸；白桃浓缩汁添加量小于2%，果泥香气，口感偏甜，因此，确定白桃浓缩汁添加量为4%、6%和8%时，复合果泥酸甜适口，并且果泥香味浓郁。

表 6 沙棘原浆添加量对复合果泥品质的影响

Tab.6 Influence of the amount of sea buckthorn puree added on the quality of composite fruit puree

白桃浓缩汁添加量/%	感官评定
2	口感稍淡,复合果泥偏酸
4	口感酸甜适中,复合果泥香味较为浓郁
6	口感酸甜适中,复合果泥香味香气浓郁
8	口感酸甜适中,复合果泥香味香气浓郁
10	口感偏甜,复合果泥香味香气浓郁

2.2 模糊感官评定及模糊矩阵建立

在单因素试验的基础上,采用 $L_9(3^4)$ 正交设计表设计制备 9 组复合果泥,由 20 名感官评价人员对其色泽,香味,质地,口感分别进行等级评价,评价结果如表 7。

将表 7 中各个样品质量因素各个等级评价人数除以总评价人数得到模糊矩阵,样品 1 号~9 号的模糊矩阵为 R_j 。

表 7 南瓜沙棘复合果泥正交试验感官评分结果

Tab.7 Orthogonal test results of sensory scoring of pumpkin sea-buckthorn compound puree

样品	色泽				香味				质地				口感			
	优	良	中	差	优	良	中	差	优	良	中	差	优	良	中	差
1	8	6	4	2	8	8	4	0	10	2	5	3	11	5	3	1
2	10	4	4	2	10	4	6	0	8	9	2	1	8	8	2	2
3	12	5	2	1	12	6	1	1	10	5	3	2	7	9	3	1
4	12	6	2	0	13	5	2	0	15	3	2	0	4	14	1	1
5	13	7	1	0	11	6	3	0	8	12	0	0	7	10	3	1
6	14	4	2	0	16	3	1	0	6	13	1	0	8	12	0	0
7	12	7	1	0	17	2	1	0	13	7	0	0	12	7	1	0
8	10	6	3	1	10	8	2	0	6	10	3	1	5	10	4	1
9	9	8	3	0	8	9	2	1	8	9	2	1	4	10	5	1

$$\begin{aligned} R_1 &= \begin{bmatrix} 0.40 & 0.30 & 0.20 & 0.10 \\ 0.40 & 0.40 & 0.20 & 0.00 \\ 0.50 & 0.10 & 0.25 & 0.15 \\ 0.55 & 0.25 & 0.15 & 0.05 \end{bmatrix} & R_2 &= \begin{bmatrix} 0.50 & 0.20 & 0.20 & 0.10 \\ 0.50 & 0.20 & 0.30 & 0.00 \\ 0.40 & 0.45 & 0.10 & 0.05 \\ 0.40 & 0.40 & 0.10 & 0.10 \end{bmatrix} \\ R_3 &= \begin{bmatrix} 0.60 & 0.25 & 0.15 & 0.10 \\ 0.35 & 0.45 & 0.15 & 0.05 \\ 0.60 & 0.30 & 0.05 & 0.05 \\ 0.60 & 0.25 & 0.10 & 0.05 \end{bmatrix} & R_4 &= \begin{bmatrix} 0.60 & 0.30 & 0.10 & 0.00 \\ 0.65 & 0.25 & 0.10 & 0.05 \\ 0.75 & 0.15 & 0.10 & 0.00 \\ 0.20 & 0.70 & 0.05 & 0.05 \end{bmatrix} \\ R_5 &= \begin{bmatrix} 0.65 & 0.35 & 0.05 & 0.00 \\ 0.55 & 0.30 & 0.15 & 0.00 \\ 0.40 & 0.60 & 0.00 & 0.00 \\ 0.35 & 0.50 & 0.15 & 0.05 \end{bmatrix} & R_6 &= \begin{bmatrix} 0.70 & 0.20 & 0.10 & 0.00 \\ 0.80 & 0.15 & 0.05 & 0.00 \\ 0.30 & 0.65 & 0.05 & 0.00 \\ 0.60 & 0.35 & 0.05 & 0.00 \end{bmatrix} \\ R_7 &= \begin{bmatrix} 0.60 & 0.35 & 0.05 & 0.00 \\ 0.85 & 0.10 & 0.05 & 0.05 \\ 0.65 & 0.35 & 0.00 & 0.00 \\ 0.60 & 0.40 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix} & R_8 &= \begin{bmatrix} 0.50 & 0.30 & 0.15 & 0.05 \\ 0.50 & 0.40 & 0.10 & 0.05 \\ 0.30 & 0.50 & 0.15 & 0.05 \\ 0.25 & 0.50 & 0.20 & 0.05 \end{bmatrix} \\ R_9 &= \begin{bmatrix} 0.45 & 0.40 & 0.15 & 0.00 \\ 0.40 & 0.45 & 0.10 & 0.05 \\ 0.40 & 0.45 & 0.10 & 0.05 \\ 0.20 & 0.50 & 0.25 & 0.05 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

依据模糊变换原理可知 $Y=X \cdot R$, 对应 1~9 号同理计算 $Y_2 \sim Y_9$, 结果如表 8 所示。

样品评价结果为 $Y_j=X \cdot R_j$, 如:

$$Y_1 = X \times R_1 = (0.20 \ 0.25 \ 0.30 \ 0.25) \times \begin{bmatrix} 0.40 & 0.30 & 0.20 & 0.10 \\ 0.40 & 0.40 & 0.20 & 0.00 \\ 0.50 & 0.10 & 0.25 & 0.15 \\ 0.55 & 0.25 & 0.15 & 0.05 \end{bmatrix} = (0.468 \ 0.252 \ 0.202 \ 0.078)$$

表 8 南瓜沙棘复合果泥综合结果
Tab.8 Comprehensive results of pumpkin sea-buckthorn compound puree

Y_j	评价结果集
Y_1	(0.468 0.252 0.202 0.078)
Y_2	(0.445 0.325 0.170 0.060)
Y_3	(0.527 0.309 0.105 0.059)
Y_4	(0.551 0.338 0.086 0.025)
Y_5	(0.465 0.440 0.083 0.012)
Y_6	(0.58 0.36 0.06 0.00)
Y_7	(0.669 0.296 0.022 0.012)
Y_8	(0.430 0.342 0.171 0.057)
Y_9	(0.360 0.452 0.148 0.040)

2.2 正交试验结果与分析

模糊综合评价总分由表 8 的综合评价结果分别乘以其对应的分值（优 90 分，良 80 分，中 70 分，

差 60 分）并进行加和，得到样品 1 号~9 号的感官总分，见表 9。

通过正交结果分析可以看出，南瓜沙棘复合果泥的最佳因素组合为 $A_2D_1C_3B_2$ （评定结果属于“良好”）。四个因素对果泥影响主次关系是：沙棘原浆添加比>蒸煮时间>蒸煮次数>白桃浓缩汁添加量，即对南瓜沙棘果泥品质和口感影响最大的是沙棘原浆添加量，其次是蒸煮时间，再次是制泥次数，最后是白桃浓缩汁添加量。通过感官评分得到的最佳配方是 $A_2D_1C_3B_2$ ，即沙棘原浆添加量为 10%，蒸煮时间为 30 min，制泥时间为 4 min，白桃浓缩汁添加量为 4% 时，制备的南瓜沙棘复合果泥，颜色宜人、口感细腻、果泥组织状态稳定。

2.3 南瓜沙棘复合果泥味觉特征分析

表 9 南瓜沙棘复合果泥正交试验结果分析表
Tab.9 Analysis table of orthogonal test results of pumpkin sea-buckthorn compound puree

序号	沙棘原浆添加比/%	白桃浓缩汁添加量/mL	制泥时间/min	蒸煮时间/min	感官评分/分
1	1	1	1	1	81.10
2	1	2	2	2	81.55
3	1	3	3	3	83.04
4	2	1	2	3	84.15
5	2	2	3	1	83.58
6	2	3	1	2	85.20
7	3	1	3	2	86.15
8	3	2	1	3	81.45
9	3	3	2	1	81.32
k1	81.90	83.80	82.58	82.00	
k2	84.31	82.19	82.34	84.30	
k3	82.97	83.19	84.26	82.88	
R	2.41	1.00	1.92	2.30	
优水平			$A_2D_1C_3B_2$		

通过电子舌味觉分析仪测定五款不同果泥的味觉值，结果如图 2 所示。其中 1、2、3 号分别为市售果泥，4 号为南瓜沙棘复合果泥，5 号为南瓜

泥。南瓜沙棘复合果泥的甜味值位于市售果泥和南瓜泥之间，酸甜适中。酸味值、苦味值、鲜味值以及丰富度无明显区别。

2.4 南瓜沙棘复合果泥相关指标

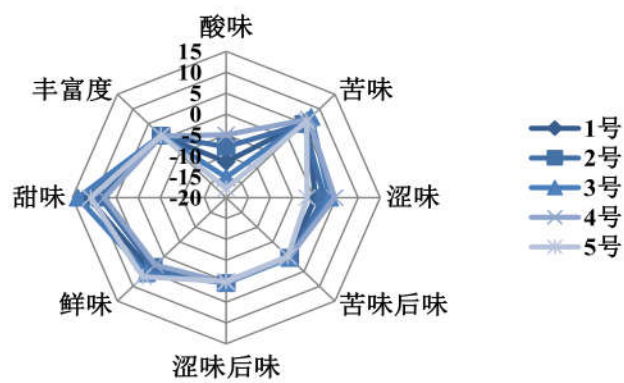


图2 五款不同果泥味觉雷达图
Fig.2 Radar map of five different puree taste

表 10 南瓜沙棘复合果泥相关指标
Tab.10 Relevant indicators of pumpkin sea-buckthorn compound puree

样品名称	检测项目	检测结果
南瓜沙棘复合果泥	感官评定	具有南瓜沙棘复合果泥应有的色泽、气味、质地和口感
	可溶性固形物(Brix)	20.5±0.10
	pH	4.33±0.02
	总酸(%)	0.62±0.08
	水分(%)	23.52±0.30
	稠度(mJ)	7.79±0.11
	黏度(mJ)	2.31±0.03
	硬度(N)	1.88±0.01
	微生物	未检出

2.5 南瓜沙棘复合果泥成品效果



图3 南瓜沙棘复合果泥成品
Fig.3 Product of pumpkin and sea-buckthorn compound puree

南瓜沙棘复合果泥成品展示如图3所示，该果泥色泽鲜亮，保持了板栗南瓜和沙棘原有的色泽。

3 结果和讨论

采用的板栗南瓜、沙棘原浆、白桃浓缩汁均为纯天然的食品，减少合成甜味剂和酸味剂的使用，通过沙棘、南瓜复配，丰富了果泥的口感及营养，满足广大消费者健康需求。当沙棘原浆添加比 10%，蒸煮时间为 30 min，制泥时间为 4 min，白桃浓缩汁添加量 4% 时，制备的南瓜沙棘复合果泥的感官效果和稳定性达到最佳。该工艺简单，且设备条件要求不高，可适用于家庭小型制作或工业化生产。

(下转第 669 页)

- 的应用[J]. 水泥技术, 2023(02):93-96.
- [6] 丁佳栋, 陈迤岳, 陈晓飞等. 不同改性粉煤灰处理含磷废水效果比较研究[J]. 杭州师范大学学报(自然科学版), 2018, 17(3):264-268.
- [7] Dai Quxiu, Xie Longgui, Ma Liping, Yang Jie, Yang Xinbo, Ren Nanqi, Tian Guocai, Guo Zhiying, Ning Ping. Effects of flocculant-modified phosphogypsum on sludge treatment: investigation of the operating parameters, variations of the chemical groups, and heavy metals in the sludge[J]. ENVIRONMENTAL SCIENCE-WATER RESEARCH & TECHNOLOGY, 2021, 7(1).
- [8] Meng Zhao, Wei Guo, Li-yi Chen, Shan-yong Wang. Experiment on the frost resistance of Modified Phosphogypsum: A case used to Improve Baozhong Railway Subgrade loess[J]. Journal of Mountain Science, 2019, 16(24).
- [9] 刘寒冰, 杨兵, 薛南冬. 酸碱改性活性炭及其对甲苯吸附的影响[J]. 环境科学, 2016, 011(011):240.
- [10] 李子成, 李志宏, 张爱菊等. α -半水石膏基复合胶凝材料体系微观结构分析[J]. 稀有金属材料与工程, 2008, 37(A01)
- [11] Zhao Fengwen, Hu Jianhua, Yang Yinan, Xiao Hongxing, Ma Fengcheng. Cross-Scale Study on Lime Modified Phosphogypsum Cemented Backfill by Fractal Theory[J]. Minerals, 2022, 12(4).
- [12] 刘浩, 聂晨晨, 李宏萍等. 基于 Box-Behnken 响应面法优化无水磷石膏疏水改性工艺[J]. 硅酸盐通报, 2022, 41(10): 3599-3607.
- [13] 陈家灵, 谢海云, 张培等. 磷石膏治理重金属废水的研究进展[J]. 矿冶, 2022, 31(05):80-87.
- [14] 张婧, 孟醒, 唐永波等. 磷石膏杂质处理及综合利用研究进展[J]. 磷肥与复肥, 2021, 36(09):25-28.
- [15] Energy; Findings from Southwest University of Science and Technology Reveals New Findings on Energy (Modified Phosphogypsum Sequestering CO_2 and Characteristics of the Carbonation Product) [J]. Energy Weekly News, 2019.
- [16] 许金辉, 邵龙义, 侯海海等. 磷石膏综合利用背景下的环境影响研究现状[J]. 矿业科学学报, 2023, (01):115-126.
- [17] 欧二线, 班骞, 田方等. 干旱对高羊茅幼苗生长和内源激素影响的分析[J]. 分子植物育种, 2023, 21(12):4085-4093.
- [18] 韩秉进. 松嫩平原黑土区玉米生产氮磷配合肥效优化模型的研究[J]. 土壤学报, 1998(03):392-397.

(上转第 650 页)

参考文献:

- [1] 阮惠明. 板栗南瓜优质高效栽培技术[J]. 蔬菜, 2021(06): 39-41.
- [2] 崔立柱, 付依依, 刘士伟等. 沙棘营养价值及产业发展概况[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(11):218-224.
- [3] 周浩楠, 胡娜, 董琦等. 沙棘化学成分及药理作用的研究进展[J]. 华西药学杂志, 2020, 35(02):211-217.
- [4] 肖志刚, 霍金杰, 王哲等. 模糊数学评价法优化素肉饼工艺及其品质研究[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(06):118-123.
- [5] 杨雪欣, 陈可靖. 基于模糊数学评价法优化蛋清糊配方设计[J]. 食品工业科技, 2021, 42(16):147-153.
- [6] 李玉珍, 肖怀秋. 模糊数学评价法在食品感官评价中的应用[J]. 中国酿造, 2016, 35(05):16-19.
- [7] 宋菲红, 蒋玉梅, 盛文军等. 苹果沙棘复合果泥配方优化及品质分析[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(06):184-194.
- [8] 王娟, 王然, 王佳等. 七种日韩梨果泥贮藏稳定性研究[J]. 食品科学, 2011, 32(16): 357-360.
- [9] 杨颖, 潘兆平, 李绮丽等. 响应面法优化赣南脐橙全果果酱微波制作工艺[J]. 中国食品学报, 2020, 20(12):167-175.
- [10] 赵鹏. 不同灭菌方式对枸杞汁品质的影响及货架期预测[J]. 青海农林科技, 2020(04): 36-41.
- [11] 谭银莹. 三维磁场辅助冷冻对牛油果泥贮藏品质的影响[D]. 江南大学, 2020.