

方竹笋营养配方粉优化和理化分析

朱新燕,陆永国,谢俊杰*,李栋林,黄嘉成,雷清贵,周建桥

(广东省东莞市东阳光药物研发有限公司,广东东莞 523850)

摘要:本文以方竹笋作为主要原料,在单因素和正交实验的基础上确定了主配料和辅料的添加量,研究方竹笋营养配方粉的物理特性和营养成分含量,采用 ICP-MS 法测定其矿物元素含量,开发具有良好口感、营养均衡和有一定保健作用的方竹笋营养配方粉产品。结果表明:方竹笋营养配方粉中各组分最优的添加量为:方竹笋 16 g,杜仲雄花 8 g,山药 12 g,菊芋粉 12 g,燕麦片 8 g,白砂糖 8 g,木糖醇 8 g,麦芽糊精 8 g。在 100 目时,配方粉的堆积密度最小,其持水力、溶胀性和持油力达到最大。在水温为 80 ℃ 和 90 ℃ 时配方粉的湿润性和分散性差异不显著($p < 0.05$),80 ℃ 可作为冲调时的水温。对比其与配料的营养成分含量和方竹笋粉的矿物元素含量,表明该配方具有较好的均衡营养和补充矿物元素含量不足的作用。

关键词:方竹笋,营养配方粉,配方筛选,理化分析

Formula optimization and physicochemical analysis of nutritious formula powder of bamboo shoots of *Chimonobambusa quadrangularis*

ZHU Xin-yan, LU Yong-guo, XIE Jun-jie*, LI Dong-lin, HUANG Jia-cheng, LEI Qing-gui, ZHOU Jian-qiao

(HEC Pharm Co., Ltd, Dongguan 523850, China)

Abstract: The dosages among bamboo shoots of *Chimonobambusa quadrangularis* as the main raw material, ingredients, auxiliary materials were optimized based on single factor and orthogonal experimental method. The physical properties, the mineral elements contents by ICP-MS and the nutrient contents of nutritious formula powder were determined in order to develop a nutritious formula powder of bamboo shoots product with good taste, nutrition balance and a certain health function. The results showed that the optimal formula was determined as follows: bamboo shoots 16 g, *Eucommia ulmoides* staminate flower 8 g, Jerusalem artichoke 12 g, Chinese yam 12 g, Oat flake 8 g, white granulated sugar 8 g, xylitol 8 g, and malt dextrin 8 g. The results of the physical properties indicated that as all the materials were grinded to 100 mesh number, the bulk density was not only the minimum, the water holding capacity and swelling capacity were but also the highest. Its wetting ability and dispersibility had no significant difference ($p < 0.05$) when the water temperature respectively were at 80 ℃ and 90 ℃, so 80 ℃ was the optimal water temperature of mixing effect. Comparison of nutrient content between the nutritious formula powder and ingredients, as well as the mineral element content between the powder and single bamboo shoots, it was showed that there must had a good effect on balanced nutrition and supplementing mineral elements.

Key words: bamboo shoots of *Chimonobambusa quadrangularis*; nutritious formula powder; screening of formula; physicochemical analysis

中图分类号: TS218

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2018)01-0208-07

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2018.01.038

贵州省桐梓县盛产的方竹笋(*Bamboo shoots of Chimonobambusa quadrangularis*),为禾本科竹亚科寒竹属植物,形态圆润,肉厚鲜美,加之在秋后出笋,季节性市场优势明显^[1]。其营养成分丰富,含有蛋白质、脂肪、粗纤维和微量元素及多种氨基酸,是一种高蛋白、低脂肪的绿色食品^[2],其富含的粗纤维,能促进胃肠蠕动,利于消化和排泄,是健身减肥的主要成分^[3];方竹笋含有的黄酮和多糖,具有清除自由基、保肝、降血糖、抗疲劳及调节免疫力等生物学功效^[4]。除了方竹笋营养丰富之外,杜仲雄花是一种新资源

食品,其含有环烯醚萜类、苯丙素类、黄酮类等活性物质,其提取物可以作为天然的抗氧化剂^[5-6]。山药中有多糖、多巴胺、山药碱、尿囊素、皂甙等活性成分,有降血糖、抗衰老、降血脂的作用^[7]。菊芋中的菊糖有增殖人体肠道内双歧杆菌的作用,恢复胃肠道功能,并能促进钙、铁的吸收^[8]。燕麦中含有的 β -葡聚糖能降低胆固醇,预防心血管疾病^[9]。

目前在国内外市场中大部分的竹笋产品还是使用传统的腌、煮、煎竹笋加工方法制成^[10],在加工的过程中易导致营养流失并且降低了产品的附加值,

收稿日期:2017-06-20

作者简介:朱新燕(1982-)男,硕士研究生,助理研究员,研究方向:中药材资源开发,E-mail:zhuxinyan@hec.cn。

*通讯作者:谢俊杰(1967-)男,博士,高级研究员,研究方向:中药材资源开发,E-mail:xiejunjie@hec.cn。

表1 感官评价标准
Table 1 The standards of sensory evaluation

外观(30分)	香(12分)	苦(12分)	酸(12分)	甜(12分)	涩(12分)	其他(10分)
色泽均匀、冲调细腻 20~30	香味适合 9~12	无苦味 9~12	酸味适合 9~12	甜味适合 9~12	无涩味 9~12	味道适合 8~10
色泽较均匀、冲调较细腻 10~19	香味较淡 5~8	苦味较淡 5~8	酸味较淡或无 5~8	甜味较淡 5~8	涩味淡 5~8	难吃的味道较淡 4~7
色泽不均匀、冲调不细腻 0~9	无香味 0~4	苦味重 0~4	酸味过重 0~4	甜味较重或无 0~4	涩味重 0~4	难吃的味道重 0~3

方竹笋季节性较强,保鲜难、易变质,造成了成本上升和原料浪费,这束缚了方竹笋产品的市场空间。经过工艺处理的方竹笋粉解决了上述问题。但是单纯的食用方竹笋粉存在口感差和营养单一的问题,所以预实验将方竹笋粉与十几种药食两用中药材和新资源食品进行调配,通过工艺优化,最终确定了将方竹笋与杜仲雄花、山药、菊芋、燕麦、白砂糖、麦芽糊精、木糖醇进行复配加工。这不仅简化了工艺路线,提高了方竹笋的利用效率,而且弥补了方竹笋与配料之间的色泽和味差,制成的配方粉香甜可口,增强了营养功效的协同作用。

1 材料与方

1.1 材料与仪器

方竹笋 采自贵州桐梓;杜仲雄花 神农金康旗舰店;山药片 福东海旗舰店;燕麦片 吉百氏旗舰店;菊芋片 沂蒙山鲜达专卖店;白砂糖 上海农丰实业有限公司;木糖醇 湖南世纪华星生物工程有限公司;麦芽糊精 湖南世纪华星生物工程有限公司;所有原料和辅料均为食品级。

中药粉碎机及网筛(50、60、80、100目) 瑞安永利制药机械有限公司;ME2002E/0 电子天平、水分测定仪 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;电热鼓风干燥箱 天津市泰斯特仪器有限公司;RW20 机械搅拌器、加热式磁力搅拌器 德国 IKA; Vortex-genie2 漩涡混合器 Scientific Industries; HH-S3 数显恒温水浴锅 江苏金坛市天宏实验仪器厂; TG16-WS 高速离心机 湖南湘仪离心机仪器有限公司; UV-7504 型紫外-可见分光光度计 上海欣茂仪器有限公司;电感耦合等离子体质谱(ICP-MS) 美国安捷伦;超低温粉碎机 河北本辰科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 工艺流程 新鲜方竹笋→剥皮切片→杀青→与配料(杜仲雄花、山药、菊芋、燕麦片)分别烘干→主配料按比例混合后粉碎→超微粉碎→过60目以上筛→与按比例配好的预粉碎辅料混匀→过60目以上筛方竹笋营养配方粉

1.2.2 感官评价 感官评定小组是随机抽取实验室15名有过感官评定经验的人员组成,身体健康状况良好,感官评定实验室清洁明亮、无噪音、无异味等外界环境因素干扰。通过用眼看、鼻嗅和口尝方式,对食品的色、香、味和外观形态进行综合性的鉴别和评价。

感官评定按百分制进行,产品滋味是产品的主要考察指标,定为70分,配方粉的外观定为30分。

评定内容见表1。

1.2.3 方竹笋营养配方粉配方优化

1.2.3.1 主配料的单因素实验 以方竹笋为主原料,杜仲雄花、山药、菊芋粉和燕麦片为配料,依据主配料占据的比重,设置配方中的各因素的用量梯度。

设定杜仲雄花用量6g,山药12g,菊芋粉10g,燕麦片10g,方竹笋梯度用量8、16、24、32、40、48g进行筛选。

设定方竹笋用量24g,山药12g,菊芋粉10g,燕麦片10g,杜仲雄花用量2、4、6、8、10、12g进行筛选。

设定方竹笋用量24g,杜仲雄花6g,菊芋粉10g,燕麦片10g,山药用量4、8、12、16、20、24g进行筛选。

设定方竹笋用量24g,杜仲雄花6g,山药16g,燕麦片10g,菊芋粉用量6、8、10、12、14、16g进行筛选。

设定方竹笋用量24g,杜仲雄花6g,山药16g,菊芋粉10g,燕麦片6、8、10、12、14、16g进行分别配比。

以上采用控制单一变量的方法,固定其他4种组方的最适添加量,主原料和配料按用量进行配比,混合后粉碎,再超微粉碎,过60目筛,按照配方粉与热水的比例为1:3进行冲调。每组独立配比后进行感官评价,得出各组分的适宜用量。

1.2.3.2 主配料的正交实验 根据主配料的单因素实验结果优化出的各组分的4个梯度用量,设计 $L_{16}(4^5)$ 正交实验,按照过筛后的配方粉与热水的比例为1:3进行冲调,以感官评价为指标,优化出最佳的添加量组合配方。

表2 原配料添加量的 $L_{16}(4^5)$ 正交实验

Table 2 Factors and levels in $L_{16}(4^5)$ orthogonal array design

因素	水平			
	1	2	3	4
A 方竹笋(g)	8	16	24	32
B 杜仲雄花(g)	4	6	8	10
C 山药(g)	4	8	12	16
D 菊芋粉(g)	8	10	12	14
E 燕麦片(g)	6	8	10	12

1.2.3.3 辅料的单因素实验 为了保证营养配方粉的甘甜可口,易冲调,加入白砂糖、木糖醇和麦芽糊精来进行调配。

取一份最优的主配料配方粉,添加白砂糖用量 4、8、12、16、20 g、木糖醇 8 g 和麦芽糊精 12 g 进行筛选。

固定白砂糖用量 8 g,麦芽糊精 12 g,木糖醇梯度用量 4、6、8、10、12 g 进行筛选。

固定白砂糖用量 8 g,木糖醇 6 g,梯度添加麦芽糊精 4、8、12、16、20 g。

辅料按用量配比混合后粉碎,然后其与最优的主配料配方粉按照质量比 1:1 进行混匀后过 60 目筛,其它同方法 1.2.3.1。

1.2.3.4 辅料的正交实验 根据辅料的单因素实验结果优选出各辅料 3 个梯度用量,设计 $L_9(3^4)$ 正交实验,主配料和辅料按质量比 1:1 进行混匀,按照混匀后的配方粉与热水的比例为 1:3 进行冲调,以感官评价为指标,优化出最好的组合配方。

表 3 辅料用量的 $L_9(3^4)$ 正交实验

Table 3 Factors and levels in $L_9(3^4)$ orthogonal array design

因素	水平		
	1	2	3
F 白砂糖(g)	8	12	16
G 木糖醇(g)	6	8	10
H 麦芽糊精(g)	4	8	12

1.2.5 配方粉的物理性质测定

1.2.5.1 堆积密度的测定 在 10 mL 刻度离心管中,其体积记为 v ,加入一定量的方竹笋营养配方粉,轻敲离心管底部,直到样品与刻度线水平,其质量记为 $m^{[11]}$ 。堆积密度计算公式:

$$\text{堆积密度}(\text{g}/\text{cm}^3) = \frac{m}{v} \quad \text{式(1)}$$

式中: m 为配方粉的质量/g; v 为刻度线处的体积/ cm^3 。

1.2.5.2 持水力的测定 取 0.5 g 配方粉,其质量记为 m_1 ,置于 10 mL 离心管中,记下离心管和配方粉质量为 m_2 ,加入 5 mL 纯净水混匀后浸泡 24 h,在 10000 r/min 条件下离心 10 min,用移液枪吸出上清液,并用滤纸吸除管内的多余水分,称管重记为 $m_3^{[12]}$ 。持水力的计算公式:

$$\text{持水力}(\text{g}/\text{g}) = (m_3 - m_2) / m_1$$

1.2.5.3 溶胀性的测定 称取方竹笋营养配方粉 1.0 g,记为 m ,置于 10 mL 量筒中,记下体积 v_1 ,加 5.0 mL 纯净水,振荡均匀后于 37 °C 下静置 24 h,记下体积 $v_2^{[13]}$ 。溶胀性的计算公式:

$$\text{溶胀性}(\text{mL}/\text{g}) = (v_2 - v_1) / m$$

1.2.5.4 分散性的测定 烧杯内分别注入 60、70、80、90 °C 蒸馏水 100 mL,取配方粉 5 g 放入烧杯中,放在磁力搅拌器上搅拌,转速为 60 r/min,同时开动秒表计时,搅拌直至配方粉块全部分散停止秒表,计算不同温度下的分散时间 t 。

1.2.5.5 持油力的测定 取 0.5 g 方竹笋营养配方粉,记为 w_1 ,置于 10 mL 的离心管中其质量记为 w_2 ,加入 3 mL 的色拉食用油,浸泡 24 h 后,在 10000 r/min 条件下离心 5 min,用移液枪吸出上清油液,称重记为 w_3 。持油力的计算公式:

$$\text{持油力}(\text{g}/\text{g}) = \frac{m_3 - m_2}{m_1}$$

1.2.5.6 湿润性的测定 湿润性的测定采用莫尔检测法检测配方粉的湿润性。烧杯内分别注入 60、70、80、90 °C 蒸馏水 100 mL,在烧杯边缘放置一漏斗,漏斗内放 10 g 配方粉,底部开口处用研棒堵上,提起研棒,开动秒表,配方粉全部湿润时停止秒表,记下时间 $t^{[14]}$ 。

1.2.6 配方粉的营养成分测定方法 蛋白质:参照 GB/T 14489.2-2008《粮油检验 植物油料粗蛋白质的测定》的方法^[15];脂肪:参照 GB/T 5009.6-2003《食品中脂肪的测定》的索式抽提法进行检测^[16];总糖:按 GB/T 15672-2009《食用菌中总糖含量的测定》的方法进行检测^[17];多糖:按 SN/T 4260-2015《出口植物源食品中粗多糖的测定 苯酚-硫酸法》进行检测,样品不包含蔗糖、木糖醇和麦芽糊精的含量^[18];膳食纤维:按 GB 5009.88-2014《食品中膳食纤维的测定》方法测定总膳食纤维含量^[19];总黄酮:配制芦丁标准液,制得标准回归曲线方程: $y = 12.9987x - 0.0158$, $R^2 = 0.9993$,采用乙醇热回流提取法^[20],进行总黄酮的提取,在波长 510 nm 处测定吸光值,根据回归方程计算总黄酮含量;矿物元素:电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法测定^[21]。

1.3 数据统计分析

数据采用 SPSS Software Ver.22.0 进行正交实验设计和方差分析(Duncan's 新复极差法, $p < 0.05$) 和相关性分析(Pearson 法, $p < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 主配料用量的单因素实验

由图 1A 可知,当方竹笋用量为 24 g 时,感官评分最高,低于 24 g 时,方竹笋感官评价随着用量的增加而变高,因为方竹笋固有的香味遮掩了涩味;在 32 g 后,下降加快,因为方竹笋涩味增加且遮挡了配料的香味和色泽。

由图 1B 可知,杜仲雄花用量的逐渐增加感官评分越高,在 6 g 时达到最高,在调配好的配方粉的近黑芝麻色和口感比较适宜;用量为 12 g 时,评分下降明显,色泽变深,涩味上升是导致评分降低的原因。

由图 1C 可知,山药添加量 16 g 时评分最高,在其之前,评分缓慢升高,之后下降明显,山药口感遮盖了其他主配料口感。

由图 1D 可知,菊芋粉的添加量小于 10 g 感官评价呈缓慢升高趋势,在大于 10 g 呈下降趋势,随着添加量的增加,配方粉在冲调时的黏度变大。

由图 1E 可知,燕麦片用量在 10 g 时最好,之后随着添加量的升高,评分降低,燕麦片遮盖了其他主配料口感。

2.2 主配料用量的正交实验结果

通过单因素实验确定了各主配料的最适用量,根据评分高低,每个物料优选出 4 个用量作为正交实验水平。

如表 4 所示,根据 R 值,影响感官评价的主配料因素的大小顺序为方竹笋 > 杜仲雄花 > 燕麦片 > 菊

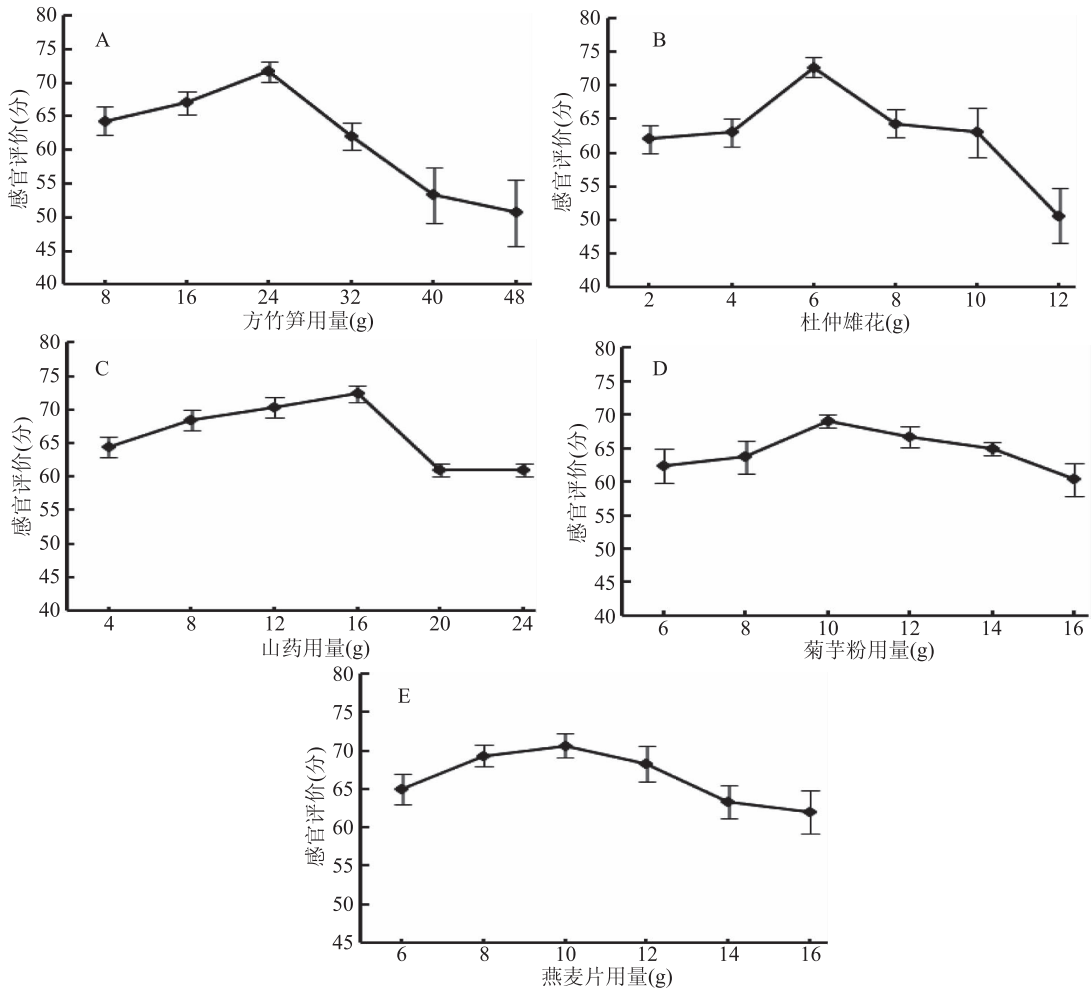


图1 主配料的单因素实验

Fig.1 Single factor experiments of the raw material and ingredients on sensory evaluation

表4 $L_{16}(4^5)$ 正交实验结果和分析

Table 4 Results of $L_{16}(4^5)$ orthogonal experiments and analysis

实验号	A	B	C	D	E	评分	实验号	A	B	C	D	E	评分
1	2	2	2	2	1	70.00	12	2	1	4	3	2	80.00
2	2	4	3	1	3	62.00	13	4	1	3	2	4	55.00
3	1	2	3	4	2	75.00	14	3	2	4	1	4	60.00
4	3	3	3	3	1	72.00	15	4	4	4	4	1	40.00
5	1	1	1	1	1	50.00	16	4	2	1	3	3	56.00
6	1	4	2	3	4	64.00	k_1	65.50	63.50	65.00	57.75	58.00	
7	3	1	2	4	3	69.00	k_2	74.50	65.25	65.50	66.50	70.50	
8	1	3	4	2	3	73.00	k_3	67.25	72.50	66.00	68.00	65.00	
9	4	3	2	1	2	59.00	k_4	52.50	58.50	63.25	67.50	66.25	
10	2	3	1	4	4	86.00	R	22.00	14.00	2.75	10.25	12.50	
11	3	4	1	2	2	68.00							

芋 > 山药; 得出最好的组合是 $A_2B_3C_3D_3E_2$ 。然而直接从评分来看, 最好的组合是 $A_2B_3C_1D_4E_4$, 所以对两个组合进行验证实验, $A_2B_3C_3D_3E_2$ 得分 89 分, $A_2B_3C_1D_4E_4$ 评为 84 分。方竹笋和杜仲雄花对口感和色泽影响很大, 方竹笋有一定的涩味, 与竹笋中含有的可溶性单宁含量有关系^[22], 菊芋粉和燕麦片含量增加, 粉的黏度增大, 不易粉碎, 有沙粒感。故最优的配方为: 方竹笋 16 g, 杜仲雄花 8 g, 山药 12 g, 菊

芋粉 12 g, 燕麦片 8 g。

2.3 辅料用量的单因素实验结果

筛选出主配料的最佳用量后, 对配方粉的辅料用量进行单因素筛选。从图 2A 可知, 白砂糖用量在 8 g 时, 配方粉的感官评分最高, 随着用量增加, 口感太甜, 分值降低。从图 2B 可以看出, 木糖醇的用量在 6 至 8 g 时分值变化不大, 因为木糖醇甜度较低, 对整个甜度影响较小, 但是清凉感觉较为突出, 用量

过大时,遮盖了主配料的味道。从图 2C 得出,麦芽糊精用量 12 g 时,评分最高,之后,用量提高分值迅速下降,表明过量会导致调和配方粉时色泽变淡。

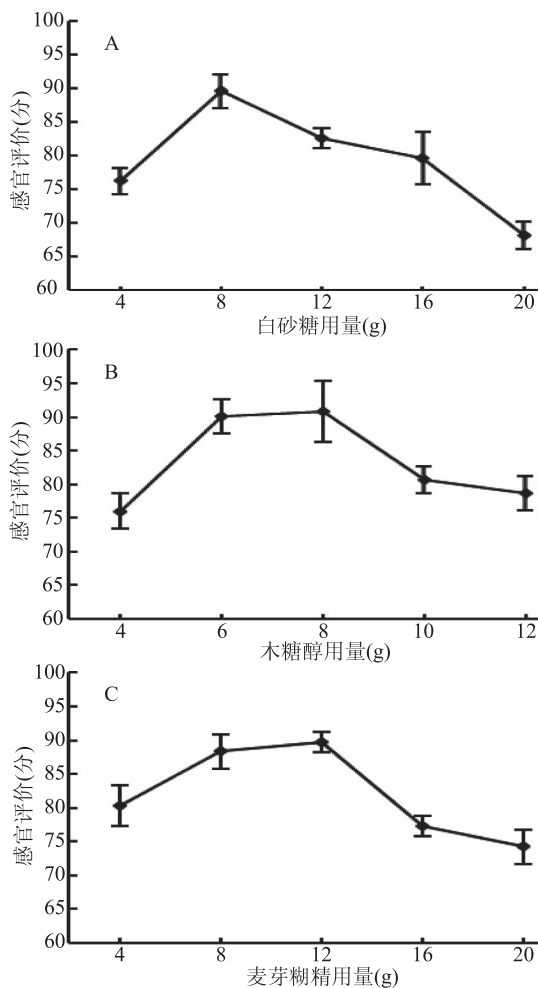


图 2 辅料的单因素实验

Fig.2 Single factor experiments of auxiliary materials on sensory evaluation

2.4 辅料用量的正交实验结果

按照最佳的主配料组合与辅料组合配比按照 1:1 进行配比筛选,每种辅料优化出 3 个正交实验水平,进行感官评价。

从表 5 可以得出,根据极差值,影响感官评价得分高低的因素按顺序排列为白砂糖 > 麦芽糊精 > 木糖醇,最好的组合是 $F_1G_2H_3$ 。然而直接从评分来看,最好的组合是 $F_1G_2H_3$,所以对两个组合进行验证实验,得出 $F_1G_2H_2$ 和 $F_1G_2H_3$ 分别为 93 分和 91 分,所以最佳的配比为白砂糖 8 g,木糖醇 8 g,麦芽糊精

8 g。通过添加木糖醇、白砂糖削弱了产品的涩味,使产品的口感更为适宜^[23]。麦芽糊精增加了配方粉的流动性,用量增加但口感和色泽变化微小。综上所述,得出方竹笋营养配方粉最优的配方组合是:方竹笋 16 g,杜仲雄花 8 g,山药 12 g,菊芋粉 12 g,燕麦片 8 g,白砂糖 8 g,木糖醇 8 g,麦芽糊精 8 g。

表 5 辅料用量的 $L_9(3^4)$ 正交实验设计和结果

Table 5 Results of $L_9(3^4)$ orthogonal array design experiments and analysis for sensory evaluation

实验号	F 白砂糖	G 木糖醇	H 麦芽糊精	评分
1	3	3	1	67
2	1	2	3	90
3	3	1	3	75
4	1	3	2	88
5	2	3	3	80
6	3	2	2	77
7	2	2	1	80
8	2	1	2	83
9	1	1	1	72
k_1	83.33	76.67	73.00	
k_2	81.00	82.33	82.67	
k_3	73.00	78.33	81.67	
R	10.33	5.67	9.67	

2.5 方竹笋营养配方粉的物理特性

2.5.1 在不同目数下配方粉的堆积密度、持水力、溶胀性和持油力的测定 由表 6 可知,方竹笋营养配方粉的堆积密度、持水力、溶胀性和持油力在 $p < 0.05$ 的水平上差异显著。100 目时堆积密度最低,60 目时最高,目数和堆积密度不成反比关系。持水力和溶胀性随着目数的增大而增大,说明粒径变小,表面积增大,吸水能力变强。在目数小于 100 目,其持水力和溶胀性随着目数的增大而增大;这和研究结论粒径大于 150 μm 的竹笋膳食纤维粉末,其持水力、膨胀力随着粒径的减小而增大^[24] 相一致。100 目持油力最大为 1.0667 g/g;据研究,方竹笋残渣的持水力、溶胀性和持油力是本次测定数值的 5~7 倍^[25],说明方竹笋粉在改善配方粉的物理特性上起到重要作用。持水力高,有利于防止便秘;溶胀性好,能引起饱腹感,从而预防肥胖;持油力高,吸附脂肪的能力增强^[26]。

2.5.2 在不同温度下配方粉的分散性和湿润性的测定 从图 3 看出,方竹笋营养配方粉的分散性和湿润性有大致相同的曲线走势,随着温度的升高,湿润

表 6 方竹笋营养配方粉物理特性测定结果

Table 6 Determination results of physical properties of nutrient formula powder

目数	堆积密度 (g/cm^3)	持水力 (g/g)	溶胀性 (mL/g)	持油力 (g/g)
50	0.4400 ± 0.0141^b	0.8600 ± 0.0712^b	0.2000 ± 0.0000^{bc}	0.8667 ± 0.0249^b
60	0.5000 ± 0.0000^a	0.8933 ± 0.03400^b	0.2667 ± 0.0943^b	0.8600 ± 0.0327^b
80	0.4667 ± 0.0236^{ab}	0.9133 ± 0.0094^b	0.4000 ± 0.0000^b	0.9200 ± 0.0327^b
100	0.3733 ± 0.0094^c	1.2267 ± 0.0411^a	0.9333 ± 0.0943^a	1.0667 ± 0.0499^a

注:不同字母表示差异显著($p < 0.05$),下同。

表7 方竹笋营养配方粉营养成分含量和配料的营养成分的比较

Table 7 Comparison of nutrient composition content between nutritious formula powder of bamboo shoots of *Chimonobambusa quadrangularis* and ingredients

项目	蛋白质(%)	脂肪(%)	总糖(%)	多糖(%)	黄酮(%)	膳食纤维(%)
方竹笋营养配方粉	12.45 ± 0.03	1.64 ± 0.03	77.00 ± 0.08	20.21 ± 0.19	1.32 ± 0.04	11.00 ± 0.07
杜仲雄花	30.88 ± 1.47	2.13 ± 0.07	18.29 ± 0.29	3.25 ± 0.17	3.27 ± 0.21	11.87 ± 0.51
山药	13.62 ± 1.32	0.63 ± 0.06	74.64 ± 1.33	1.49 ± 0.36	0.07 ± 0.01	3.13 ± 0.08
菊芋	2.12 ± 0.17	1.11 ± 0.09	17.85 ± 0.93	17.06 ± 1.03	1.49 ± 0.32	1.06 ± 0.14
燕麦片	12.62 ± 0.53	7.11 ± 0.72	0.81 ± 0.04	3.42 ± 0.15	2.98 ± 0.07	10.56 ± 1.12

表8 方竹笋营养配方粉中的矿物元素含量

Table 8 Comparison of mineral element content between nutrient formula powder and bamboo shoots of *Chimonobambusa quadrangularis*

项目	Ca(mg/g)	Fe(mg/g)	Mn(mg/g)	Zn(mg/g)	K(mg/g)	Cu(mg/g)	Na(mg/g)
方竹笋营养配方粉	0.992 ± 0.017	0.065 ± 0.004	0.035 ± 0.000	0.020 ± 0.001	18.526 ± 0.104	0.006 ± 0.000	0.116 ± 0.005
方竹笋粉	0.806 ± 0.013	0.051 ± 0.005	0.024 ± 0.001	0.017 ± 0.000	35.036 ± 0.191	0.005 ± 0.000	0.456 ± 0.002

性和分散性逐渐降低;因水温加快了水分子在颗粒内的扩散过程。在 $p < 0.05$ 时,80 和 90 °C 差异不显著,时间差异较小,所以 80 °C 的热水达到较好的冲调效果。使用沸水促使糊化淀粉的氢键迅速作用,不利于水分的渗透和配方粉的溶解^[27]。

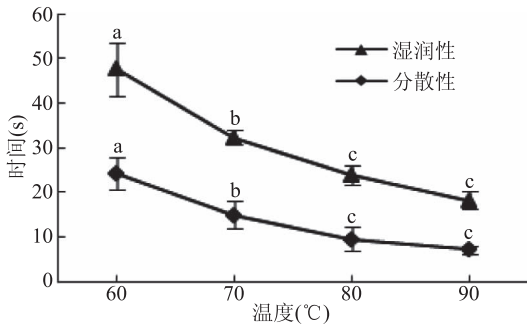


图3 在不同温度下配方粉的湿润性和分散性
Fig.3 Wetting ability and dispersibility of nutrient formula powder under different temperature

2.6 方竹笋营养配方粉的营养成分测定

从表7看出,虽然杜仲雄花在营养方面较好,但是每天的限量标准 ≤ 6 克/天。方竹笋营养配方粉中总糖和多糖的含量最高,分别是 77.00%、20.21%,可有效减少糖的摄入量,蛋白质、脂肪、黄酮和膳食纤维的含量居中,恰能起到均衡营养的作用。

从表8中得出,方竹笋营养配方粉和方竹笋粉中含量最高的元素是K,最低的是Cu。除K和Na含量低于单一方竹笋粉的含量外,其他5种元素均高于方竹笋粉的含量,这说明该配方有利于补充单一原料的矿物元素含量不足的问题。

3 结论

本文通过单因素和 $L_{16}(4^3)$ 和 $L_9(3^4)$ 正交实验,筛选出最佳的组分含量是:方竹笋 16 g,杜仲雄花 8 g,山药 12 g,菊芋粉 12 g,燕麦片 8 g,白砂糖 8 g,木糖醇 8 g,麦芽糊精 8 g。在对方竹笋营养配方粉不同筛目下的物理特性进行测定,得到在 100 目下,其持水力、溶胀性和持油力最好,堆积密度最小。在比较不同温度下分散性和湿润性的结果发现,在 80 °C

时和 90 °C 时差异不显著,水温越高时冲调越不方便,所以 80 °C 作为冲调的最佳温度。通过对配方粉的营养成分测定,确定了该配方可以有效补充单一配方营养成分含量不均衡和矿物元素含量不足的问题。方竹笋营养配方粉的开发解决了鲜笋保鲜难、物料不可持续利用、营养单一、口感差等问题。但是,杜仲雄花是一种较为珍贵的药用花粉资源,在配方粉中的添加量较高,导致该产品的成本偏高,这是在今后的配方改进中需要解决的问题。

参考文献

- [1]李睿,吴良如,周昌平.方竹笋矿物质营养元素的研究[J].竹子研究汇刊,2007,26(4):37-39.
- [2]王莉,付甫永.金佛山方竹笋的生物学特性及采收加工技术[J].贮藏与加工,2008(11):64-66.
- [3]王中伦,李明,梁蔚.重庆市南川方竹笋获国家地理标志产品保护[J].世界竹藤通讯,2009,7(1):40-41.
- [4]刘泳廷,阮海星,刘佳.贵州桐梓方竹笋提取液抗突变作用的实验[J].中国卫生工程学,2013,12(5):365-368.
- [5]Zhang Q, Su Y Q, Yang F X, et al. Antioxidative activity of water extracts from leaf, male flower, raw cortex and fruit of *Eucommia ulmoides* Oliv [J]. Forest Products Journal, 2007, 57(12):74-78.
- [6]丁艳霞,郭洋静,任莹璐,等.杜仲雄花中黄酮类化学成分及其抗氧化活性研究[J].中草药,2014,45(3):323-327.
- [7]王震宙,黄绍华.山药中的功能保健成分及其在食品加工中的应用[J].食品工业,2004(4):51-52.
- [8]鲁政,张静,高兆兰,等.牛蒡菊糖和菊芋菊糖对酒精诱导大鼠慢性氧化损伤的防治作用[J].食品科学,2010,31(5):270-273.
- [9]闫金婷,郑建梅,刘变芳,等.国内市场纯燕麦片及复合麦片营养和微生物指标分析[J].中国粮油学报,2013,28(3):23-28.
- [10]Sonar N R, Vijayendra S V N, Prakash M, et al. Nutritional and functional profile of traditional fermented bamboo shoot based products from Arunachal Pradesh and Manipur states of India [J].

(下转第 220 页)

- line two dimensional high - speed counter - current chromatography[J].Food Chemistry,2015,186:153-159.

[6] Li H,Zhang Y,Liu Q,et al.Preparative separation of phenolic compounds from *Chimonanthus praecox* flowers by high - speed counter - current chromatography using a stepwise elution mode [J].Molecules,2016,21(8):1016.

[7] Jin C,Wei X,Yang S,et al.Microwave - assisted Extraction and Antioxidant Activity of Flavonoids from *Sedum aizoon* Leaves [J].Food Science and Technology Research,2017,23(1):111-118.

[8] 李紫薇,张艺,欧阳艳,等.薰衣草叶子化学成分分析与抗氧化活性[J].广州化工,2016,44(10):64-66.

[9] 李珍.苹果皮渣黄酮提取、纯化及抗氧化活性研究[D].北京:中国农业大学,2014:31-34.

[10] Annappandian V M,Rajagopal S S.Phytochemical Evaluation and *In vitro* Antioxidant Activity of Various Solvent Extracts of *Leucas aspera* (Willd.) Link Leaves [J].Free Radicals & Antioxidants,2017,7(2).

[11] Xie J H,Dong C,Nie S P,et al.Extraction, chemical composition and antioxidant activity of flavonoids from *Cyclocarya paliurus* (Batal.) Iljinskaja leaves [J].Food Chemistry,2015,186:97-105.

[12] Wu P, Ma G, Li N, et al. Investigation of *in vitro* and *in vivo* antioxidant activities of flavonoids rich extract from the berries of *Rhodomyrtus tomentosa* (Ait.) Hassk [J].Food Chemistry,2015,173:194-202.

(上接第213页)

International Food Research Journal,2015,22(22):788-797.

[11] Chau C F,Wang Y T,Wen Y L.Different micronization methods significantly improve the functionality of carrot insoluble fibre [J].Food Chemistry,2007(100):1402-1408.

[12] 刘红开,李放,张亚宏,等.不同品种蚕豆种皮中膳食纤维的提取工艺优化及其理化特性[J].食品科学,2016,37(16):22-28.

[13] 邵佩兰,李雯霞,徐明.不同提取方法对麦麸膳食纤维特性的影响[J].食品科技,2003(11):99-101.

[14] Sangnark A, Noomhorm A. Effect of particle sizes on functional properties of dietary fiber prepared from sugarcane bagasse [J].Food Chemistry,2003,80(2):221-229.

[15] 中国国家标准化管理委员会.GB/T 14489.2-2008 粮油检验 植物油料粗蛋白质的测定[S].北京:中国标准出版,2009.

[16] 中国国家标准化管理委员会.GB/T 5009.6-2003 食品中脂肪的测定[S].北京:中国标准出版,2003.

[17] 中国国家标准化管理委员会.GB/T 15672-2009 食用菌中总糖含量的测定[S].北京:中国标准出版,2009.

[18] 中国出入境检验检疫.SN/T 4260-2015 出口植物源食品中粗多糖的测定[S].秦皇岛:中国标准出版,2016.

[13] Boonsong S,Klaypradit W,Wilaipun P.Antioxidant activities of extracts from five edible mushrooms using different extractants [J].Agriculture and Natural Resources,2016,50(2):89-97.

[14] 侯学敏,李林霞,张直峰,等.响应面法优化薄荷叶总黄酮提取工艺及抗氧化活性[J].食品科学,2013,34(6):124-128.

[15] 胡卫成,王新风,沈婷,等.响应面实验优化莲蓬壳总黄酮超声提取条件及其抗氧化活性[J].食品科学,2015,36(24):51-56.

[16] 吴现芳,赵成爱,余梅燕,等.响应面法优化八宝景天叶总黄酮的超声提取工艺[J].食品工业科技,2013,34(1):224-228.

[17] 张黎明,李瑞超,郝利民,等.响应面优化玛咖叶总黄酮提取工艺及其抗氧化活性研究[J].现代食品科技,2014,30(4):233-239.

[18] 陈彩薇,吴晖,赖富饶,等.米糠中不同存在形态酚类物质的抗氧化活性研究[J].现代食品科技,2015,31(2):42-46.

[19] 张晓茹,李星,王彬,等.红松松仁膜衣提取物体外抗氧化活性研究[J].食品工业科技,2016,6(1):26-30.

[20] 钟怡平,夏道宗,黄岚,等.莲房多酚提取工艺优化及其抗氧化活性研究[J].食品工业科技,2015,36(6):235-239.

[21] 张静.黄酮提取纯化[D].无锡:江南大学,2010:24-28.

[22] 张明.几种体外抗氧化检测方法的评价研究[D].西安:陕西师范大学,2010.

[23] 郑义,邵颖,陈安徽,等.益智仁总黄酮超声辅助提取工艺优化及其抗氧化活性[J].食品科学,2014,35(6):44-49.

[19] 中国国家标准化管理委员会.GB/T 5009.88-2014 食品中膳食纤维的测定[S].北京:中国标准出版,2014.

[20] 王文文,袁艺,袁彩红,等.毛竹笋总黄酮的提取工艺研究[J].安徽农业大学学报,2011,38(2):197-201.

[21] 金鹏飞,宋丽洁,邹定,等.ICP-MS同时分析中药材中7种微量元素的方法研究[J].中国药理学杂志,2007,42(21):1660-1664.

[22] 章志远,丁兴萃,崔逢欣,等.感官评定方法确定麻竹笋苦涩味物质成分及与口感的关系[J].食品科学,2017,38(5):167-173.

[23] 周倩,孙汉巨,王静,等.竹笋复合固体饮料的工艺研究[J].农产品加工·学刊,2012(12):75-79.

[24] 李安平,谢碧霞,钟秋平,等.不同粒度竹笋膳食纤维功能特性研究[J].食品工业科技,2008,29(3):83-85.

[25] 陈龙,彭娅,陈蓉,等.方竹笋残渣不溶性膳食纤维制备工艺研究[J].重庆工商大学学报(自然科学版),2014,31(9):77-81.

[26] 高荫瑜,晁红娟,丁红秀,等.毛竹叶特种膳食纤维制备及特性的研究[J].食品科学,2007,28(12):200-204.

[27] 丁琳,王恺,莫松成.谷物早餐粉冲调性的研究[J].粮油加工,2010,(6):83-85.