

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240918003

红薯叶超微粉营养片的研制及其品质分析

井瑞洁^{1*}, 柳润颖¹, 闵晓², 毕文慧¹

(1. 山东农业工程学院食品科学与工程学院, 济南 250100; 2. 济南大学食品科学与工程学院, 济南 250100)

摘要: **目的** 以红薯叶为主要原料, 经过粉碎并网筛得到红薯叶粉, 研制食用方便且风味、口感、营养俱佳的红薯叶粉营养片, 并对其进行品质分析。**方法** 在单因素试验的基础上, 通过正交试验优化营养片制备的工艺参数, 最后对制成的营养片产品进行感官评定和品质分析。**结果** 经粉碎过 200 目筛后的红薯叶粉最适合压片, 营养片的最佳配方为: 红薯叶粉添加量 5%、蓝莓粉添加量 10%、奶粉添加量 15%、冰糖粉与维生素 C 的比例为 2.0:1、麦芽糊精添加量 20%、硬脂酸镁添加量 2.0%。采用的是粉末直接压片工艺, 以硬脂酸镁为润滑剂, 压片过程不黏冲、效果好, 制得的红薯叶粉营养片呈淡紫色, 表面整洁有光泽, 酸甜可口且硬度适中、不易碎, 其片重差异、硬度、脆碎度等指标均符合标准要求。**结论** 营养片的研制为红薯叶类产品加工指引了新方向, 提高了附加值。

关键词: 红薯叶粉; 营养片; 配方; 工艺优化; 压片

Development and quality analysis of *Ipomoea batatas* leaves ultrafine powder nutritional tablets

JING Rui-Jie^{1*}, LIU Run-Ying¹, MIN Xiao², BI Wen-Hui¹

(1. School of Food Science and Engineering, Shandong Agriculture and Engineering University, Ji'nan 250100, China;
2. School of Food Science and Engineering, University of Jinan, Ji'nan 250100, China)

ABSTRACT: Objective To develop *Ipomoea batatas* leaf nutritional tablets that are convenient to consume and have excellent flavor, taste, and nutrition, *Ipomoea batatas* leaf were used as the main raw material, crushed and screened to obtain *Ipomoea batatas* leaf powder, and analyze its quality. **Methods** On the basis of single factor experiments, the process parameters for preparing nutritional tablets were optimized through orthogonal experiments, and finally sensory evaluation and quality analysis were conducted on the resulting nutritional tablet products. **Results** The *Ipomoea batatas* leaf powder which were superfine crushed and through a 200-mesh sieve were best for tableting, the best formula of nutrition tablets was: The *Ipomoea batatas* leaf powder was 5%, the addition amount of blueberry powder was 10% and milk powder was 15%, the adding ratio of rock sugar powder and vitamin C was 2.0:1, the addition amount of maltodextrin was 20%, the addition of stearin magnesium was 2.0%. With magnesium

基金项目: 山东省现代农业产业技术体系蔬菜创新团队贮藏加工岗位项目(SDAIT-05-14)、国家农业科技成果转化资金项目(2012GB2C600263)、2024 年度山东农业工程学院乡村振兴专项项目(sgyxczx2024-18)

Fund: Supported by the Shandong Province Modern Agricultural Industrial Technology System Vegetable Innovation Team Storage and Processing Post Project (SDAIT-05-14), the National Agricultural Scientific and Technological Achievements Transformation Fund Project (2012GB2C600263), and the 2024 Rural Revitalization Project of Shandong Agricultural Engineering College (sgyxczx2024-18)

***通信作者:** 井瑞洁, 硕士, 副教授, 主要研究方向为微生物发酵、食品加工。E-mail: sgjyrj@163.com

***Corresponding author:** JING Rui-Jie, Master, Associate Professor, Shandong Agriculture and Engineering University, No.866, Nongganyuan Road, Licheng District, Ji'nan 250100, China. E-mail: sgjyrj@163.com

stearate as lubricants, the effect was better by powder direct compression technology: Non-stick punch in the course of pressing tablet, *Ipomoea batatas* leaf nutritional tablets were light purple, surface of tablets being clean and shiny, sweet and sour taste, moderate hardness, and non-friable, and its piece weight variation, hardness, friability with all the indicators up to the standards. **Conclusion** The development of nutrition tablets has guided a new direction for the processing of the products of *Ipomoea batatas* leaf and increasing the added value.

KEY WORDS: *Ipomoea batatas* leaf powder; nutrition tablet; formula; process optimization; flaking

0 引言

红薯(*Ipomoea batatas*), 旋花科双子叶植物, 也称甘薯、番薯、地瓜, 世界上特别是撒哈拉以南的非洲、亚洲部分地区和太平洋岛屿最重要且需求量最大的粮食作物之一^[1]。中国是世界上红薯种植面积最大的国家^[2]。红薯叶是多年生草本植物, 旋花科牵牛花属, 别名地瓜叶。近年来开发了许多红薯叶食品, 如红薯叶饮料、红薯叶软罐头、速冻红薯叶、红薯叶保健茶等。红薯叶的营养与保健作用很显著, 红薯叶中所含的功能活性成分很多, 主要包括黄酮类化合物、类胡萝卜素、绿原酸、维生素 C、膳食纤维等化合物^[3-4], 研究表明这类化合物具有清热消炎、抗肿瘤及真菌病毒、增强免疫、降血糖、降血脂、降胆固醇等功效^[5], 也被称为长寿菜^[6], 其中黄酮类化合物还可以起到预防心血管疾病的作用^[7-8], 且兰丹等^[9]采用超声波-乙醇浸提法从红薯叶中提取黄酮类化合物, 其纯度和产率均较高。蓝莓属杜鹃花科, 又称笃斯、甸果, 果实呈蓝色, 表面被一层白色果粉包裹, 其果肉细腻、种子极小^[10]; 其富含多种氨基酸、糖分、维生素、矿物质、微量元素、超氧化物歧化酶以及膳食纤维等对人体健康有益的物质, 被称作浆果之王, 作为一种抗氧化作物, 被广泛应用于保健食品^[11-13]; 另外富含的花青素可以促进视网膜细胞中视紫质的再生, 从而起到保护视力的作用, 是常见果蔬中所含花青素比例最大的^[14-15]。目前在国际市场上, 常见的蓝莓制品有蓝莓饮料、蓝莓果酒、蓝莓乳制品、蓝莓休闲食品等。超微粉体是通过超微粉碎机将物料加工成微米甚至纳米级的一种粉体。与常规粉碎相比, 超微粉碎的粉碎速度快, 且其加工后的超微粉颗粒粒径更小^[16], 更容易被人体吸收利用, 也保障营养物质最大程度的保留, 提高了原料的利用率^[17-18]。一定程度上, 超微粉碎技术不仅能提升口感, 还能增强营养物质的吸收利用, 更利于发挥功能特性^[19-20]。此外, 研究表明, 使用超微粉碎加工出的产品具备很好的固香、分散和溶解性, 食品的口感也会因此得到大大提升^[21-22]。本研究以红薯叶为主要原料, 充分发挥红薯叶与蓝莓的营养功效, 在其中加入奶粉调节, 经过超微粉碎提高利用率与口感^[23], 制备一种营养更全面的营养片剂并对其进行品质分析。当前市场上对红薯叶的利用还处于初级阶段, 红薯叶粉营养片的研制为红薯叶产品的研发提供了新方向, 也为后续红薯叶

产品的精深加工奠定了基础。同时适应国内消费者的消费心理, 可以很好地打开绿色产品市场, 满足消费者的需求。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂与设备

1.1.1 材料与试剂

红薯叶(白心老品种红薯, 山东临沂); 维生素 C、硬脂酸镁(分析纯, 河南万邦实业有限公司); 冰糖粉(上海裕田农业科技有限公司); 蓝莓粉(天津秀谷生物技术发展有限公司); 奶粉(飞鹤牧场公司); 麦芽糊精(广州添锦食品添加剂有限公司); 油醚(分析纯, 天津市富宇精细化工有限公司); 溴甲酚绿、甲基红(浓度 0.1%, 山东临沂永安化验室); 95%乙醇(分析纯, 北京高纯科技有限公司); 硫酸铜(分析纯, 天津市化工三厂有限公司); 硫酸钾(分析纯, 天津市致远化学试剂有限公司); 氢氧化钠(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); 硼酸、亚铁氰化钾(分析纯, 天津市恒兴化学试剂制造有限公司); 硫酸(分析纯, 莱阳经济技术开发区精细化工有限公司)。

1.1.2 仪器设备

WZJ6 型振动式贝利超微粉碎机(济南贝利粉技术工程有限公司); ZPS008 型旋转式压片机(上海天祥健台制药机械有限公司); DHG-9000 鼓风干燥箱(上海一恒科学仪器有限公司); 250mL 蛇形索氏提取器(明特玻璃仪器厂); SW-CJ-2F 超净工作台(苏州安泰空气技术有限公司); BSA124S 电子分析天平(精度 0.0001 g, 赛多利斯科学仪器北京有限公司); SY-3D 型片剂四用测定仪(上海黄海药检仪器有限公司); HH-2 数显恒温水浴锅(常州越新仪器制造有限公司); LPB-130 型滚筒式铝塑泡罩包装机(山东精诚医药装备制造有限公司); 1000w 电子万用炉(北京市永光明医疗仪器有限公司)。

1.2 试验方法

1.2.1 工艺流程

原料预处理→原料干燥→原料粉碎→原辅料粉过筛→原辅料混合→压片→成品。

1.2.2 工艺操作要点

原料预处理: 将采摘的新鲜红薯叶手工切制成条, 均匀平铺到室外干净的地面上, 自然晾晒 1~2 d, 晒干后筛除多余的杂质, 挑选出色泽、形态俱佳的红薯叶干叶。

原料干燥: 将红薯叶干叶放于 50 ℃烘箱, 10 min 翻动一次, 使物料受热均匀, 保证干燥均匀, 干燥至水分含量 3.0%左右为宜。

原料粉碎: 控制水分含量在适宜范围内, 置于超微粉碎机内进行粉碎, 得到红薯叶粉。

原辅料粉过筛: 红薯叶粉过筛, 将红薯叶粉分别过 80、100、200、300、325 目的标准筛备用; 辅料过筛, 过 80 目筛后留放备用。

原辅料混合: 将过筛后的维生素 C、冰糖粉、麦芽糊精、硬脂酸镁、奶粉、蓝莓粉和红薯叶粉按比例混合, 搅拌均匀。

压片: 本营养片剂的压制是采用粉末直接压片工艺^[24], 为使压片顺利进行, 营养片表面光滑, 加入 2%的硬脂酸镁作为润滑剂, 混合均匀后进行压片^[25]。

1.2.3 试验方法设计

(1)感官评定

根据红薯叶粉营养片的外观、口感、风味、质地进行综合评定。选有经验的 10 名评价员对营养片进行感官评定, 取平均数为最终感官评分。感官评分标准^[26]如表 1 所示。

表 1 红薯叶粉营养片评分标准
Table 1 Scoring criteria of *Ipomoea batatas* leaf powder nutrition tablets

评定项目	评分项目	分值/分
外观(20)	色泽均匀, 成型好, 外形完整光滑, 边缘整齐, 厚薄均匀, 无裂缝, 无变形, 色泽较均匀, 成型较好, 外形较完整较光滑, 边缘较整齐, 厚薄比较均匀, 无变形	15~20
	色泽不均匀, 成型差, 外形残缺粗糙, 边缘不整齐, 厚薄不一致, 有裂缝, 有变形	7~14
	入口细腻, 无粉质感, 容易咀嚼	1~6
口感(30)	入口较细腻, 无粉质感, 不易咀嚼	20~30
	有明显粗糙感、粉质感, 不易咀嚼	10~19
	具有红薯叶特有的清香味与蓝莓的果香味, 且二者味道适中, 酸甜可口	1~9
风味(30)	具有轻微的红薯叶清香味与蓝莓的果香味, 二者味道较协调, 酸甜可口	30~20
	基本没有红薯叶或蓝莓特有的味道, 过酸或过甜	10~19
	断面细腻均匀, 硬度适中, 不黏手, 不易碎	1~9
质地(20)	断面较细腻均匀, 硬度偏大或偏小, 稍黏手	15~20
	断面较疏松, 有成片现象, 黏手现象严重或易碎	7~14
		1~6

(2)成品质量检测

将红薯叶粉营养片进行理化性质检测, 从片重差异、硬度、脆碎度 3 个方面分析红薯叶粉营养片剂。

片重差异: 取样品 20 片, 精密称定总质量, 求得平均值后, 再分别称定每片的质量, 每片质量与平均片重相比较, 计算相对平均偏差。

硬度: 取样品 20 片, 用片剂四用测定仪测定硬度, 取平均值。

脆碎度: 取样品 20 片, 用吹风机吹去多余的粉末, 精密称重, 将片剂置于四用测定仪圆筒中, 转动 100 次。取出, 再用吹风机除去粉末, 精密称重后分析^[27]。

厚度: 取样品 20 片, 用游标卡尺测量其厚度, 取平均值。

直径: 取样品 20 片, 用游标卡尺测量其直径, 取平均值。

(3)水分、灰分、蛋白质、脂肪含量

水分含量参照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》中直接干燥法测定, 重复测定 3 次取平均值; 灰分含量参照 GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》中马弗炉挥发恒重法测定, 重复测定 3 次取平均值; 蛋白质含量参照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中凯氏定氮法测定, 重复测定 3 次取平均值; 脂肪含量参照 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》中索氏抽提法测定, 重复测定 3 次取平均值。

(4)总糖

因总糖包括还原糖和非还原糖, 在测定成品总糖时, 先去除成品中的杂质, 加入盐酸将其在加热条件下水解为还原糖, 然后参照 GB 5009.7—2016《食品安全国家标准 食品中还原糖的测定》中直接滴定法测定成品中总糖的含量, 重复测定 3 次取平均值。

(5)膳食纤维

参照 GB 5009.88—2023《食品安全国家标准 食品中膳食纤维的测定》中酶重量法测定成品中膳食纤维的含量, 重复测定 3 次取平均值。

(6)铅、砷、镉含量

参照 GB 5009.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》中电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)测定成品中铅、砷、镉的含量, 重复测定 3 次取平均值。

(7)微生物指标检测

大肠菌群的检测: 参照 GB 4789.3—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 大肠菌群计数》中平板计数法测定成品中大肠菌群的含量。

金黄色葡萄球菌的检测: 参照 GB 4789.10—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 金黄色葡萄球菌检验》中平板计数法测定成品中金黄色葡萄球菌的含量。

1.3 数据处理

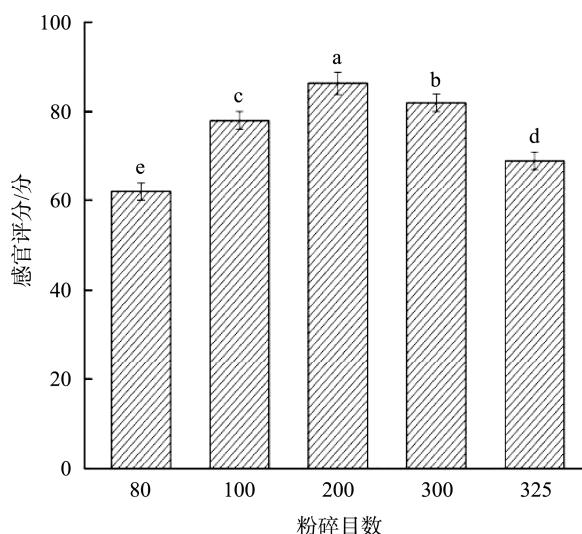
本研究中所有试验均进行 3 次平行试验, 采用 Microsoft excel 2010 软件处理数据, 并运用 SPSS 25 软件进行单因素方差分析, 对显著性差异($P<0.05$)进行比较,

最后用 Origin 2018 64Bit 作图。

2 结果与分析

2.1 原料粉最佳目数确定

因红薯叶粉颗粒大小会影响产品的口感、色泽和营养吸收率,红薯叶经超微粉碎后分别过 80、100、200、300、325 目筛得到的红薯叶粉对成品感官品质的影响如图 1 所示。由图 1 可知,目数为 200 目时感官效果最佳,显著高于其他组($P<0.05$)。所用目数过小时成品颗粒感较强,且口感粗糙、色泽不均匀;而目数过大时,筛粉困难、费时费力,可能是由于目数过大时团聚程度较大引起,制成的成品粉质感较强。所以选用过 200 目筛的红薯叶粉进行接下来的试验研究。这与迟晓君等^[25]的研究结果一致,目数偏小口感粗糙,目数偏大过筛与造粒困难。



注:图中 a 表示平均值最大的数值,b、c、d、e 依次排序,不同字母表示感官评分值存在显著性差异($P<0.05$),含相同字母表示无显著性差异($P>0.05$),图 2~7 同。

图 1 红薯叶粉目数对成品感官评价的影响

Fig.1 Effects of *Ipomoea batatas* leaf powder mesh number on sensory evaluation of finished products

2.2 单因素试验

2.2.1 红薯叶粉的添加量对营养片感官品质的影响

红薯叶粉的添加量会直接影响营养片的口感和营养价值。添加量过少,营养价值无法得到显著的改善,添加量过多,颜色过深,影响产品的感官品质。在奶粉、蓝莓粉、硬脂酸镁、麦芽糊精的添加量分别为 15%、10%、2.0%、25%的前提下,冰糖粉与维生素 C 的比列为 2.0:1 时,红薯叶粉的不同添加量对营养片品质的影响如图 2 所示。由图 2 可以看出,红薯叶粉的添加量为 10% 时,感官评分最高,且显著高于其他添加量($P<0.05$)。在此添加量下得到的营养片口感质地最好,容易被大多数人接受,符合消费者对口感和味道的追求,故选取红薯叶粉添加量为 5%、

10%、15% 进行正交试验。这与杜航等^[28]的研究结果一致,红薯叶粉的添加量为 10% 时,有红薯叶清香味,口感丝滑,综合评分最高。

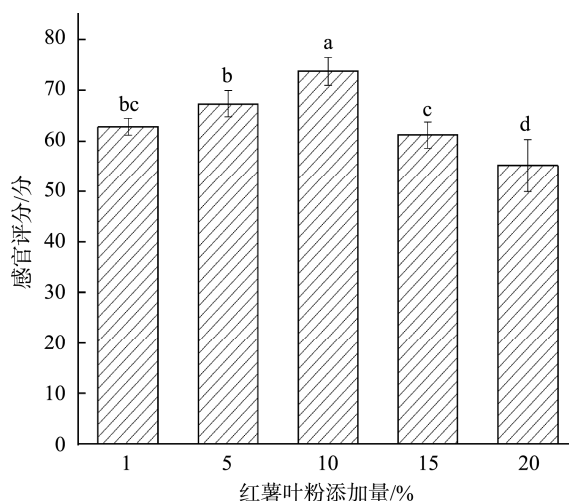


图 2 红薯叶粉的添加量对营养片感官品质的影响

Fig.2 Effects of the addition amount of *Ipomoea batatas* leaf powder on sensory quality of nutritional tablets

2.2.2 奶粉的添加量对营养片感官品质的影响

奶粉的添加是调和营养片味道的基础,将奶粉添加到营养片中还可以起到均衡营养的功效。当红薯叶粉添加量为 10% 时,奶粉的不同添加量对营养片品质的影响如图 3 所示。由图 3 可以看出,奶粉添加量在 15%、20%、25% 时变化幅度小,且不同奶粉添加量的感官评分值无显著性差异($P>0.05$),因此奶粉添加量不是影响营养片品质的主要因素,而张智刚^[29]的研究结果中奶粉的最优添加量为 25.91%,可能是由于两者的营养片具体成分不同,因此对感官的影响也不尽相同,加之奶粉自身的黏度较高,添加量过高时对红薯叶粉营养片的硬度影响较大,且会掩盖红薯叶的清香味,综合考虑适宜的奶粉添加量为 15%。

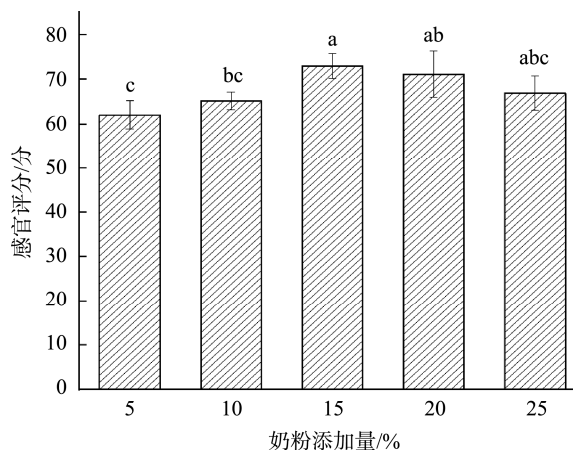


图 3 奶粉的添加量对营养片感官品质的影响

Fig.3 Effects of the addition amount of milk powder addition on sensory quality of nutrition tablets

2.2.3 蓝莓粉的添加量对营养片感官品质的影响

在红薯叶粉添加量为 10%、奶粉添加量为 15% 时, 蓝莓粉的不同添加量对营养片品质的影响如图 4 所示。从图 4 中可以看出, 蓝莓粉的添加量也是影响营养片感官评分的因素。试验过程发现, 其主要是影响营养片的颜色和风味。蓝莓粉添加量多, 会使营养片的颜色比较深, 而且可导致营养片口感粗糙, 且过重的蓝莓味道还会掩盖红薯叶的清香。添加蓝莓粉过少时, 外观和口感不好, 且有少许的颗粒感。蓝莓粉添加量为 10% 时比较适宜, 且 10% 与 15% 的处理组感官评分无显著性差异 ($P>0.05$), 但显著高于其他各组 ($P<0.05$)。可以看出蓝莓粉的添加量也是影响营养片品质的主要因素, 因此选择蓝莓粉添加量为 5%、10%、15% 较为合适。这与许文静等^[30]的研究结果基本一致, 蓝莓粉的添加量对产品品质的影响差异显著。

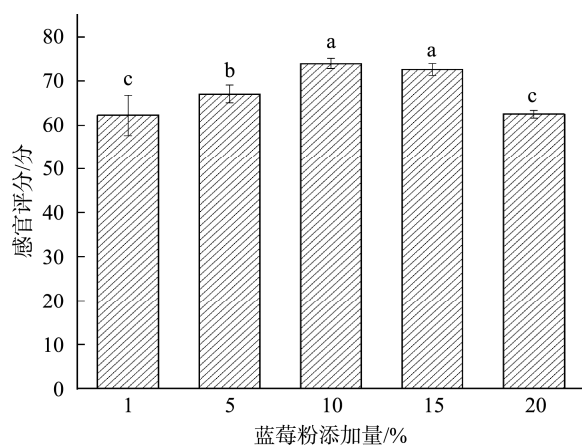


图 4 蓝莓粉的添加量对营养片感官品质的影响
Fig.4 Effects of the addition amount of blueberry powder on sensory quality of nutritional tablets

2.2.4 麦芽糊精的添加量对营养片感官品质的影响

在蓝莓粉添加量 10%、红薯叶粉添加量 10%、奶粉添加量 15% 时, 麦芽糊精的不同添加量对营养片品质的影响如图 5 所示。麦芽糊精的添加量也会直接影响营养片的口感。麦芽糊精是一种具有甜度低、溶解性好、不易吸潮、稳定性好、易消化等特性的填充剂^[31], 添加量过少, 成片松散不成形; 添加量过多, 导致片剂黏度增加, 食用时会有黏牙的不良口感。由图 5 看出, 麦芽糊精添加量在 25% 时感官评分显著高于其他条件 ($P<0.05$), 因此麦芽糊精添加量也是影响营养片品质的主要因素, 选择麦芽糊精添加量 20%、25%、30% 较为合适。这与何晓瑞等^[31]的研究结果一致, 适量的麦芽糊精可以调整营养片的口感。

2.2.5 冰糖粉与维生素 C 的比例对营养片感官品质的影响

冰糖粉和维生素 C 作为辅料, 主要充当酸味剂和甜味剂, 在其他条件设为上述单因素测得的最佳条件, 且硬脂酸镁的添加量为 2% 时, 冰糖粉与维生素 C 的比例对营养片感官品质的影响如图 6 所示。冰糖粉与维生素 C 的比例

可以直接影响营养片的最终品质。由图 6 可以看出, 冰糖粉与维生素 C 的比例为 2.0:1 时, 营养片的味道最好, 显著高于其他各组 ($P<0.05$)。当冰糖粉与维生素 C 的比例为 1.0:1 时, 营养片过酸, 使人无法下咽; 当冰糖粉:维生素 C 为 3.0:1 时, 甜度太高, 浓重的甜味使营养片中其他味道都不明显, 影响口感。因此选择冰糖粉与维生素 C 的比例为 1.5:1、2.0:1、2.5:1 较为合适。这与迟晓君等^[25]的研究结果一致, 冰糖粉与维生素 C 的比例对营养片感官品质的影响具有显著性差异。

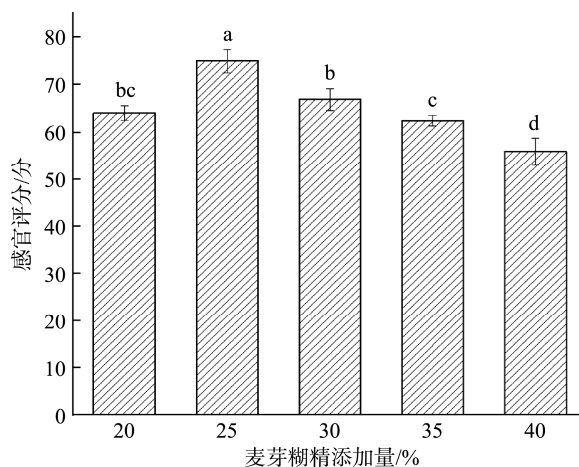


图 5 麦芽糊精的添加量对营养片感官品质的影响
Fig.5 Effects of the addition amount of maltodextrin addition on sensory quality of nutritional tablets

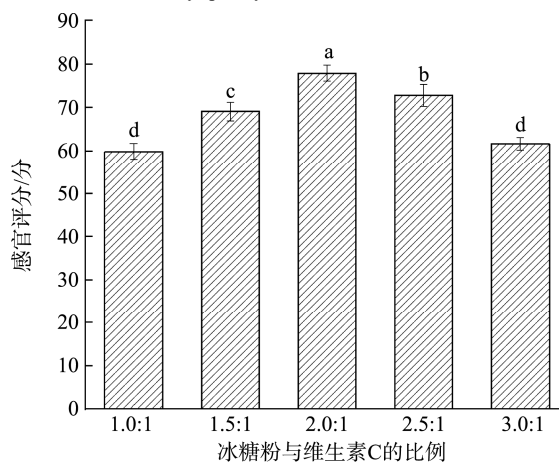


图 6 冰糖粉与维生素 C 的比例对营养片感官品质的影响
Fig.6 Effects of the ratio of rock sugar powder to vitamin C on sensory quality of nutritional tablets

2.2.6 硬脂酸镁的添加量对营养片感官品质的影响

硬脂酸镁添加量也会影响营养片的口感。硬脂酸镁作为一种润滑剂, 是营养片成型的基础。硬脂酸镁的加入会对片剂产生一定的软化作用, 降低片剂的硬度, 提高片剂的脆碎度, 能够改变辅料颗粒间的结合力, 从而改变辅料的压片性质^[32-33]。在其他条件设为上述单因素测得的最佳条件时, 硬脂酸镁的不同添加量对营养片品质的影响如图

7 所示。由图 7 可以看出,当硬脂酸镁添加量在 1.5%、2.0%、2.5%时,感官评分值变化较小,且不同添加量条件下感官评分值差异不显著($P>0.05$),因此在适宜的添加范围内硬脂酸镁的添加量影响不太大,综合考虑适宜的硬脂酸镁添加量为 2.0%。这与乔明锋等^[33]的研究结果一致,添加适量的硬脂酸镁有助于提升营养片的压片质量和口感细腻度。

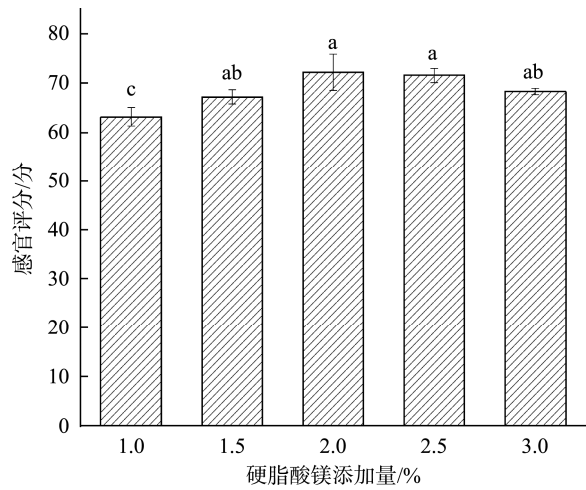


图 7 硬脂酸镁的添加量对营养片感官品质的影响
Fig.7 Effects of the addition amount of magnesium stearate addition on sensory quality of nutritional tablets

2.3 正交试验结果

为优化红薯叶粉营养片配方,根据单因素试验结果,选择红薯叶粉添加量、蓝莓粉添加量、冰糖粉与维生素 C 的比例、麦芽糊精添加量 4 个因素设计 $L_9(3^4)$ 正交试验,因素水平见表 2,正交试验结果见表 3。

根据正交设计方案进行试验,结果如表 3 所示。由表 3 可知,影响营养片感官品质各因素的主次因素为: A(红薯叶粉添加量)>D(冰糖粉与维生素 C 的比例)>B(蓝莓粉添加量)>C(麦芽糊精添加量),即红薯叶粉添加量是最大的影响因素,其次是冰糖粉与维生素 C 的比例,然后是蓝莓粉添加量,最后是麦芽糊精添加量;由表 3 可知,红薯叶粉营养片的最佳生产工艺条件是 $A_1B_2C_1D_2$ 组合。

通过对正交试验进行感官分析和极差分析,得到两种红薯叶粉营养片的制备工艺。通过感官分析得到最佳工艺为 $A_1B_2C_2D_2$; 通过极差分析得到最佳工艺为 $A_1B_2C_1D_2$ 。因此,需要进行最佳红薯叶粉营养片制备工艺的验证试验。

表 2 因素水平表
Table 2 Factor level table

水平	因素			
	A(红薯叶粉添加量)/%	B(蓝莓粉添加量)/%	C(麦芽糊精添加量)/%	D(冰糖粉与维生素 C 的比例)
1	5	5	20	1.5:1
2	10	10	25	2.0:1
3	15	15	30	2.5:1

表 3 正交试验结果
Table 3 Results of orthogonal experiments

试验号	因素				感官评分
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	78.4
2	1	2	2	2	83.3
3	1	3	3	3	71.3
4	2	1	2	3	72.5
5	2	2	3	1	78.7
6	2	3	1	2	80.3
7	3	1	3	2	68.0
8	3	2	1	3	66.1
9	3	3	2	1	68.2
K_1	233.0	218.9	224.8	225.3	
K_2	231.5	228.1	224.0	231.6	
K_3	202.3	219.8	218.0	209.9	
k_1	77.7	73.0	74.9	75.1	
k_2	77.2	76.0	74.7	77.2	
k_3	67.4	73.3	72.7	70.0	
R	10.3	3.0	2.2	7.2	

在验证试验中,随机选择 10 名同学对照感官评分表对红薯叶粉营养片进行感官评价,重复 3 次,制备工艺 $A_1B_2C_1D_2$ 最终感官得分为 87.6 分。因此可以证明红薯叶粉营养片的最佳制备工艺为 $A_1B_2C_1D_2$,即最佳生产工艺条件是红薯叶粉添加量为 5%,蓝莓粉添加量为 10%,奶粉的添加量为 15%,冰糖粉与维生素 C 的比例为 2.0:1,麦芽糊精添加量为 20%,硬脂酸镁的添加量为 2.0%。

对比试验:为进一步验证最优工艺的可靠性,进一步探讨最大影响因素 A 在 3%、4%、6%、7%时的感官评分,分别为 82.7、85.9、84.8、84.5,均低于最优工艺 $A_1B_2C_1D_2$,进一步证明了该配方的可靠性。

2.4 成品品质分析

2.4.1 感官指标

产品的外观及感官特征(表 4)如下:色泽均匀一致呈淡紫色;口感顺滑,不黏牙,酸甜可口,具有蓝莓特有的香甜和红薯叶风味。外形完整,表面光滑,大小均匀,无裂纹;从整体上看营养片的形态规整。

表 4 红薯叶粉营养片感官评定
Table 4 Sensory evaluation of *Ipomoea batatas* leaf powder nutrition tablets

评定项目	感官评价结果
外观	色泽均匀一致呈淡紫色,外形完整,表面光滑,大小、厚薄均匀,无裂纹
口感	口感顺滑,不黏牙,无粉质感
风味	酸甜可口,具有蓝莓特有的香甜和红薯叶风味
质地	断面细密均匀,组织紧密,硬度适中,不黏手

添加了红薯叶粉、蓝莓粉的营养片外观如图 8 所示。



图 8 红薯叶粉营养片照片
Fig.8 Photo of *Ipomoea batatas* leaf powder nutrition tablets

2.4.2 理化指标

红薯叶粉营养片的色泽呈淡紫色, 具有蓝莓特有的香甜和红薯叶的清香风味。由表 5 可以看出, 营养片的理化指标经检验均符合 DBS 15/002—2013《食品安全地方标准 含乳固态成型制品》。

参照药典(2010 版)^[34]等相关资料, 从片重差异、硬度、脆碎度 3 个方面分析红薯叶粉营养片剂的性质, 见表 6。

由表 6 得知, 最优配方制得的营养片剂颜色为淡紫色、完整光洁、色泽均匀、无杂斑、硬度适中、酸甜可口, 片重差异度为 1.17%, 脆碎度为 0.8%, 且无裂片碎片现象, 平均硬度为(56.12±0.03) N, 且用游标卡尺测得片剂直径为(2.0±0.1) cm, 厚度为(0.5±0.01) cm。

表 5 红薯叶粉营养片理化检验结果
Table 5 Physicochemical test results of *Ipomoea batatas* leaf powder nutrition tablets

项目	水分/%	灰分/%	蛋白质/%	脂肪/%	总糖/%	铅/(mg/kg)	砷/(mg/kg)	镉/(mg/kg)	膳食纤维/%
红薯叶营养片	4.53	0.68	7.42	0.40	51.60	0.0884	0.0192	未检出	4.53
标准要求	≤14.0	≤4.5	≥6.5	—	—	≤0.3	≤0.5	≤0.3	—

注: —表示无要求。

表 6 红薯叶粉营养片剂理化性质分析
Table 6 Physicochemical properties of *Ipomoea batatas* leaf powder nutrition tablets

项目		片重差异	硬度	脆碎度
红薯叶粉营养片		1.17%	(56.12±0.03) N	0.8%, 无裂片、碎片现象
标准	一级	小于 5%	40~60 N	未检出断裂、龟裂及粉碎片, 减重小于 1%
	二级	5%~10%	15~40 N	未检出断裂、龟裂及粉碎片, 减重超过 1%
	三级	>10%	<15 N	检出断裂、龟裂及粉碎的片
结论		一级	一级	一级

注: 表中一级、二级为合格, 三级为不合格。

2.4.3 微生物指标

按照 GB 4789.3—2016 和 GB 4789.10—2016 中平板计数法检测成品中的微生物指标, 检测结果: 大肠菌群、金黄色葡萄球菌均未检出(大肠菌群数<10 CFU/g, 金黄色葡萄球菌数<10 CFU/g), 符合 DBS 15/002—2013 中的微生物指标要求, 产品微生物指标合格。

3 结 论

本研究以红薯叶为主要原料, 经过粉碎并网筛得到红薯叶粉, 采用粉末直接压片的工艺研制食用方便且风味、口感、营养俱佳的红薯叶粉营养片, 在单因素试验的基础上, 通过正交试验优化了营养片制备的工艺参数: 干燥的原料经粉碎后过 200 目筛得到的红薯叶粉最适合压片; 红薯叶最优营养片的配方为红薯叶粉添加量 5%, 蓝莓粉添加量 10%, 奶粉添加量 15%, 冰糖粉与维生素 C 的比例为 2.0:1, 麦芽糊精添加量 20%, 硬脂酸镁添加量 2.0%。营养片的营养成分丰富: 蛋白质含量为 7.42%, 脂肪含量为

0.40%, 总糖为 51.60%, 灰分为 0.68%, 膳食纤维为 4.53%, 考虑到配方中加入了红薯叶、蓝莓等具有保健功效的成分, 在后续的研究中将通过进一步优化生产工艺等手段最大限度保持或提升营养片的保健成分(如氨基酸、维生素、黄酮类化合物、花青素等), 进一步提升营养片的营养保健品质。营养片之间的片重差异度为 1.17%, 脆碎度为 0.8%, 且无裂片碎片现象, 平均硬度为(56.12±0.03) N, 片剂直径为(2.0±0.1) cm, 厚度为(0.5±0.01) cm。采用直接压片法可以使片剂不容易受到微生物污染, 同时也大大提高制片效率, 应用前景广阔。同时也为红薯叶类产品加工指引了新方向, 增加了红薯叶的使用价值和开发价值, 促进全国各地区红薯叶产业的进一步发展。

参考文献

[1] PANG LJ, LU GQ, CHENG JY, et al. Physiological and biochemical characteristics of sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) roots treated by a high voltage alternating electric field during cold storage [J]. Postharvest Biol Technol, 2021, 180(2021): 111619.

- [2] ABEGUNDE KO, MU T, CHEN J, *et al.* Physicochemical characterization of sweet potato starches popularly used in Chinese starch industry [J]. *Food Hydrocolloids*, 2013, 33(2): 169–177.
- [3] 蔡沙, 施建斌, 隋勇, 等. 不同干燥方式对甘薯叶理化特性和抗氧化能力的影响[J]. *食品安全质量检测学报*, 2023, 14(11): 78–86.
CAI S, SHI JB, SUI Y, *et al.* Effects of different drying methods on physicochemical properties and antioxidant capacity of sweet potato leaves [J]. *J Food Saf Qual*, 2023, 14(11): 78–86.
- [4] SUN YM, PAN ZJ, YANG CX, *et al.* Comparative assessment of phenolic profiles, cellular antioxidant and antiproliferative activities in ten varieties of sweet potato (*Ipomoea batatas*) storage roots [J]. *Molecules*, 2019, 24(24): 4476.
- [5] 谢克英, 杨庆莹, 孙瑞琳, 等. 红薯叶的营养研究[J]. *河南农业*, 2015(14): 37–38.
XIE KY, YANG QY, SUN RL, *et al.* Study on nutrition of sweet potato leaves [J]. *Henan Agric*, 2015(14): 37–38.
- [6] 李心平, 壹图. “长寿菜”红薯叶[J]. *中老年保健*, 2023(9): 44–45.
LI XP, YI T. Sweet potato leaves of “longevity vegetable” [J]. *Health Care Aged*, 2023(9): 44–45.
- [7] NANDAVE M, OJHA SK, ARYA DS. Protective role of flavonoids in cardiovascular diseases [Z]. 2005.
- [8] 任美燕. 红薯叶黄酮超声提取工艺优化、抗氧化及抑菌研究[J]. *中国食品添加剂*, 2023, 34(1): 224–232.
REN MY. Optimization of ultrasonic extraction process of flavonoids from sweet potato leaves and its antioxidative and antibacterial ability [J]. *Food Addit China*, 2023, 34(1): 224–232.
- [9] 兰丹, 文略, 王小萍, 等. 红薯叶中总黄酮提取工艺的研究[J]. *微量元素与健康研究*, 2007, 24(1): 47–48.
LAN D, WEN L, WANG XP, *et al.* Study on the extracting condition of the total flavonoid from *ipomoea batatas* lam leaves [J]. *Trace Elem Health Res*, 2007, 24(1): 47–48.
- [10] WILLIAMS ML. Blueberries: Nutrition, consumption and health [Z]. 2021.
- [11] 叶红玲, 卢永梦, 黄新雅, 等. 安庆地区 5 个高产蓝莓品种花青素稳定性研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2024, 15(6): 218–227.
YE HL, LU YM, HUANG XY, *et al.* Study on the stability of 5 high-yielding blueberry anthocyanins in Anqing Region [J]. *J Food Saf Qual*, 2024, 15(6): 218–227.
- [12] 曲军霞, 于翠翠, 徐宏楠. 蓝莓保健食品的研发及其抗氧化活性研究[J]. *现代食品*, 2023, 29(24): 128–130.
QU JX, YU CC, XU HN. Research of blueberry health food and its antioxidant activity [J]. *Mod Food*, 2023, 29(24): 128–130.
- [13] JUAN S, QIONG S, MIN SY, *et al.* Classification of different blueberry cultivars by analysis of physical factors, chemical and nutritional ingredients, and antioxidant capacities [J]. *J Food Qual*, 2020, 1: 2020.
- [14] 潘美华, 程哲灏. 蓝莓的营养成分及其保健功能的研究进展[J]. *食品安全导刊*, 2022(22): 107–109.
PAN MH, CHENG ZH. Research progress on nutritional components and health function of blueberry [J]. *J Food Saf Magaz*, 2022(22): 107–109.
- [15] 李艳秋, 陈丹丹, 贾娟. 蓝莓中花青素的提取工艺研究[J]. *中国果菜*, 2023, 43(11): 20–24.
LI YQ, CHEN DD, JIA J. Study on extraction technology of anthocyanins from blueberry [J]. *Chin J Fruit Veget*, 2023, 43(11): 20–24.
- [16] SUN CL. Current status and problem of ultra-fine grinding and classification [Z]. 2002.
- [17] 刘树立, 王华. 超微粉碎技术的优势及应用进展[J]. *干燥技术与设备*, 2007(1): 35–38.
LIU SL, WANG H. Advantages and application progress of ultrafine grinding technology [J]. *Dry Technol Equip*, 2007(1): 35–38.
- [18] 周维维, 刘帆, 谢曦, 等. 超微粉碎技术在农产品加工中的应用[J]. *农产品加工*, 2021(23): 67–71, 75.
ZHOU WW, LIU F, XIE X, *et al.* Application of ultrafine grinding technology in agricultural products processing [J]. *Farm Prod Process*, 2021(23): 67–71, 75.
- [19] ZHAO XY, MENG ANG, ZHANG XW, *et al.* Effects of ultrafine grinding on physicochemical, functional and surface properties of ginger stem powders [J]. *J Sci Food Agric*, 2020, 100(15): 5558–5568.
- [20] SAYED EY, ATTIA Y, FATAH AFA, *et al.* Antioxidant and anticancer properties of nano and fermented-nano powders of wheat and rice by-products [J]. *Discov Food*, 2022, 2(1): 1–5.
- [21] 迟晓君, 李芳瑞, 李宇, 等. 蒲公英叶超微粉制备工艺研究[J]. *中国果菜*, 2019, 39(12): 33–36, 40.
CHI XJ, LI FR, LI Y, *et al.* Study on the preparation technology of dandelion leaf ultrafine powder [J]. *Chin J Fruit Veget*, 2019, 39(12): 33–36, 40.
- [22] GAO W, CHEN F, WANG X, *et al.* Recent advances in processing food powders by using superfine grinding techniques: A review [J]. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 2020, 19(4): 2222–2255.
- [23] 符群, 李卉, 王振宇, 等. 超微粉碎提高薇菜粉活性成分的生物利用率[J]. *现代食品科技*, 2018, 34(4): 45–50, 55.
FU Q, LI H, WANG ZY, *et al.* Physical properties and bioavailability of active components of *Osmunda Japonica* thunb by using ultrafine grinding [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2018, 34(4): 45–50, 55.
- [24] 黎玄哲. 粉末直接压片技术在我国医药工业中的现状[J]. *名医*, 2020(12): 337, 339.
LI XZ. Status quo of powder direct tablet pressing technology in China's pharmaceutical industry [J]. *Famous Med*, 2020(12): 337, 339.
- [25] 迟晓君, 季飞宏, 吴海超, 等. 蒲公英咀嚼片研发及抑菌作用分析[J]. *食品科技*, 2020, 45(10): 111–117.
CHI XJ, JI FH, WU HC, *et al.* Development of dandelion chewable tablets and analysis of antibacterial effect [J]. *Food Sci Technol*, 2020, 45(10): 111–117.
- [26] 徐树来, 张水华. 食品感官分析与实验[M]. 北京: 化工工业出版社, 2010.
XU SL, ZHANG SH. Sensory analysis and experiment of food [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2010.
- [27] 郑毅, 祝凡, 林邨, 等. 辣木螺旋藻复合营养片剂的配方及生产工艺优化[J]. *食品工业*, 2016, 37(6): 166–169.
ZHENG Y, ZHU F, LIN T, *et al.* Optimization of formulation and processing of *Moringa oleifera* and *Spirulina* complex tablets [J]. *Food Ind*, 2016, 37(6): 166–169.
- [28] 杜航, 孙小童, 马思文, 等. 红薯叶黄豆馒头的研制[J]. *现代食品*,

- 2019(13): 37–46.
- DU H, SUN XT, MA SW, *et al.* Development of sweet potato leaf soybean steamed bread [J]. *Mod Food*, 2019(13): 37–46.
- [29] 张智刚. 加工方式对板栗粉品质特性的影响及板栗咀嚼片的研制[D]. 秦皇岛: 河北科技师范学院, 2024.
- ZHANG ZG. The influence of processing methods on the quality characteristics of chestnut powder and the development of chestnut chewable tablets [D]. Qinhuangdao: Hebei Normal University of Science and Technology, 2024.
- [30] 许文静, 陈昌琳, 孟嘉琪, 等. 一种蓝莓泡腾片的制作及其配方对产品品质的影响[J]. *食品研究与开发*, 2023, 44(1): 102–109.
- XU WJ, CHEN CL, MENG JJ, *et al.* Preparation of a blueberry effervescent tablet and effect of its formulation on quality [J]. *Food Res Dev*, 2023, 44(1): 102–109.
- [31] 何晓瑞, 张志强. 红枣咀嚼营养片的制备[J]. *农产品加工(学刊)*, 2014(5): 42–43.
- HE XR, ZHANG ZQ. Development of red dates nutrient chewable tablet [J]. *Farm Prod Process*, 2014(5): 42–43.
- [32] 王涛. 硬脂酸镁在直接压片工艺中产生的软化效应[J]. *药实践杂志*, 2014, 32(1): 19–22.
- WANG T. Decreasing tablet strength of magnesium stearate in direct compression technology [J]. *J Pharm Pract Serv*, 2014, 32(1): 19–22.
- [33] 乔明锋, 郝婉婷, 蔡雪梅, 等. 一种芫根咀嚼片配方优化及特性[J]. *食品工业*, 2021, 42(11): 70–75.
- QIAO MF, HAO WT, CAI XM, *et al.* The optimum formulation and characteristics of a chewable tablet of *Brassica rapa* L [J]. *Food Ind*, 2021, 42(11): 70–75.
- [34] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典 (第一部)[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2010.
- National Pharmacopoeia Committee. Pharmacopoeia of the People's Republic of China (Part I) [M]. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2010.

(责任编辑: 于梦娇 安香玉)

作者简介



井瑞洁, 硕士, 副教授, 主要研究方向为微生物发酵、食品加工。
E-mail: sgyjrj@163.com