

沙棘营养代餐粉的 研制及其流变特性

刘 俭¹, 蔡永国², 王霞伟¹, 张 兵¹, 汪莉莉¹, 杨海燕^{1,3,*}

(1.新疆农业大学食品科学与药学院, 新疆乌鲁木齐 830052;

2.新疆慧华沙棘生物科技有限公司, 新疆阿勒泰 836200;

3.新疆沙棘工程技术研究中心, 新疆乌鲁木齐 830000)

摘要:本文以沙棘果粉、红小豆粉、薏仁米粉为主要原料, 添加甜菊糖苷、赤藓糖醇、菊粉和魔芋粉研制一款沙棘营养代餐粉(以下简称代餐粉), 通过单因素实验、Plackett-Burman 因素筛选试验、最陡爬坡试验和 Box-Behnken 试验结合感官评分优化代餐粉的配方, 并对其流变特性进行测定。结果表明: 代餐粉的最佳配方为红小豆粉添加量 8.89 g、薏仁米粉添加量 6 g、沙棘果粉添加量 3 g、甜菊糖苷添加量 0.05 g、赤藓糖醇添加量 1.01 g、菊粉添加量 3 g、魔芋粉添加量 0.49 g, 该工艺下代餐粉的感官评分为(91.0 ± 0.6)分。流变特性研究表明, 在恒定的剪切速率下, 20% 代餐粉的粘度在 0~15 min 内急速增大, 在 15~30 min 内趋于平缓。所得产品经热水冲调后酸甜适口, 富含蛋白质、维生素 C 和黄酮等营养成分, 且其加工工艺简单, 适于工业化生产。

关键词:沙棘果粉, 代餐粉, 粘度, Plackett-Burman 试验, Box-Behnken 试验

Preparation and Rheological Properties of Nutritional Seabuckthorn Meal Replacement Powder

LIU Jian¹, CAI Yong-guo², WANG Xia-wei¹, ZHANG Bing¹, WANG Li-li¹, YANG Hai-yan^{1,3,*}

(1.College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

2.Xinjiang Huihua Seabuckthorn Biotechnology limited company, Altay 836200, China;

3.Xinjiang Seabuckthorn Engineering Research Center, Urumqi 830000, China)

Abstract: The objective of this paper was to develop nutritional seabuckthorn meal replacement powder (hereinafter called meal replacement powder) primarily with seabuckthorn fruit powder, adzuki bean powder and adlay powder mixed with stevioside, erythritol, inulin and konjac flour. The optimal formulation was determined by means of one-factor-at-a-time experiments, Plackett-Burman design, steepest ascent path design and Box-Behnken design combined with sensory scoring method, and its rheological properties were analyzed. Results showed that the best formula of meal replacement powder was: Adzuki bean powder 8.89 g, adlay powder 6 g, seabuckthorn fruit powder 3 g, stevioside 0.05 g, erythritol 1.01 g, inulin 3 g and konjac flour 0.49 g. Sensory score was 91.0 ± 0.6, and the intrinsic viscosity values with 20% meal replacement powder tended to an increase in 0~15 min and flattening out in 15~30 min at settled shear rate, the mixtures with meal replacement powder and hot water were nice sweet and sour, rich in protein, vitamin C, flavonoids and other nutrients. This study would provide meaningful knowledge for more easier industrial process.

Key words: seabuckthorn fruit powder; meal replacement powder; viscosity; Plackett-Burman design; Box-Behnken design

中图分类号: TS255.1

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2019)08-0163-07

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2019.08.028

引文格式: 刘俭, 蔡永国, 王霞伟, 等. 沙棘营养代餐粉的研制及其流变特性[J]. 食品工业科技, 2019, 40(8): 163-169.

沙棘 (*Hippophe rhamnoids* L.), 是一种药食两用的植物资源, 果实富含维生素 C、黄酮类化合物、多糖、氨基酸、不饱和脂肪酸和微量元素等^[1], 极具营养保健价值, 是人类补充营养的首选水果之一^[2]。我国

是沙棘资源最为丰富的国家, 总面积近 3000 万亩, 占世界沙棘总面积的 95%^[3]。真空冷冻干燥的沙棘果粉最大限度地保留了沙棘的活性成分^[4], 利用沙棘果粉开发新的产品附加值高, 发展前景十分广阔。

收稿日期: 2018-07-17

作者简介: 刘俭(1994-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工与综合利用, E-mail: 18999533946@163.com。

* 通讯作者: 杨海燕(1962-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 农产品精深加工与综合利用, E-mail: yanghaiyan163@163.com。

基金项目: 民族特色果蔬制品关键技术开发与示范(2016A01001-2)。

代餐粉是由一种或多种原辅料粉,按照一定的方法、比例混合调配而成的一类冲调粉剂产品^[5]。由于它的营养均衡、食用方便等优点,成为现在最为流行的营养代餐产品之一。代餐粉产品种类丰富,有单一原料的代餐粉,如蒋勇等^[6]开发的一款豆渣代餐粉,具有低能量、低钠盐、营养均衡的特点。也有多种复合原料的营养代餐粉,如冯彦君^[5]以麦苗醇素粉、魔芋粉、鱼胶原蛋白等研制了一种麦苗醇素营养代餐粉,具有良好的抗氧化能力。张丽颖^[7]以红豆粉、薏米粉、甜味剂等为原料,设计的杂粮代餐粉营养丰富,口感细腻,滋味甘甜。目前市面上代餐粉的产品以红豆薏米粉为主,关于添加果粉的代餐粉产品鲜有报道。

鉴于此,为了充分开发利用沙棘资源,本实验以沙棘果粉、红小豆粉、薏仁米粉为主要原料,添加甜菊糖苷、赤藓糖醇、菊粉和魔芋粉研制沙棘营养代餐粉,通过单因素实验、Plackett-Burman 因素筛选试验、最陡爬坡试验和 Box-Behnken 试验结合感官评分优化代餐粉的配方,并对其流变特性进行测定,以期沙棘营养代餐粉的工业化生产提供配方和理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

沙棘冻干果粉(纯度 100%) 新疆慧华沙棘生物科技有限公司提供;红小豆、薏仁米 品牌金亮子,购于新疆乌鲁木齐友好超市;菊粉、魔芋粉、微粉硅胶、甜菊糖苷、赤藓糖醇等 均为市售食品级。

JY5002 电子天平 上海舜宇恒平科学仪器有限公司;AL204 电子天平 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;CKWSZ-100 嘉利电烤炉 广州嘉利电器有限公司;FW-100 高速万能粉碎机 北京市永光明医疗仪器有限公司;HH-S4 数显恒温水浴锅 金坛市医疗仪器厂;SNB-1 数字粘度计 上海天美天平仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 工艺流程

红小豆、薏仁米→清洗→自然晾干→烘烤→粉碎
 沙棘果粉+微粉硅胶→粉碎→过100目筛→混合调配→
 包装→成品
 赤藓糖醇、甜菊糖苷、菊粉、魔芋粉

1.2.2 操作要点 烘烤:将红小豆、薏仁米分别平铺于烤盘,放入烤箱,设置温度 150 ℃,时间 25 min,烤制终点以红小豆颜色暗红、薏仁米颜色黄白为宜。

沙棘果粉+微粉硅胶:微粉硅胶的添加量为 1.5% (基于沙棘果粉的质量百分比)^[8]。

粉碎、过 100 目筛:使用 FW-100 高速万能粉碎机将原料和辅料进行粉碎,粉碎两次,每次时间 10 s,然后过 100 目筛。

1.2.3 代餐粉配方单因素实验 研究红小豆粉、薏仁米粉和沙棘果粉,以及甜菊糖苷、赤藓糖醇、菊粉和魔芋粉不同添加量对代餐粉感官品质的影响。固定其余的因素在中间水平上,然后逐一进行每个单因素实验。具体试验设计方案见表 1。

表 1 单因素实验因素与水平

Table 1 Factors and levels of one-factor-at-a-time experiments

试验因素	水平				
	1	2	3	4	5
红小豆粉添加量(g)	3	6	9	12	15
薏仁米粉添加量(g)	3	6	9	12	15
沙棘果粉添加量(g)	3	4	5	6	7
甜菊糖苷添加量(g)	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07
赤藓糖醇添加量(g)	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5
菊粉添加量(g)	1	2	3	4	5
魔芋粉添加量(g)	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7

1.2.4 代餐粉配方 Plackett-Burman 因素筛选试验 根据单因素实验结果,考察红小豆粉、薏仁米粉、沙棘果粉、甜菊糖苷、赤藓糖醇、菊粉和魔芋粉的添加量,一共 7 个因素对代餐粉感官品质的影响显著性。利用 Design-Expert 10.0.3 软件进行 Plackett-Burman 试验设计及数据处理,根据试验结果,确定影响显著的因素,进行后续试验^[9]。试验因素与水平设计见表 2。

1.2.5 显著因素最陡爬坡试验 为了使得通过 Plackett-Burman 试验确定的显著因素取值逼近最佳的区域,进行最陡爬坡试验,从而建立响应面拟合方程。按照一次拟合方程,设计显著因素的爬坡方向和步长,完成最陡爬坡试验。根据试验结果选取感官评分最高的试验处理组,该处理组对应的各因素值,作为进行 Box-Behnken 优化试验时的“0 水平”^[10]。

1.2.6 代餐粉配方优化试验 根据 Plackett-Burman 试验确定的显著因素和最陡爬坡试验确定的各个显著因素的“0 水平”,按照步长计算得到“-1”和“1”水平。采用 Box-Behnken 试验设计原理设计响应面试验,以感官评分为响应值,进一步优化代餐粉配方。响应面优化试验因素与水平见表 3。

1.2.7 感官评定 挑选食品专业爱好代餐粉的学生 10 人(男女比例 1:1)组成感官评定小组,根据代餐粉属于冲调糊状食品,制定具体评价标准见表 4^[11]。

表 2 Plackett-Burman 试验因素与水平

Table 2 Factors and levels of Plackett-Burman experiments

水平	试验因素						
	A 红小豆粉 添加量(g)	B 薏仁米粉 添加量(g)	C 沙棘果粉 添加量(g)	D 甜菊糖苷 添加量(g)	E 赤藓糖醇 添加量(g)	F 菊粉 添加量(g)	G 魔芋粉 添加量(g)
-1	8	6	4	0.03	0.9	3	0.4
1	12	9	6	0.05	1.35	4.5	0.6

表4 沙棘营养代餐粉感官评分标准

Table 4 Sensory evaluation criteria of nutritional seabuckthorn meal replacement powder

指标	(16~20分)	(11~15分)	(1~10分)
冲调性能	溶解迅速,均匀	稍有结块,搅拌后溶解	结块较多,不易溶解
组织状态	糊状,黏度适宜,红豆皮渣颗粒分布均匀,稳定不分层	糊状,黏度过稠,有团块物,红豆皮渣颗粒分布均匀,稳定不分层	糊状,黏度过稀,红豆皮渣分布不均,不稳定易分层
色泽	色泽均匀明亮,呈橘黄色	色泽正常,呈黄褐色	色泽较差,成棕褐色
气味	香气浓郁宜人,沙棘香气纯正,稍有红豆香味	香气较宜人,沙棘香气较浓	沙棘气味刺鼻,香气不宜
口感滋味	口感柔和细腻,无砂粒感,沙棘滋味极浓纯正,酸甜可口	口感粗糙,稍有砂粒感,沙棘滋味宜人,酸甜可口	口感粗糙,有砂粒感,沙棘滋味不宜,过酸或过甜且稍有苦味

表3 响应面试验的因素与水平

Table 3 Factors and levels of response surface experiments

试验因素	水平		
	-1	0	1
X ₁ 红小豆粉添加量(g)	8	10	12
X ₂ 赤藓糖醇添加(g)	0.9	1.0	1.1
X ₃ 魔芋粉添加量(g)	0.4	0.5	0.6

称取 20 g 搅拌均匀的代餐粉倒入透明玻璃杯中,用 70 °C 的纯净水 80 mL 冲调,搅拌 30 s 即可进行评定。10 个小组成员逐一对样品进行感官评价,评完一个样品后用纯净水漱口,5 min 后再评定下个样品。

1.2.8 代餐粉粘度的测定 将 40 g 的代餐粉倒入 250 mL 杯中,用 70 °C 左右的纯净水 160 mL 冲调,形成质量分数 20% 的糊状液^[12]。采用 SNB-1 数字粘度计测定其粘度,测定条件:SP:3 转子,6 r/min,恒温 25、50 和 70 °C 测定。

1.2.9 代餐粉营养成分的测定 水分的测定:GB 5009.3-2016 直接干燥法^[13];粗蛋白的测定:GB 5009.5-2016 凯氏定氮法^[14];粗脂肪的测定:GB 5009.6-2016 索氏抽提法^[15];抗坏血酸的测定:GB 5009.86-2016 2,6-二氯靛酚滴定法^[16];黄酮的测定:参照 DB13/T385-1998《食品中总黄酮(芦丁)的测定》^[17]和史雯^[18]的方法进行测定。

1.3 数据分析

数据处理和统计分析使用 Excel 和 SPSS 21.0 软件,作图采用 Origin 8.5 软件,使用 Design-Expert 10.0.3 软件进行 Plackett-Burman 试验设计和响应面分析。

2 结果与分析

2.1 单因素实验结果与分析

红小豆营养丰富,含有蛋白质、膳食纤维、皂苷、多酚和单宁等^[19],具有利尿通便、降低胆固醇等功效^[20],以红小豆为原料加工的食品深受大众欢迎。由图 1 可知,代餐粉的感官评分随着红小豆粉添加量的增加呈现先增加后减少的趋势,当红小豆粉添加量为 12 g 时,代餐粉感官评分达到最高。这是因为红小豆粉的淀粉含量较高,增加红小豆粉可使代餐粉冲调后稳定不分层,但过多后也会使代餐粉易结块;且其富有宜人的红豆香气,一定程度可以调和沙棘的刺鼻气味。

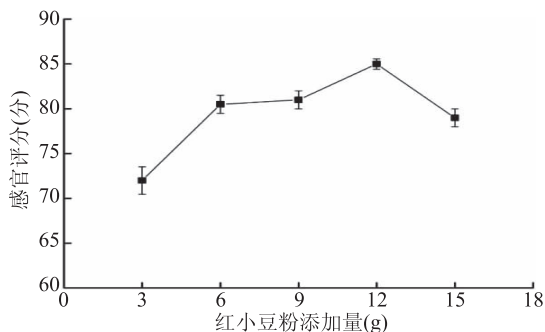


图1 红小豆粉添加量对代餐粉感官评分的影响
Fig.1 Effect of adzuki bean powder dosage on sensory score of meal replacement powder

薏仁米又名薏苡仁,富含薏苡仁酯、薏仁多糖、薏醇、薏苡素及特有的三萜类化合物等多种药用成分^[21],因此具有消炎抗敏、降血压降血脂、瘦身美白等功效^[22]。由图 2 可知,随着薏仁米粉添加量的增多,代餐粉的感官评分先增加后减少,添加量为 6 g 时,感官评分达到最高。这是因为少量薏仁米粉颗粒可以增加代餐粉的口感,过多会让代餐粉变得口感粗糙,有砂粒感。

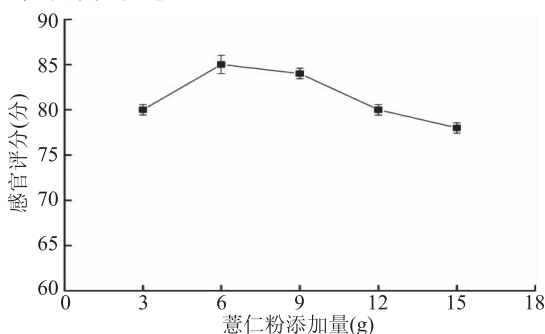


图2 薏仁米粉添加量对代餐粉感官评分的影响
Fig.2 Effect of adlay powder dosage on sensory score of meal replacement powder

沙棘果实的有机酸含量丰富,高达 215.83 mg/L^[23],沙棘果粉味酸且其特征气味较不宜人。由图 3 可知,当沙棘果粉添加量为 3~4 g 时,感官评分不断增加,在添加量为 4 g 时达到最高。当沙棘果粉添加量大于 4 g 时,代餐粉的感官评分开始急剧下降,这是因为过多的沙棘果粉会使代餐粉的整体风味变差。

由图 4 可知,随着甜菊糖苷添加量的不断增加,代餐粉的感官评分先增加后减少,在添加量为 0.05 g

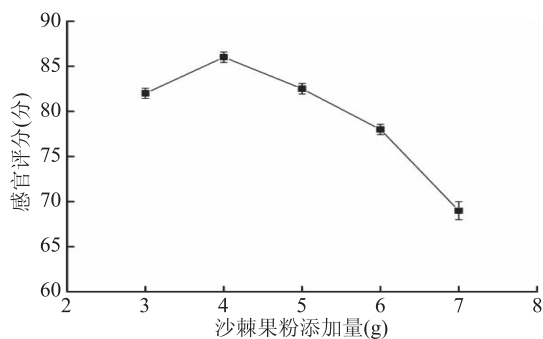


图3 沙棘果粉添加量对代餐粉感官评分的影响

Fig.3 Effect of seabuckthorn fruit powder dosage on sensory score of meal replacement powder

时达到最高。这是因为甜菊糖苷是甜菊糖苷的甜度是蔗糖的300~450倍,略带苦涩后味^[24]。适量的甜菊糖苷可以增加代餐粉的甜味,使得代餐粉酸甜可口;但是过量的甜菊糖苷不仅会使代餐粉口味过甜,而且会使代餐粉变得苦涩。

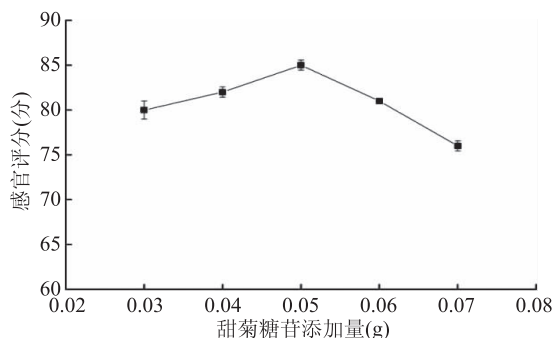


图4 甜菊糖苷添加量对代餐粉感官评分的影响

Fig.4 Effect of stevioside dosage on sensory score of meal replacement powder

由图5可知,随着赤藓糖醇添加量的不断增加,代餐粉的感官评分先增加后减少,在添加量为0.9g时达到最高。这是因为赤藓糖醇也是天然、低糖甜味剂,它的甜度低于蔗糖,但其甜味纯正清爽能够掩盖苦味,因而成为甜菊糖苷的完美搭档^[25],但是过量的赤藓糖醇会使代餐粉过甜。

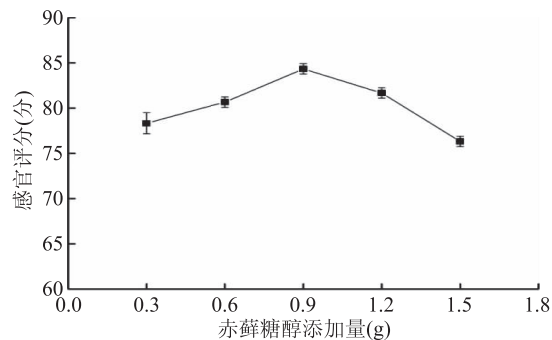


图5 赤藓糖醇添加量对代餐粉感官评分的影响

Fig.5 Effect of erythritol dosage

on sensory score of meal replacement powder

菊粉又名菊糖,是一种天然的可溶性膳食纤维,具有降脂降压的功效,被广泛应用于谷物杂粮食品中^[26]。由图6可知,当菊粉添加量为1~3g时,代餐

粉的感官评分不断提高,这是因为菊粉增加了代餐粉的溶解性;继续增加菊粉的添加量,感官评分基本不变,这与菊粉的甜度极低不会影响代餐粉的甜酸口味有关。

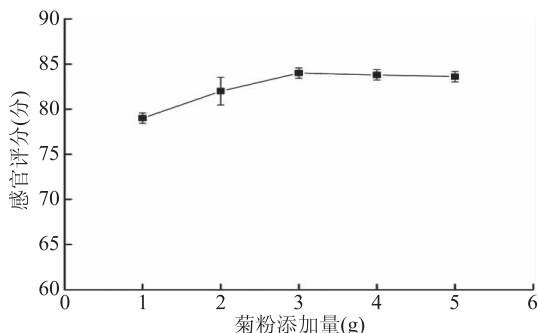


图6 菊粉添加量对代餐粉感官评分的影响

Fig.6 Effect of inulin dosage

on sensory score of meal replacement powder

由图7可知,随着魔芋粉添加量的增加,代餐粉的感官评分呈现先增加后下降的趋势。这是因为魔芋粉含有魔芋葡甘聚糖(KGM),具有良好的乳化性、增稠性等,且它还是一种膳食纤维^[27]。魔芋粉用作代餐粉的配料,可以提高代餐粉的稳定性、乳化性,并使代餐粉稠度适宜,口感细腻。

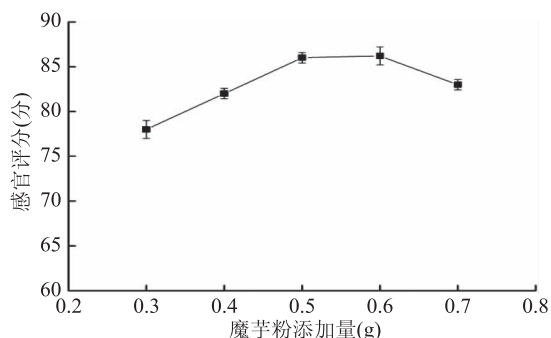


图7 魔芋粉添加量对代餐粉感官评分的影响

Fig.7 Effect of konjac flour dosage

on sensory score of meal replacement powder

2.2 代餐粉配方 Plackett-Burman 因素筛选试验结果

表5为代餐粉配方 Plackett-Burman 因素筛选试验设计与结果,7个因素一共12组试验,以感官评分为指标进行考察。Plackett-Burman 试验中各因素显著性排序的柏拉图如图8所示,显著性最前的3位因素是魔芋粉添加量、红小豆粉添加量、赤藓糖醇添加量。固定薏仁米粉添加量6g、沙棘果粉添加量3g、甜菊糖苷添加量0.05g、菊粉添加量3g,设计显著因素的爬坡方向和步长,完成最陡爬坡试验。魔芋粉添加量对代餐粉感官品质的影响极显著($p < 0.01$),红小豆粉添加量、赤藓糖醇添加量对代餐粉感官品质的影响显著($p < 0.05$),并且魔芋粉添加量、红小豆粉添加量表现出负相关性,赤藓糖醇添加量表现出正相关性。

2.3 显著因素最陡爬坡试验结果

由表6可知,第2组试验代餐粉的感官评分最

表5 Plackett-Burman 试验设计与结果

Table 5 Plackett-Burman design with experimental results

实验号	A 红小豆粉 添加量(g)	B 薏仁米粉 添加量(g)	C 沙棘果粉 添加量(g)	D 甜菊糖苷 添加量(g)	E 赤藓糖醇 添加量(g)	F 菊粉 添加量(g)	G 魔芋粉 添加量(g)	Y 感官评分 (分)
1	8	9	6	0.03	1.35	4.5	0.6	78.3
2	12	9	4	0.03	0.9	4.5	0.4	82.0
3	8	6	4	0.05	0.9	4.5	0.6	80.4
4	12	9	6	0.03	0.9	3	0.6	71.5
5	12	6	6	0.05	1.35	3	0.4	88.2
6	8	6	6	0.03	1.35	4.5	0.4	90.6
7	8	6	4	0.03	0.9	3	0.4	88.7
8	8	9	4	0.05	1.35	3	0.6	83.6
9	8	9	6	0.05	0.9	3	0.4	84.8
10	12	6	6	0.05	0.9	4.5	0.6	66.2
11	12	6	4	0.03	1.35	3	0.6	76.9
12	12	9	4	0.05	1.35	4.5	0.4	84.4

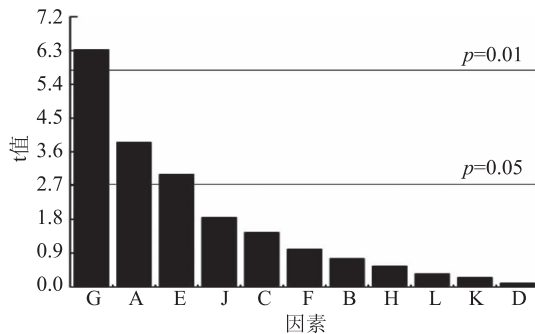


图8 Plackett-Burman 试验的因素显著性排序

Fig.8 Significance ranking of factors tested in Plackett-Burman design

高,得分为 90.5 分。因此响应面优化试验因素的“0 水平”选择第 2 组试验处理即红小豆粉添加量 10 g、赤藓糖醇添加量 1.0 g、魔芋粉添加量 0.5 g,在此基础选择涵盖次优水平即第 3 组试验处理的步长,从零水平数值计算“-1”和“1”水平。构成 Box-Behnken 优化试验设计水平^[28]。

表6 最陡爬坡试验设计与结果

Table 6 Steepest ascent path design with experimental results

实验号	A 红小豆粉 添加量 (g)	E 赤藓糖醇 添加量 (g)	G 魔芋粉 添加量 (g)	Y 感官评分 (分)
1	12	0.9	0.6	72.4
2	10	1.0	0.5	90.5
3	8	1.1	0.4	84.0
4	6	1.2	0.3	82.6
5	4	1.3	0.2	66.8

2.4 代餐粉配方优化试验结果

运用 Design-Expert 10.0.3 软件对表 7 试验结果进行多元回归拟合,拟合所得代餐粉感官评分(Y)的多元二次回归方程如下:

$$Y = +90.34 - 3.30X_1 + 2.39X_2 - 0.89X_3 + 0.87X_1X_2 - 0.23X_1X_3 + 1.00X_2X_3 - 2.85X_1^2 - 6.82X_2^2 - 5.72X_3^2$$

表7 Box-Behnken 试验设计及结果

Table 7 Experimental design and results of Box-Behnken

实验号	X ₁ 红小豆粉 添加量	X ₂ 赤藓糖醇 添加量	X ₃ 魔芋粉 添加量	Y 感官评分 (分)
1	0	0	0	89.5
2	-1	0	-1	84.5
3	-1	-1	0	82.6
4	1	-1	0	72.8
5	0	-1	-1	78.4
6	1	1	0	80.5
7	0	0	0	90.8
8	0	-1	1	73.6
9	0	1	1	79.2
10	-1	1	0	86.8
11	-1	0	1	84.2
12	0	0	0	91.2
13	1	0	1	78.6
14	1	0	-1	79.8
15	0	0	0	90.4
16	0	0	0	89.8
17	0	1	-1	80.0

对该回归模型及其系数进行显著性检验,结果见表 8。

由表 8 可知,模型的 F 值为 38.91, $p < 0.01$,说明该模型极显著,可较好地描述各因素与响应值之间的真实关系,可以利用该回归方程确定代餐粉最优配方。失拟项在 0.05 水平上不显著($p = 0.0552$),说明残差均由随机误差引起。模型校正决定系数 $R^2_{adj} = 0.9552$,说明模型能够解释 95.52% 响应值的变化;模型的复决定系数为 $R^2 = 0.9804$,说明该模型与实际拟合较好,故适用于本次试验优化配方的预测。其中模拟一次项 X_1 、 X_2 以及模拟二次项 X_1^2 、 X_2^2 、 X_3^2 对代餐粉感官评分的影响达到极显著水平,其他项影响不显著,说明 3 个因素产生独立的影响^[29]。

通过软件的优化程序模块对感官品质进行优

表8 Box-Behnken 试验结果二次回归方差分析

Table 8 Analysis of variance(ANOVA) for the results of Box-Behnken design quadratic model

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	p 值	显著性
模型	551.28	9	61.25	38.91	<0.0001	**
X ₁	87.12	1	87.12	55.34	0.0001	**
X ₂	45.60	1	45.60	28.97	0.0010	**
X ₃	6.30	1	6.30	4.00	0.0855	
X ₁ X ₂	3.06	1	3.06	1.95	0.2057	
X ₁ X ₃	0.20	1	0.20	0.13	0.7304	
X ₂ X ₃	4.00	1	4.00	2.54	0.1550	
X ₁ ²	34.08	1	34.08	21.65	0.0023	**
X ₂ ²	195.84	1	195.84	124.41	<0.0001	**
X ₃ ²	137.76	1	137.76	87.51	<0.0001	**
残差	11.02	7	1.57			
失拟项	9.07	3	3.02	6.19	0.0552	
纯误差	1.95	4	0.49			
总回归	562.30	16				
	$R^2 = 0.9804$			$R^2_{Adj} = 0.9552$		

注: ** 代表差异极显著, $p < 0.01$ 。

表9 代餐粉的主要成分

Table 9 Major components of meal replacement powder

样品名称	水分 (%)	粗蛋白 (g/100 g)	粗脂肪 (g/100 g)	维生素 C (mg/100 g)	黄酮 (mg/100 g)
沙棘营养代餐粉	5.16 ± 0.21	13.52 ± 0.16	3.61 ± 0.12	96.84 ± 0.55	72.15 ± 0.78
“纤磨坊”红豆薏米粉	4.86 ± 0.30	8.12 ± 0.21	7.88 ± 0.15	16.58 ± 0.38	34.64 ± 0.45

化,结果如下红小豆粉添加量 8.886 g、赤藓糖醇添加量 1.0135 g、魔芋粉添加量 0.4945 g,模型预测感官评分可达 91.2 分。考虑实际生产操作的可行性,将原辅料粉的添加量修正为:红小豆粉添加量 8.89 g、赤藓糖醇添加量 1.01 g、魔芋粉添加量 0.49 g。采用上述优化的添加量进行 3 次重复试验,代餐粉实际感官评分为 91.0 ± 0.6 分,与预测值基本一致。

2.5 代餐粉的粘度

图 9 是代餐粉在 6 r/min、不同温度下的粘度曲线。从图 9 中可以看出,代餐粉的粘度在 0~15 min 内急速增大,在 15~30 min 内趋于平缓。一方面淀粉颗粒吸水溶胀,淀粉糊化程度开始上升,淀粉糊化到一定程度,则会趋于平缓^[30];另一方面魔芋粉在溶胀时吸收掉了大量的水使得黏度增加,当水分不够后凝胶强度不再增加粘度也就不再变化^[31]。对比图 9 中三条曲线可知,代餐粉的粘度随着温度的升高而降低,这与于文滔等^[32]关于膨化粉的粘度研究结果一致。

2.6 代餐粉的营养成分

由表 9 可知,与市面上“纤磨坊”的一款红豆薏米粉相比,本沙棘营养代餐粉含有较多的粗蛋白、维生素 C 和 黄酮等营养成分,粗脂肪的含量较低,表明该代餐粉营养价值极高,老少皆宜食用。

3 结论

试验利用沙棘果粉、红小豆粉、薏仁米粉、甜味剂和魔芋粉研制沙棘营养代餐粉。通过单因素实验

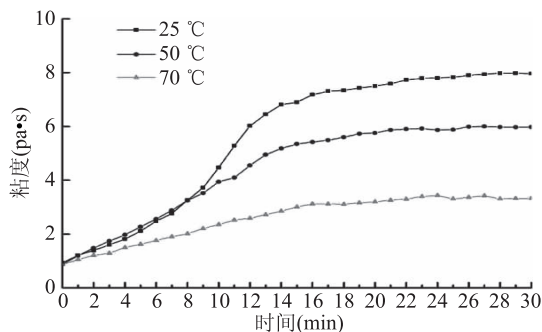


图9 不同温度下代餐粉的粘度曲线

Fig.9 Viscosity curves of meal replacement powder at different temperatures

和 Plackett-Burman 因素筛选试验结合柏拉图确定显著性最前的 3 位因素是魔芋粉、红小豆粉、赤藓糖醇。由最陡爬坡试验和 Box-Behnken 优化试验得,显著因素优化结果为红小豆粉添加量 8.89 g、赤藓糖醇添加量 1.01 g、魔芋粉添加量 0.49 g。最终确定沙棘营养代餐粉的配方为红小豆粉添加量 8.89 g、薏仁米粉添加量 6 g、沙棘果粉添加量 3 g、甜菊糖苷添加量 0.05 g、赤藓糖醇添加量 1.01 g、菊粉添加量 3 g、魔芋粉添加量 0.49 g,该工艺下代餐粉的感官评分为 (91.0 ± 0.6) 分。

代餐粉的流变特性研究结果表明,在恒定的剪切速率下,20% 的代餐粉冲调后的粘度先增大后趋于平缓,随着温度的升高而降低。产品经热水冲调后呈橘黄色,香气浓郁宜人,口感柔和细腻,具有沙

棘营养代餐粉特有的风味和良好的溶解性,富含蛋白质、维生素 C 和黄酮等营养成分,老少皆宜,且其加工工艺简单,贮藏和运输方便,易于工业化生产。

参考文献

[1]康健,顾晶晶,王继国,等.沙棘果油的酶法提取及其脂肪酸的测定[J].食品科学,2011,32(2):260-262.
 [2] Xu Y-J, Kaur M, Dhillon R S, et al. Health benefits of sea buckthorn for the prevention of cardiovascular diseases[J]. Journal of Functional Foods, 2011, 3(1): 2-12.
 [3] 盛文军,毕阳,冯丽丹,等.沙棘渣制备微晶纤维素的酶解条件优化[J].食品科学,2017,38(20):154-160.
 [4] 张庆钢,赵晶,邵晶,等.沙棘果真空冷冻干燥工艺的研究[J].食品科技,2009,34(1):39-41.
 [5] 冯彦君. 麦苗酵素粉及其代餐粉的加工与抗氧化功能研究[D]. 无锡:江南大学,2017:5-6.
 [6] 蒋勇,邹勇,周露,等.豆渣微粉的性能及其复配代餐粉对小鼠肠道微生物影响的体外评价[J].食品科学,2015,36(15):199-205.
 [7] 张丽颖. 杂粮代餐粉冲调性质的研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2017:57-64.
 [8] 许牡丹,杨雯,杨艳艳. 枣粉抗结块实验研究[J].食品研究与开发,2011,32(12):78-81.
 [9] 郑喆,李柳,赵笑,等.枯草芽孢杆菌凝乳酶发酵生产条件及其酶学性质的研究[J].食品科技,2018,43(2):1-8.
 [10] 赵红倩,宋凤霞,江祥师,等. Plackett-Burman 和 Box-Behnken 试验优化苦荞蛋白酶解制备抗菌肽的工艺[J].食品科学,2017,38(16):158-164.
 [11] GB/T 23781-2009 黑芝麻糊[S].北京:中国标准出版社,2009:1-2.
 [12] 陈俊芳. 安徽板栗淀粉的理化性质及其糊化特性的研究[D].合肥:安徽农业大学,2010:12-13.
 [13] GB 5009.3-2016 食品中水分的测定[S].北京:中国标准出版社,2016:1-2.
 [14] GB 5009.5-2016 食品中蛋白质的测定[S].北京:中国标准出版社,2016:1-2.
 [15] GB 5009.6-2016 食品中脂肪的测定[S].北京:中国标准出版社,2016:1-2.
 [16] GB 5009.86-2016 食品中抗坏血酸的测定[S].北京:中

国标准出版社,2016:7-8.
 [17] DB13/T385-1998 食品中总黄酮(芦丁)的测定[S].石家庄:河北人民出版社,1998:1-2.
 [18] 史雯.沙棘黄酮提取工艺及其应用研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2015:14-15.
 [19] Han K-H, Kitano-Okada t, Seo J-M, et al. Characterisation of anthocyanins and proanthocyanidins of adzuki bean extracts and their antioxidant activity[J]. Journal of Functional Foods, 2015(14):692-701.
 [20] 白洁,刘丽莎,李玉美,等.红小豆蒸煮过程中的糊化特性及微观结构[J].食品科学,2018,39(7):41-46.
 [21] 刘晓娟,龚丽,毛新,等.高温短时气流膨化薏米工艺优化[J].农业工程学报,2012,28(15):258-263.
 [22] 张怡一,徐茜,陈琳,等.薏米中多酚化合物的分离纯化及抗氧化活性分析[J].食品科学,2017,38(13):26-33.
 [23] 戴达勇,杨英桂,贺万鑫.离子色谱法同时测定沙棘果粉中7种有机酸含量[J].理化检验-化学分册,2015,(3):304-306.
 [24] 王德骥.关于甜菊糖苷的甜度、甜味和苦涩后味的成因机理[J].中国食品添加剂,2007,(3):46-53.
 [25] 刘建军,赵祥颖,田延军,等.低热值甜味剂赤藓糖醇的研究现状及应用[J].中国酿造,2006(12):1-3,16.
 [26] 陈兴都,陈庆安,翟丹云,等.菊粉果聚糖的保健功能及应用价值[J].中国酿造,2018,37(1):21-24.
 [27] 孟凡冰,王小燕,范定涛,等.脱敏魔芋粉制备集成技术初探及其对魔芋粉理化性质的影响[J].食品科学,2015,36(2):63-68.
 [28] 赵刚,顾佳丽,励建荣. Plackett-Burman 设计及响应面法优化芹菜中总黄酮的超声提取工艺[J].中国食品学报,2017,17(8):147-155.
 [29] 邹晓霜,李佳妮,姜楠,等.响应面法优化豆腐真空冷冻干燥工艺[J].食品科学,2017,38(18):200-207.
 [30] 付一帆,甘淑珍,赵思明.几种淀粉的糊化特性及力学稳定性[J].农业工程学报,2008(10):255-257.
 [31] 宋倩,王敏,邓利玲,等.魔芋不可逆凝胶的流变学性质[J].食品科学,2015,36(11):86-90.
 [32] 于文滔,陈芳芳,刘少伟,等.赤豆固体饮料挤压工艺及流变性质研究[J].食品工业科技,2014,35(10):308-311,323.

(上接第 162 页)

[25] 曹君,李红艳,邓泽元.植物油氧化稳定性的研究[J].食品工业科技,2013,34(7):378-386.
 [26] 沈建福,肖仁显,陈中海,等.冷榨山核桃油的理化性质及氧化稳定性研究[J].中国粮油学报,2012,27(4):65-73.
 [27] 张丽.核桃油脂提取及其稳定性的研究[D].石河子:石河子大学,2010.
 [28] 刘兆洁,李晓飞,李小康,等.不同贮藏条件对核桃油氧化稳定性的影响[J].贵州农业科学,2013,41(9):140-142
 [29] 易志.亚麻籽油贮藏稳定性研究[D].广东:华南农业大学,2016.

[30] 中国国家标准化管理委员会.GB/T 5009.37-2003 食用植物油卫生标准的分析方法[S].北京:中国标准出版社,2003.
 [31] 中国国家标准化管理委员会.GB/T 5538-2005 动植物油脂过氧化值测定[S].北京:中国标准出版社,2005.
 [32] Malgorzata Kowalska, Anna Zbikowska, Katarzyna Marciniak-Lukasiak, et al. Stability and the distribution of droplets in Walnut oil water-based emulsions formed at different pH[J]. Journal of Dispersion Science and Technology, 2015, 36(5):740-746.