

真空冷冻干燥条件对多谷物全粉品质影响的研究

张康逸, 何梦影, 杨帆, 贾盼盼

(河南省农科院农副产品加工研究所, 河南郑州 450008)

摘要: 为获取高品质的多谷物全粉制品, 将青麦仁、玉米、青豆三种鲜食谷物混合配比磨浆后, 采用真空冷冻干燥方式对其进行干燥处理, 以预冻温度、物料厚度、干燥时间为试验因素, 从营养品质及物理特性两方面对谷物粉进行考察, 并结合感官评价, 采用加权平均的方法确定真空冷冻干燥最佳工艺参数。研究表明, 多谷物粉最优质量配比为青麦仁、玉米和青豆按 3:3:4 比例混合, 各因素对产品综合品质的影响强弱顺序为干燥时间>物料厚度>预冻温度, 在预冻温度-40 ℃, 物料厚度 5 mm, 干燥时间 35 h 条件下, 测定多谷物全粉中四类营养物质含量分别为维生素 C 40.73×10^{-2} mg/g, 类胡萝卜素 6.25 μg/g, 蛋白质 18.36%, 总黄酮 1.12 mg/g, 此种条件下制得的多谷物全粉产品品质优良、溶解性、复水性较好, 吸湿率较低, 色泽均一、颗粒细腻、有特有的香气, 其吸湿性为 5.25%, 溶解性为 19.67%, 复水率为 200.68%, 综合感官品质得分为 96。

关键词: 多谷物全粉; 真空冷冻干燥; 营养特性; 物理特性; 优化

文章编号: 1673-9078(2017)7-163-171

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.7.024

Effect of Vacuum Freeze-drying on the Quality Characteristics of Blended Whole Cereal Flour

ZHANG Kang-yi, HE Meng-ying, YANG Fan, JIA Pan-pan

(Institute of Agricultural Products Processing, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450008, China)

Abstract: To obtain high-quality blended whole cereal flour product, fresh green wheat berry, corn, and green bean were mixed and milled, followed by vacuum freeze-drying. The cereal flour was analyzed for nutritional characteristics, physical properties, and sensory evaluation, using pre-freezing temperature, material thickness, and drying time as experimental factors. The weighted average method was used to determine the optimal operating parameters for vacuum freeze-drying process. The results indicated that the optimum ratio of green wheat berry, corn, and green bean was 3:3:4, and the effects of these three factors on the overall index score were in the decreasing order of drying time> material thickness> pre-freezing temperature. Under the optimal drying conditions (pre-freezing temperature: -40 ℃, material thickness: 5 mm, and drying time: 35 h), the composition of vitamin C, carotenoids, proteins, and flavonoids of the blended whole cereal flour were 40.73×10^{-2} mg/g, 6.25 μg/g, 18.36%, and 1.12 mg/g, respectively. Under the aforementioned optimal conditions, the prepared blended whole cereal flour had high quality, good solubility (19.67%), good rehydration ratio (200.68%), low hygroscopicity (5.25%), uniform color, fine particles, and unique aroma, with a comprehensive sensory quality score of 96.

Key words: blended whole cereal flour; vacuum freeze-drying; nutritional characteristics; physical property; optimization

全谷物是指完整的、碾成粉状或压成片状的谷物颖果, 其胚乳、胚芽和糠麸中营养成分的组成比例与在完整颖果中的比例基本相同^[1]。常见的谷物有小麦、稻米、玉米、豆类与薯类等, 将这些谷物颖果的全部成分进行加工, 较为完整的保留其各类成分而制成的产品称为全谷物食品^[2], 谷物全粉就是其中常见的一类。鲜食全谷物一般含水量较高, 不易储藏, 而干制

收稿日期: 2016-11-17

基金项目: 河南省重大科技专项 (151100111300); 国家农业科技成果转化项目 (2014D00000114); 河南省科技开放合作项目 (152106000054)

作者简介: 张康逸 (1981-), 男, 副研究员, 研究方向: 农副产品加工研究

通讯作者: 何梦影 (1989-), 女, 研究方向: 农副产品加工研究

成粉后的谷物全粉则具有较长的保存期限, 既可以通过后期调配作为即食谷物粉, 也可用作辅料添加到其它营养主食产品中, 提高了其应用价值。从 20 世纪 80 年代以来, 发达国家对全谷物食品的营养价值进行了大量的研究, 研究表明, 全谷物能够使中风危险降低 30%~60%, 心脏疾病危险降低 25%~28%, 同时还有利于解决肥胖问题^[3]。这些主要是因为全谷物食品中含有较多的生理活性物质, 如酚类物质、类胡萝卜素和维生素等^[4], 这些生理活性物质如果组合在一起, 便有可能相互结合, 协同增效, 这就远比摄入单个营养素更加有利于人体健康^[5]。如青麦仁含有丰富的蛋白质、膳食纤维、淀粉酶等营养成分, 具有助消化、

降血糖的功能^[6]；鲜食玉米中则含有多种类胡萝卜素，具有清除自由基的抗氧化功能，它对人体心血管具有一定的保护作用^[7]；而青豆中丰富的蛋白质、维生素和特有的大豆异黄酮均具有抗氧化、抗高血脂等功能^[8]。多种谷物配比组成的“全谷物营养包”能够取长补短，形成营养成分更全面的全谷物食品。

全谷物中的某些活性成分在加工过程中容易受到光、热等因素的影响而发生分解，造成功能的损失。因此，合理的加工方式能够提高全谷物食品的综合品质^[9]。目前谷物全粉的加工方式有热风干燥、真空冷冻干燥等多种干燥方式，热风干燥方式干燥温度高，对产品的感官品质和营养成分都造成了较大的破坏^[10]，而真空冷冻干燥技术是将物料中的水冻结成冰后在真空环境下对其进行低温加热，使物料中的水分直接升华，消除常压干燥时产生的表层硬化现象，减少了高温对产品营养成分的破坏^[11-14]，具有不可比拟的优势。

本研究以鲜食青麦仁、玉米、青豆三类谷物调配成谷物全粉，选取三类谷物中具有代表性的营养成分，蛋白质、维生素 C、类胡萝卜素和总黄酮为指标^[15-17]，对真空冷冻干燥制粉工艺进行分析，确定综合品质保存较好的加工工艺，以为多谷物营养全粉的加工提供理论指导。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

速冻鲜食青麦仁，河南省农科院农副产品加工研究所；速冻鲜食玉米粒，郑州家乐福超市；速冻鲜食青豆，郑州家乐福超市。

芦丁标准溶液：精确称取与 120 °C 真空干燥至恒重的芦丁标准品 20 mg，置 100 mL 容量瓶中，加 60% 乙醇溶液，稀释至刻度，精确量取 25 mL，置于 50 mL 容量瓶中，稀释至刻度，摇匀即可得每 1 mL 含芦丁 0.1 mg 的标准溶液。

石油醚、60%乙醇、丙酮、浓硫酸和氢氧化钠等均为分析纯。

1.2 仪器与设备

FD-100S 真空冷冻干燥机，北京惠城佳仪科技有限公司；K 1100 全自动凯氏定氮仪，山东海能科学仪器有限公司；A 590 双光束紫外线可见分光光度计，翱艺仪器有限公司；250 型两级胶体磨，温州长江通用机械有限公司；JW-1044R 高速冷冻离心机，安徽嘉文仪器装备有限公司；KQ-600DE 型数控超声波清

洗器，昆山市超声仪器有限公司；SYH-1 型三维混合机，钱江干燥有限公司；JA-2003N 型电子天平，上海花湖电器有限公司；SHZ-D 型循环水真空泵，郑州予华仪器制造有限公司；DW-86W420 海尔卧式超低温保存箱，青岛海尔特种电器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 多谷物粉的制备

1.3.1.1 多谷物粉工艺流程

原料预处理(鲜食谷物原料→精选→除杂清洗)→配比混合→热烫→磨浆→预冻→真空冷冻干燥→混匀成粉→营养成分测定。

1.3.1.2 热烫熟化

按实验所需比例称取鲜食青麦仁、玉米和青豆三种原料，在 90 °C 条件下热水烫漂 5 min，对物料进行杀青、熟化。

1.3.1.3 磨浆均质

向配比后的物料中按质量比 1:1 加水，通过胶体磨磨浆，并反复 3 次，筛网过滤去皮，得到谷物混合乳状液。

1.3.1.4 干燥处理

真空冷冻干燥实验，启动真空冷冻干燥设备的制冷机，使制冷温度降至适宜的预冻温度，取青麦仁、玉米、青豆混合液按照所需厚度放入干燥仓内，利用光纤测定物料中心温度。启动真空泵，使真空度降至设定值时进行控制，干燥至设定时间后取出。利用单因素试验和 $L_9(3^4)$ 正交试验考察物料厚度、预冻温度及冷冻干燥时间对多谷物粉营养特性及品质的影响。

1.3.1.5 成粉处理

将干制后的物料投入高速万能粉碎机中混合成粉，粉末过 100 目筛后，利用小型混合机对谷物粉进行均匀混合。

1.3.2 多谷物粉物理特性的测定

1.3.2.1 溶解性的测定

称取 2 g 样品粉末，均匀分散在纯水中，样品和水的比例为 0.02:1 (1 g 溶于 50 mL 蒸馏水中)，80 °C 条件下水浴震荡 30 min，在离心机中 3500 r/min 转速离心 15 min，取上清液置于 105 °C 烘干至恒重^[18]。计算公式如下：

$$\text{溶解性}(\%) = \frac{m_2}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

式中： m_1 为样品质量，g； m_2 为上清液烘干后质量，g。

1.3.2.2 复水率的测定

根据 Kim 等^[19]的方法进行调整后，取 2 g 多谷物

粉置于 50 mL 离心管中, 加入 20 mL 蒸馏水, 25 °C 条件下静置 1 h。4500 r/min 转速离心 30 min, 沉淀物的质量即为样品复水后的质量。复水率计算公式如下:

$$\text{复水率}(\%) = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (2)$$

式中: m_1 为谷物粉复水前的质量/g; m_2 为复水后的质量/g。

1.3.2.3 吸湿性的测定^[20]

精确称取 1 g 多谷物粉置于已称量的干燥铝盒中, 将铝盒置于盛有饱和氯化钠溶液的玻璃干燥器中, 保存 7 d。吸湿性表示为每 100 g 干物质吸收水分的质量, 计算公式如下:

$$\text{吸湿性}(\%) = \frac{\Delta m / (m + m_i)}{1 + \Delta m / m} \times 100 \quad (3)$$

式中: Δm 为谷物粉质量的变化量/g; m 为谷物粉的初始质量/g; m_i 为谷物粉放进干燥器之前的水分含量/g。

1.3.3 多谷物粉营养成分的测定

1.3.3.1 维生素 C 的测定

维生素 C 含量的测定采用标定 2,6-二氯酚靛酚溶液法测定^[21]。

1.3.3.2 类胡萝卜素的测定

称取多谷物粉 2 g, 分别置于 25 mL 巨型玻璃管中, 加入 8 mL 丙酮于 4 °C 冰箱中避光浸提, 24 h 后取出于 4 °C 高速冷冻离心机中 4000 r/min 离心 15 min, 取上清液于 25 mL 容量瓶中, 剩余残渣加入 7 mL 的丙酮, 重复提取 3 次, 合并上清液后用丙酮定容至 25 mL 备用, 每个样重复 3 次。采用紫外-可见分光光度计在波长 450 nm 下进行扫描, 根据公式计算类胡萝卜素总含量。

$$\text{类胡萝卜素含量}(\mu\text{g/g}) = \frac{10000 \times A \times V \times N}{2500 \times m} \quad (4)$$

式中: V 为提取液体积/mL; A 为样品在 450 nm 波长下的吸光值; N 为稀释倍数; 2500 为类胡萝卜素的平均吸光系数; m 为样品质量。

1.3.3.3 蛋白质的测定

蛋白质含量测定参照 GB/T 5009.5-2010, 凯氏定氮法^[22]。

1.3.3.4 总黄酮的测定^[23,24]

精密量取芦丁标准溶液 0、1、2、3、4、5、6 mL, 分别置于 25 mL 容量瓶, 用 60%乙醇补至 10 mL, 滴加 5%的亚硝酸钠 0.75 mL, 反复震荡至摇匀, 静置 5 min, 再滴加 10%的硝酸铝溶液 0.75 mL, 反复震荡至摇匀, 静置 5 min, 再加入 4%的氢氧化钠溶液 10 mL, 摇匀, 滴加 60%的乙醇定容至刻度, 摇匀, 静置 10 min, 以不加芦丁对照品的溶液为空白对照, 于 510 nm 波长处测定吸光度, 以吸光值为纵坐标, 质量浓度为横

坐标绘制标准曲线, 得回归方程:

$$Y = 13.64X - 0.003 \quad (R^2 = 0.9997)$$

称取多谷物粉 2 g, 按照 1:40 加入石油醚, 混合均匀后放入超声清洗器里以 400 W 功率超声 80 min, 进行脱脂, 脱脂完毕后将混合液进行离心, 去除上清液, 剩余残渣放入通风橱进行风干。将风干后的固体样品以 1:30 的固液比, 加入 60%的乙醇, 再次进行超声提取, 超声完进行离心处理, 取上清液, 即为总黄酮的粗提液。取 10 mL 总黄酮提取液于 25 mL 的容量瓶中, 按标准曲线制备方法测定其吸光度, 代入回归方程计算含量, 总黄酮得率计算公式如下:

$$\text{总黄酮含量}(\text{mg/g}) = \frac{\text{提取液中总黄酮质量}}{\text{原料的质量}} \quad (5)$$

1.3.4 感官评分标准

选 20 名有经验的评价员组成评价小组, 在进行品评时随机放置, 分别对多谷物粉色泽、气味和口感进行综合评价, 结果取平均值。评定标准见表 1。

表 1 感官评分标准

Table 1 Sensory evaluation of the cereal flour

指标(满分)	评分标准	分数
色泽(30分)	具有均匀一致的多谷物粉颜色	20~30
	偏绿色或黄色, 感觉清淡, 不均一	10~20
	无多谷物粉固有的色泽或有其他异色	0~10
气味(30分)	具有多谷物粉固有香气, 无异味	20~30
	香气平淡, 略有豆腥味	10~20
	有严重的豆腥味或其他不良气味	0~10
口感(40分)	入口细腻, 无颗粒感, 口感浓厚	30~40
	口感稀薄, 有少许颗粒感	20~30
	有明显口感, 且入口有颗粒感	0~20

1.3.5 综合评分

采用变异系数法确定上述各指标的权重系数, 将数据标准化处理后, 采用加权平均的方法确定不同真空冷冻干燥条件制得多谷物粉的综合评分。变异系数按照公式 (6) 计算:

$$V_i = \frac{\sigma_i}{X_i} \quad (6)$$

式中: V_i 是第 i 项指标的变异系数, 也称为标准差系数; σ_i 是第 i 项指标的标准差; X_i 是第 i 项指标的平均数。

各项指标的权重按照公式 (7) 计算:

$$W_i = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (7)$$

采用 Z-score 标准化法将各项指标的数据进行标准化处理, 按照公式 (8) 计算:

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_i}{\sigma_i} \quad (8)$$

式中: Z_{ij} 为标准化后的变量值; X_{ij} 为实际变量值; \bar{X}_i 为第 i 项指标的算数平均值; σ_i 为第 i 项指标的标准差。

将各指标标准化后的数据分别与权重相乘后, 计算总和, 得到不同条件下的综合评分。

1.3.6 正交试验设计

为了进一步确定最佳的多谷物全粉的真空冷冻干燥工艺参数, 以多谷物粉的综合评分为指标, 正交试验因素水平表如表 2 所示。

表 2 正交试验因素水平表

水平	因素		
	A 预冻温度/°C	B 物料厚度/mm	C 干燥时间/h
1	-30	5	25
2	-40	10	30
3	-50	15	35

1.4 统计方法

采用 origin 7.0 和 SPSS(v 19.0) 数据处理软件对数据进行处理和正交结果分析。

表 3 单一品种谷物粉中各营养物质的含量

品种	维生素 C/($\times 10^{-2}$ mg/g)	类胡萝卜素/(μ g/g)	蛋白质/%	总黄酮/(mg/g)
青麦仁	6.23 \pm 2.93	3.83 \pm 0.23	15.47 \pm 0.13	1.75 \pm 0.10
玉米	31.13 \pm 2.93	13.81 \pm 0.70	8.52 \pm 0.07	1.04 \pm 0.06
青豆	39.43 \pm 2.93	12.51 \pm 0.40	21.67 \pm 0.13	1.67 \pm 0.02

表 4 不同配比多谷物粉各营养物质的含量

质量比 (青麦仁:玉米:青豆)	维生素 C/($\times 10^{-2}$ mg/g)	类胡萝卜素/(μ g/g)	蛋白质/%	总黄酮/(mg/g)	感官评分
4:4:2	22.83 \pm 2.93	6.69 \pm 0.34	13.36 \pm 0.14	1.63 \pm 0.08	83
3:3:4	32.16 \pm 1.75	9.86 \pm 0.17	17.84 \pm 0.09	2.03 \pm 0.02	92
2:2:6	34.91 \pm 2.56	8.35 \pm 0.62	16.66 \pm 0.12	0.97 \pm 0.05	86

2.2 真空冷冻干燥对多谷物粉营养品质的影响

2.2.1 预冻温度对多谷物粉真空冷冻干燥的影响

在物料厚度 10 mm, 干燥时间 30 h 条件下, 分别设定预冻温度为 -20、-30、-40、-50 和 -60 °C, 对多谷物匀浆进行真空冷冻干燥, 考察预冻温度对多谷物粉营养品质的影响。多谷物粉中四类营养成分含量随着预冻温度变化的情况如图 1 所示。随着预冻温度的降低, 四类营养物质含量大体呈现增长趋势, 在 -40 °C 时含量最高, 温度继续降低时, 营养成分含量逐渐降

2 结果与讨论

2.1 多谷物营养全粉配比的确定

青麦仁、玉米和青豆三类鲜食谷物原料中, 四类营养成分含量各不相同测定结果如表 3 所示。由表 3 可知, 青豆中维生素 C 和蛋白质的含量均高于其他两类谷物, 青麦仁中的总黄酮含量较高, 而玉米中类胡萝卜素的含量在三类谷物中最高。

按照不同的配比将青麦仁、玉米和青豆混合磨浆后, 经真空冷冻干燥制成多谷物营养粉, 结合感官评价对不同配比的多谷物粉进行评价, 如表 4 所示, 3:3:4 组成比例的谷物粉与其余两种比例的谷物粉相比, 营养成分的含量总体均较高; 且此比例下的多谷物粉感官评分最佳, 产品色泽均一, 具有多谷物全粉的固有香气, 入口细腻。因此, 可以确定 3:3:4 配比的谷物粉营养成分全面, 同时口感、色泽等感官品质均较好。经过复配后的谷物粉, 各类营养成分含量得到均衡, 弥补了单一品种中某几类营养成分含量较低的缺陷, 使产品的营养更加全面。

低, 趋于平缓。对不同预冻温度的谷物粉中的营养成分进行准确的综合评分(表 5)可知, 随着预冻温度的降低, 谷物粉中营养品质的得分变化呈现先升高后降低的趋势, 在 -40 °C 时评分最高。

预冻温度较低(-30~-40 °C)时, 物料中水分子结冰速率较快, 能够使食品在最短的时间内通过最大冰晶生成区, 形成的冰晶较小, 对产品中营养物质的破坏较小^[25], 同时, 形成的晶粒较细, 得到的冻干产品的质量也较好^[26]; 而较高的预冻温度(-30 °C 以上)则会使水分子结冰速率较慢, 形成较大的冰晶, 破坏细胞膜, 导致物料中的营养成分结构被破坏。然而, 过低的预冻温度可能会对谷物产品细胞造成低温伤害, 使某些营养元素的结构被破坏, 如过低的温度会

使谷物中某些活性蛋白的三级结构破坏,造成活性的丢失;同时,过低的预冻温度也会使物料在冷冻干燥的过程中发生回温解冻,造成维生素C等水溶性维生素

素的随水流失^[27]。因此,适宜的预冻温度能够降低能源消耗,避免过低温度形成物料的回温解冻。选择-30~-50℃,做进一步的正交试验。

表5 预冻温度对真空冷冻干燥多谷物粉营养品质影响的评价

Table 5 Evaluation of the effect of pre-freezing temperatures on the nutritional quality of blended cereal flour

预冻温度/℃	标准化数据				综合得分
	维生素C	类胡萝卜素	蛋白质	总黄酮	
-20	-1.1067	-1.0800	-0.5621	-1.4362	-1.1447
-30	-0.4742	-0.6621	0.9262	0.0319	-0.3124
-40	1.5811	1.5230	1.1661	1.2234	1.4518
-50	0.1581	0.2637	-0.3876	-0.3723	0.0229
-60	-0.1580	-0.0441	-1.1460	0.5532	-0.0176
平均值	26.98	6.53	15.98	0.67	
标准差	6.56	1.02	0.60	0.09	
变异系数	0.243	0.156	0.037	0.140	
权重	0.422	0.271	0.064	0.243	

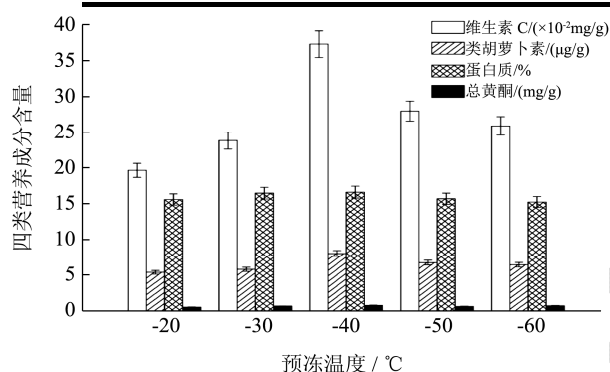


图1 预冻温度对真空冷冻干燥多谷物粉营养成分含量的影响
Fig.1 Effect of pre-freezing temperatures on the composition of major nutritional components of blended cereal flour

2.2.2 物料厚度对多谷物粉真空冷冻干燥的影响

在干燥时间30h、预冻温度-40℃条件下,分别设定物料厚度为5、10、15、20、25mm,对多谷物匀浆进行真空冷冻干燥处理,考察物料厚度对多谷物全粉营养品质的影响。配比后的多谷物粉中四类营养成分含量随着物料厚度变化的情况如图2所示。厚度

为5~10mm时,各类营养成分含量都较高,类胡萝卜素含量高于其它冻干厚度条件下的含量,维生素C含量在10mm时达到最高,总黄酮和蛋白质的含量变化不大。结合综合评分结果(表6)可知,物料厚度在10mm时综合营养品质评分较高,物料厚度超过10mm时,随着厚度的增大,营养品质评分结果降低,维生素C和类胡萝卜素含量降低。

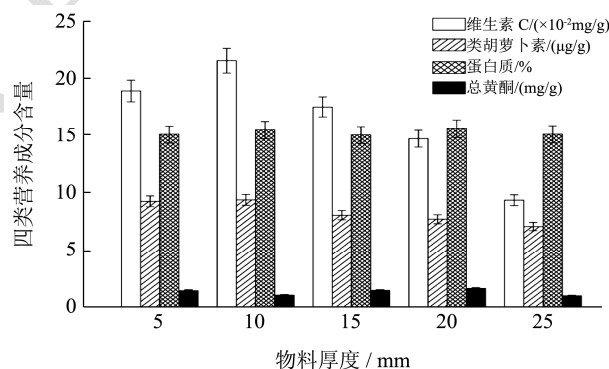


图2 物料厚度对真空冷冻干燥多谷物粉营养成分含量的影响
Fig.2 Effect of material thickness on the composition of major nutritional components of blended cereal flour

表6 物料厚度对真空冷冻干燥多谷物粉营养品质影响的评价

Table 6 Evaluation of the effect of material thickness on the nutritional quality of blended cereal flour

物料厚度/mm	标准化数据				综合得分
	维生素C	类胡萝卜素	蛋白质	总黄酮	
5	0.5380	0.9578	-0.6136	0.4784	0.5684
10	1.1068	1.0900	0.8447	-0.2234	0.6615
15	0.2371	-0.2390	-0.7689	0.4964	0.2028
20	-0.3675	-0.5853	1.3106	1.1295	0.1252
25	-1.5149	-1.2220	-0.7803	-1.1691	-1.3254

转下页

接上页

平均值	16.39	8.32	15.22	1.37
标准差	4.63	1.00	0.26	0.28
变异系数	0.282	0.120	0.017	0.204
权重	0.453	0.193	0.027	0.327

随着物料厚度的增加,影响了水分的散失,物料内外受热不均匀,干燥效率降低,物料外层的细胞组织损伤较大,导致营养成分的丢失^[28];而物料厚度越小,则干燥的时间越短,品质保持较好,但厚度过小,单位面积干燥的物料量少,冻干机的使用效率较低^[27],同时,厚度过小会引起物料干燥过快,表皮皱缩较明显,影响感官品质。所以最佳的干燥厚度应以物料品质结合生产效率进行确定,因此,选择5~15 mm,做进一步正交试验。

2.2.3 干燥时间对多谷物粉真空冷冻干燥的影响

在预冻温度-40℃、物料厚度10 mm条件下,分别设定干燥时间为20、25、30、35、40 h,对多谷物匀浆进行真空冷冻干燥处理,考察干燥时间对多谷物全粉营养品质的影响。多谷物粉中四类营养成分含量随着干燥时间变化的情况如图3所示。随着干燥时间的增加,各类营养成分含量逐渐增加,达到30~40 h时,四类营养成分含量逐步达到最大值。干燥时间对真空冷冻干燥谷物粉的综合营养品质评价情况如表7所示,随着干燥时间的延长,谷物全粉营养品质综合得分呈现先增加后减小的趋势,干燥时间为30 h时,多谷物粉营养品质评分最高,品质较为稳定。

表7 干燥时间对真空冷冻干燥多谷物粉营养品质影响的评价

Table 7 Evaluation of the effect of drying time on the nutritional quality of blended cereal flour

干燥时间/h	标准化数据				综合得分
	维生素C	类胡萝卜素	蛋白质	总黄酮	
20	-1.2163	-1.1440	-1.4856	-0.7000	-1.0476
25	-0.8918	-0.5741	-0.4687	1.2470	-0.2138
30	1.0557	0.4566	0.9845	0.9267	0.8409
35	0.3579	1.4556	0.7442	-0.7000	0.3434
40	0.6947	-0.1951	0.2261	0.9824	0.4884
平均值	19.53	6.26	15.23	0.87	
标准差	6.93	0.98	2.12	0.17	
变异系数	0.327	0.157	0.139	0.192	
权重	0.369	0.177	0.157	0.235	

2.3 多谷物营养粉真空冷冻干燥的正交试验结果

采用L₉(3⁴)正交试验表对多谷物粉的营养品质及产品特性进行研究,实验结果分析见表8。各因素对多谷物粉的综合品质影响程度存在差异,主次顺序为

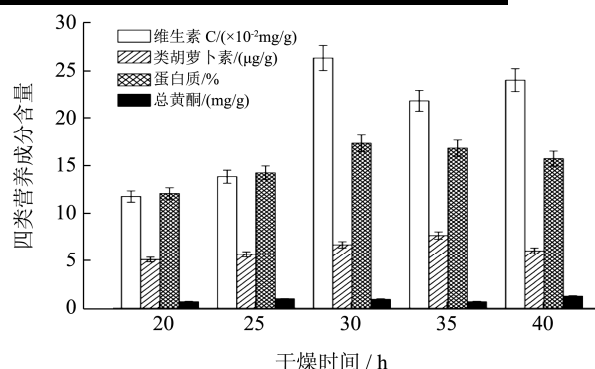


图3 干燥时间对真空冷冻干燥多谷物粉营养成分含量的影响

Fig.3 Effect of drying time on the levels of major nutritional components of blended cereal flour

对于真空冷冻干燥工艺来说,干燥时间越长,产品的水分含量相对越小,干燥效果越好,但干燥时间过长则会增加真空冷冻干燥机的工作能耗,同时过长的干燥时间会影响产品的感官品质和营养品质,部分营养成分会遭到破坏;而干燥时间过短则会导致谷物粉在储藏过程中出现吸湿回水现象,影响谷物粉的品质,高水分含量同样不利于营养成分的保持^[29]。因此,从节约能耗与保持较高营养成分的角度来说,选择干燥时间25~35 h进一步做正交试验。

多谷物粉中四类营养物质含量分别为维生素 C 40.73 $\times 10^{-2}$ mg/g, 类胡萝卜素 6.25 μ g/g, 蛋白质 18.36%, 总黄酮 1.12 mg/g, 产品吸湿性为 5.25%, 溶解性为 19.67%, 复水率为 200.68%, 综合感官品质得分为 96。

表 8 $L_9(3^4)$ 正交试验及标准化评分结果Table 8 Experiment with a $L_9(3^4)$ orthogonal array design and standardized scores of quality evaluation

试验号	A	B	C	维生素 C	类胡萝卜素	蛋白质	总黄酮	吸湿性	溶解性	复水率	感官评分	综合评分
	预冻温度/ $^{\circ}$ C	物料厚度/mm	干燥时间/h									
$A_1B_1C_1$	-30	5	25	-1.4078	-1.2781	-2.0508	-0.7000	1.3330	-0.7872	-1.2320	-1.3700	-0.5789
$A_1B_2C_2$	-30	10	30	-0.0882	0.4563	-0.0738	0.0196	-0.6374	-0.3298	0.7705	0.5827	-0.0482
$A_1B_3C_3$	-30	15	35	-0.1777	-1.0563	-0.4323	-0.4412	1.0292	-0.3936	-1.6007	-0.0339	-0.0386
$A_2B_1C_2$	-40	5	30	1.3963	1.7313	1.5108	1.9216	-1.3743	1.8298	0.9792	1.8160	0.8649
$A_2B_2C_3$	-40	10	35	1.0631	-0.5500	0.4723	0.6569	-1.0351	1.0000	0.8046	0.9938	0.3108
$A_2B_3C_1$	-40	15	25	-1.2428	-0.0719	-0.1723	-1.6373	1.1287	-1.0532	-0.9817	-0.8561	-0.4950
$A_3B_1C_3$	-50	5	35	0.7924	0.1625	0.8846	0.4412	-0.2632	-0.1170	0.2271	0.0689	0.2526
$A_3B_2C_1$	-50	10	25	0.4067	1.2281	0.2138	0.2059	-0.5731	0.7879	0.8071	-0.4450	0.0828
$A_3B_3C_2$	-50	15	30	-0.7480	-0.5281	-0.3538	-0.5294	0.3801	-0.9574	0.2271	-0.7533	-0.3591
k_1	-0.222	0.180	-0.330									
k_2	0.227	0.115	0.153									
k_3	-0.008	-0.298	0.175									
R	0.449	0.478	0.505									
平均值				31.68	5.96	15.39	0.77	7.80	20.62	193.76	76.33	
标准差				6.29	0.32	0.65	0.10	1.71	0.94	8.19	9.73	
变异系数				0.199	0.054	0.042	0.133	0.220	0.045	0.042	0.128	
权重				0.231	0.063	0.049	0.154	0.255	0.053	0.049	0.148	

3 结论

3.1 选取青麦仁、玉米和青豆三种谷物按照一定配比所得的多谷物全粉较单一品种的谷物粉, 维生素 C、类胡萝卜素、蛋白质与总黄酮四类营养指标的含量都得到了提升, 最终确定青麦仁、玉米、青豆原料的质量比为 3:3:4 配比的多谷物粉, 其营养与感官品质均较为优良。

3.2 采用真空冷冻干燥方式制备的多谷物全粉, 各因素对产品综合品质的影响强弱顺序为干燥时间>物料厚度>预冻温度, 最佳工艺参数为预冻温度-40 $^{\circ}$ C, 物料厚度 5 mm, 干燥时间 35 h, 在此条件下, 测定多谷物粉中四类营养物质含量分别为维生素 C 40.73×10^{-2} mg/g, 类胡萝卜素 6.25 μ g/g, 蛋白质 18.36%, 总黄酮 1.12 mg/g, 产品吸湿性为 5.25%, 溶解性为 19.67%, 复水率为 200.68%, 综合感官品质得分为 96。

3.3 本研究将谷物粉的营养品质与产品性质均作为考察指标, 采用综合评分的方式得到真空冷冻干燥的最优工艺, 最终获得综合品质较为优良的多谷物粉产品。真空冷冻干燥的加工方式使水分直接升华, 某些

水溶性的营养素不发生溶质迁移, 物料表面不会发生硬化、收缩等影响品质的物理变化, 因此冻结状态下脱水干燥得到的产品在色泽、吸水和复水性等物理特性方面较为优良。

参考文献

- [1] 李富华, 郭晓晖, 夏春燕, 等. 全谷物酚类化合物抗氧化活性研究进展[J]. 食品科学, 2012, 33(13): 299-304
LI Fu-hua, GUO Xiao-hui, XIA Chun-yan, et al. Research advance in antioxidant activity of phenolic compounds in whole grains [J]. Food Science, 2012, 33(13): 299-304
- [2] 郭顺堂. 我国全谷物食品的开发及存在的问题[J]. 北京工商大学学报: 自然科学版, 2012, 30(5): 11-15
GUO Shun-tang. Development of whole grain and current status in China [J]. Journal of Beijing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2012, 30(5): 11-15
- [3] 谭斌, 谭洪卓, 刘明, 等. 全谷物食品的国内外发展现状与趋势[J]. 中国食物与营养, 2009, 9: 4-7
TAN Bin, TAN Hong-zhuo, LIU Ming, et al. The present situation and development trend of the whole grains [J]. Food

- and Nutrition in China, 2009, 9: 4-7
- [4] Liu R H. Whole grain phytochemicals and health [J]. Journal of Cereal Science, 2007, 46(3): 207-219
- [5] 杨金枝,林亚玲,耿思增,等.全谷物食品开发的新形式及发展方向[J].农业机械,2011,22:86-89
YANG Jin-zhi, LIN Ya-ling, GENG Si-zeng, et al. New forms and development directions of whole grain products [J]. Farm Machinery, 2011, 22: 86-89
- [6] 张云忠,季旭东.青麦仁产业化初探[J].中国果菜,2007,6: 39-40
ZHANG Yun-zhong, JI Xu-dong. Industrialization of green wheat berry [J]. China Fruit Vegetable, 2007, 6: 39-40
- [7] 陈洁琼,宋江峰,何美娟,等.鲜食玉米籽粒中主要类胡萝卜素鉴定与含量分析[J].食品科学,2015,36(18):108-113
CHEN Jie-qiong, SONG Jiang-feng, HE Mei-juan, et al. Identification and analysis of carotenoids from different fresh corn grains [J]. Food Science, 2015, 36(18): 108-113
- [8] 刘琴,朱媛媛,白兴梁.不同种类大豆中大豆异黄酮含量及抗氧化性比较[J].北京工商大学学报:自然科学版,2013, 30(6):45-51
LIU Qin, ZHU Yuan-yuan, BAI Xing-liang. Comparison study on isoflavone content and antioxidant activity of different varieties of soybean [J]. Journal of Beijing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2013, 30(6): 45-51
- [9] Nayak B, Liu R H, Berrios J D J, et al. Bioactivity of antioxidants in extruded products prepared from purple potato and dry pea flours [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2011, 59(15): 8233-8243
- [10] 周嶷,王海鸥,孙艳辉,等.不同前处理和冻结方式对苹果片真空冷冻干燥效率及干制品品质的影响[J].现代食品科技,2016,32(12):218-224
ZHOU Di, WANG Hai-ou, SUN Yan-hui, et al. Effect of different pre-processing and freezing methods on the vacuum freeze-drying efficiency and dry products quality of apple slices [J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(12): 218-224
- [11] 高兴洋,安欣欣,赵立艳,等.真空低温油炸和真空冷冻干燥对香菇脆片品质及挥发性风味成分的影响[J].食品科学,2015,36(17):88-93
GAO Xing-yang, AN Xin-xin, ZHAO Li-yan, et al. Effects of vacuum frying versus freeze drying on quality and volatile components of shiitake (*Lentinula edodes*) chips [J]. Food Science, 2015, 36(17): 88-93
- [12] 宋振,木泰华,孙红男,等.不同干燥方法对甘薯茎叶粉物化特性的影响[J].现代食品科技,2015,31(5):255-261
SONG Zhen, MU Tai-hua, SUN Hong-nan, et al. Effect of different drying methods on physical properties of sweet potato leaf powder [J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31(5): 255-261
- [13] 高加龙,沈建,张超桦,等.真空冷冻干燥对牡蛎品质的影响[J].现代食品科技,2015,31(4):253-257
GAO Jia-long, SHEN Jian, ZHANG Chao-hua, et al. Effects of vacuum freeze-drying on the quality of the oyster *ostrea rivularis* [J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31(4): 253-257
- [14] 孙曙光,张新明,商显德,等.真空冷冻干燥技术在金丝小枣冻干纯粉生产中的应用[J].山东食品发酵,2012,1:38-40
SUN Shu-guang, ZHANG Xin-ming, SHANG Xian-de, et al. Freeze drying technology in *Ziziphus jujuba* 2. Freeze-dried powder production application [J]. Shandong Food Fermentation, 2012, 1: 38-40
- [15] 张康逸,屈凌波.鲜食全谷物加工技术研究进展[J].粮食加工,2015,40(6):1-5
ZHANG Kang-yi, QU Ling-bo. Research progress of whole grain processing technology [J]. Grain Processing, 2015, 40(6): 1-5
- [16] De-qiang REN, Yuan-yuan WU, Jian Z, et al. Correlation between carotenoids content and several quality traits of wheat varieties [J]. Agricultural Science & Technology, 2015, 16(9)
- [17] 章园,宋江峰,何美娟,等.黄玉米籽粒发育过程中类胡萝卜素与色泽的变化[J].食品科学,2015,36(19):77-82
ZHANG Yuan, SONG Jiang-feng, HE Mei-juan, et al. Changes in carotenoid content and color of yellow corn grain during development [J]. Food Science, 2015, 36(19): 77-82
- [18] 王萍,陈芹芹,毕金峰,等.超微粉碎对菠萝蜜超微全粉品质的影响[J].食品工业科技,2015,36(1):144-148
WANG Ping, CHEN Qin-qin, BI Jin-feng, et al. Influence of superfine grinding on quality characteristic of jackfruit powder [J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(1): 144-148
- [19] Kim S H, Choi Y J, Lee H, et al. Physicochemical properties of jujube powder from air, vacuum, and freeze drying and their correlations [J]. Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry, 2012, 55(2): 271-279
- [20] Caparino O A, Tang J, Nindo C I, et al. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine 'Carabao' var.) powder [J]. Journal of Food Engineering, 2012, 111(1): 135-148

- [21] 宁正祥.食品成分分析手册[M].北京:中国轻工业出版社, 1998
NING Zheng-xiang. Handbook of food component analysis [M]. Beijing: China Light Industry Press, 1998
- [22] GB/T 5009.5-2010,食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定[S]
GB/T 5009.5-2010, National food safety standard Determination of protein in foods [S]
- [23] Cho M A, Skidmore A K. A new technique for extracting the red edge position from hyperspectral data: The linear extrapolation method [J]. Remote Sensing of Environment, 2006, 101(2): 181-193
- [24] 杨芳,刘美艳,陈锦玉,等.超声提取云南甜荞籽粒总黄酮工艺研究[J].中国食品添加剂,2013,6:129-132
YANG Fang, LIU Mei-yan, CHEN Jin-yu, et al. Optimization of ultrasonic extraction of total flavonoids from sweet buckwheat seed in Yunnan [J]. China Food Additives, 2013, 6: 129-132
- [25] 李勇.食品冷冻加工技术[M].北京:化学工业出版社,2005
Li Yong. Frozen food technology [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005
- [26] 林捷,蒋姐,林晓静,等.炭布香芋真空冷冻干燥工艺研究[J]. 现代食品科技,2006,22(4):118-121
LIN Jie, JIANG Da, LIN Xiao-jing, et al. Investigation of vacuum freeze drying process of taro [J]. Modern Food Science and Technology, 2006, 22(4): 118-121
- [27] 刘玉环,焦扬,何利明.双孢蘑菇切片真空冷冻干燥工艺[J]. 中国蔬菜,2014,10:34-36
LIU Yu-huan, JIAO Yang, HE Li-ming. Studies on optimization of vacuum freeze drying technology for *Agaricusbisporus* slices [J]. China Vegetables, 2014, 10: 34-36
- [28] 钟葵,何杰,廖小军.热风干燥和冷冻干燥技术对胡萝卜片复水性和品质影响研究[J].食品工业科技,2003,s1:181-185
ZHONG Kui, HE Jie, LIAO Xiao-jun. Influence of hot air drying and freeze-drying technology on the absorbing water ability and quality of carrot slices [J]. Science and Technology of Food Industry, 2003, s1: 181-185
- [29] 张玉斌,余群力,聂志刚,等.浓缩牦牛骨汤真空冷冻干燥工艺实验研究[J].食品工业科技,2014,35(1):259-263
ZHANG Yu-bin, YU Qun-li, NIE Zhi-gang, et al. Experimental study on technology of vacuum freeze-drying of concentrated soup of yak bone [J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(1): 259-263

(上接第 42 页)

- [23] Shu Z, Lin H, Shi S, et al. Cell-bound lipases from *Burkholderia* sp. ZYB002: gene sequence analysis, expression, enzymatic characterization, and 3D structural model [J]. BMC Biotechnology, 2016, 16(1): 1-13
- [24] Tielen P, Kuhn H, Rosenau F, et al. Interaction between extracellular lipase LipA and the polysaccharide alginate of *Pseudomonas aeruginosa* [J]. BMC Microbiology, 2013, 13(1): 1-12
- [25] 张猛猛,黄敏,吴晓英,等.甜菜碱对 db/db 小鼠糖尿病肾病损伤的作用[J].现代食品科技,2014,30(5):23-27
ZHANG Meng-meng, HUANG Min, WU Xiao-ying, et al. Effects of betaine on diabetic nephropathy in db/db mice [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(5): 23-27
- [26] 张猛猛,田冰洁,洪秀云,等.纯化的绞股蓝皂苷的抗氧化活性研究[J].生物技术,2013, 23(1):76-78
ZHANG Meng-meng, TIAN Bing-jie, Hong Xiu-yun, et al. Antioxidative activity of gypenosides purified [J]. Biotechnology, 2013, 23(1): 76-78
- [27] Gordillo M A, Obradors N, Montesinos J L, et al. Stability studies and effect of the initial oleic acid concentration on lipase production by *Candida rugosa* [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 1995, 43(1): 38-41
- [28] Mhm P M F L, Jr S A G. Lipase location in *Yarrowia lipolytica* cells [J]. Biotechnology Letters, 2000, 22(1): 71-75
- [29] Kumano H, Sasaki T, Soyama H. Is induction of the exocellular lipase of *Xanthomonas maltophilia* NK7 by fats and detergents simply the result of continual detachment from the cell surface? [J]. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 1997, 13(6): 677-681

(上接第 198 页)

- [15] Kittipongpatana O S, Kittipongpatana N. Preparation and physicochemical properties of modified jackfruit starches [J]. LWT-Food Science and Technology, 2011, 44(8): 1766-1773
- [16] Betancur A D, Chel G L, Canizares H E. Acetylation and characterization of canavalia ensiformis starch [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1997, 45(2): 378-382