

改性工艺和干燥方法对代餐粉营养与功能组分的影响

林嘉聪¹, 邱丽青², 林志汉¹, 张 慜^{*2}

(1. 江苏新禾润世家食品有限公司, 江苏 镇江 212000; 2. 江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122)

摘要: 以不同的改性方法对代餐粉进行改性, 并且将改性后的代餐粉进行干燥, 研究不同改性工艺及干燥方法对代餐粉营养及功能组分的影响, 最终确定了代餐粉最佳的改性及干燥方法。结果表明, 酶解与发酵改性技术的联合使用提高了代餐粉中生物活性物质的质量分数及抗氧化活性。红外冷冻干燥比微波冷冻干燥有利于生物活性物质的保留, 且其干燥时间较短。因此, 酶解联合发酵改性技术及红外冷冻干燥更有利于代餐粉生物活性物质的保留。

关键词: 代餐粉; 改性; 干燥

中图分类号: TS 255.3 文章编号: 1673-1689(2024)02-0073-08 DOI: 10.12441/spyswjs.20230915002

Effects of Modification Process and Drying Method of Meal Substitute Powder on Its Nutritional / Functional Components

LIN Jiacong¹, QIU Liqing², LIN Zhihan¹, ZHANG Min^{*2}

(1. Jiangsu New Herunshijia Food Co., Zhenjiang 212000, China; 2. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: The meal substitute powder was modified by different modification methods, and the modified meal substitute powder was dried to study the effects of different modification methods and drying methods on the nutritional/functional components of meal substitute powder, and the best modification and drying methods are determined. The results showed that the enzymatic hydrolysis combined with fermentation modification technology was beneficial to improve the content of bioactive substances and the antioxidant activity of meal substitute powder. Compared with microwave freeze-drying, infrared freeze-drying is conducive to the retention of active substances, and its drying time is short. Therefore, enzymatic hydrolysis combined with fermentation modification technology and infrared freeze-drying are conducive to the retention of bioactive substances in meal substitute powder.

Keywords: meal substitute powder, modification, drying

随着人们生活节奏的加快以及生活水平的提高, 肥胖和“三高”等文明病也日渐加剧。目前, 方便

快捷、营养健康的代餐类食物, 正受到了越来越多的消费者认可^[1]。热量低、饱腹感强是营养代餐的主

收稿日期: 2023-09-15 修回日期: 2023-11-21

基金项目: 国家“十三五”重点研发计划项目(2017YFD0400901)。

* 通信作者: 张 慜(1962—), 男, 博士, 教授, 博士研究生导师, 主要从事农产品贮藏加工研究。Email: min@jiangnan.edu.cn

要特点,代餐类产品可通过降低能量摄入以实现控制体重的目的。代餐粉是一类由多种或一种原料粉经某种特定的加工处理方式,并且按照一定比例调配混合制成的冲调类即食制品^[2-4],具有低热量、低饱和脂肪酸、高膳食纤维、易饱腹等特点,且应满足营养均衡、适合长期食用等要求。因此,摄入代餐粉能够通过控制食物的摄入量来避免过度的能量摄入,从而实现减轻体脂的目的。现代医学证明,合理进食代餐食品对调节体质量、糖代谢和肠道菌群均有积极作用。目前,许多食品企业开始生产代餐粉,产品形式日渐丰富,如具有降血糖功能的莜麦苦荞高纤维杂粮代餐粉发展前景广阔^[5-6]。

代餐粉多为植物类产品,含有丰富的纤维素和果胶类物质,会影响口感和生物活性物质的释放。酶解是一种无污染、反应条件温和、能耗低的处理技术,可以破坏植物的细胞壁成分,充分释放出植物中的生物活性物质,提高其营养价值^[7]。

植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*)是一种革兰氏阳性细菌,其适宜生存的 pH 为 4.5~9.5。植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*)是一种兼性异菌种,能够以不同的碳源(葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、乳糖、L-山梨糖、木糖等)产酸^[8-9]。美国食品药品监督管理局和欧洲食品安全机构认证植物乳杆菌是一种存在于人类胃肠道中的安全的益生菌,对人体有多方面的保健作用,如防治肠易激综合征、平衡肠道微生态、抗糖尿病、减轻感冒症状、降低胆固醇等^[10]。

近年来,人们对功能食品的研究越来越重视^[11]。果蔬中含有丰富的膳食纤维、碳水化合物、矿物质、维生素和酚类等多种生物活性物质,是一种很好的乳酸发酵基质。另外,利用益生菌对植物基质进行发酵,可以提高发酵基质的感官、营养、贮藏和功能性等方面的品质。此外,通过对代餐粉进行发酵,可以有效抑制食品中一些致病菌的生长和繁殖,并促进有益菌的生长,因此代餐产品是一种有待开发的具有身体健康促进功能的食品^[12]。

经过预处理的代餐粉水分含量低,为保持其生物活性物质,需要采用合适的脱水方法对其进行干制处理,以期获得高品质的脱水代餐粉产品。红外和微波干燥属于介质加热,能缩短脱水时间及降低干燥能耗,并且有利于干制品的品质提高。作者以不同改性方法对代餐粉进行改性,选择最佳的改性方式进行脱水,以获得高品质脱水代餐粉产品。

1 材料与方法

1.1 实验材料

燕麦粉、薏米粉、红豆粉、芝麻粉、红枣粉、山药粉:江苏新禾润有限公司;超微玫瑰粉:山东华玫科技有限公司;桂花粉、茉莉花粉:义江缘食品有限公司;木糖醇、酵素粉、脱脂奶粉、食用香精:无锡大统华超市;化学试剂:均为分析纯,上海源叶生物科技有限公司。

1.2 代餐粉制作

按照以下配方进行复配,制作 3 种代餐粉。

1) 玫瑰花香酵素代餐粉 燕麦粉 4.5 g, 薏米粉 1 g, 红豆粉 1 g, 芝麻粉 0.5 g, 红枣粉 0.5 g, 山药粉 1 g, 桂花粉 1.5 g, 木糖醇 2.5 g, 酵素粉 0.2 g, 脱脂奶粉 2 g, 食用香精 0.1 g。

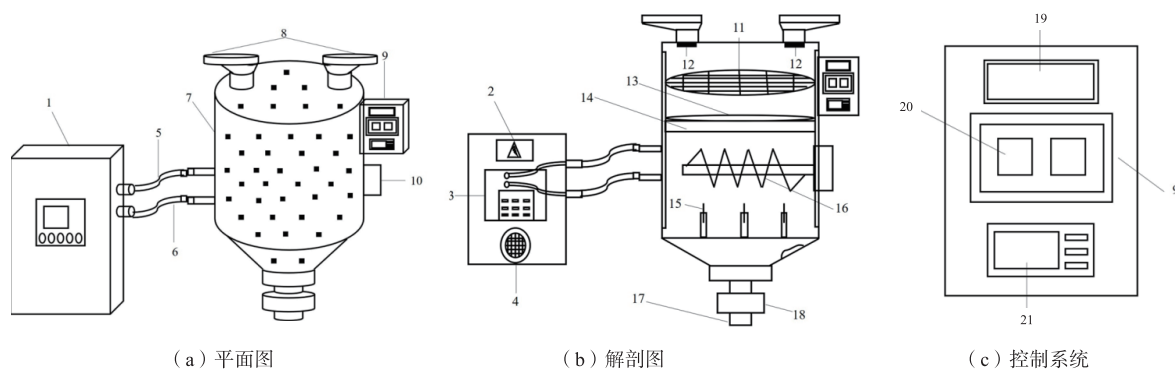
2) 桂花花香酵素代餐粉 燕麦粉 4.5 g, 薏米粉 1 g, 红豆粉 1 g, 芝麻粉 0.5 g, 红枣粉 0.5 g, 山药粉 1 g, 桂花粉 2 g, 木糖醇 2 g, 酵素粉 0.2 g, 脱脂奶粉 2 g, 食用香精 0.1 g。

3) 茉莉花香酵素代餐粉 燕麦粉 4.5 g, 薏米粉 1 g, 红豆粉 1 g, 芝麻粉 0.5 g, 红枣粉 0.5 g, 山药粉 1 g, 茉莉花粉 1.5 g, 木糖醇 2 g, 酵素粉 0.2 g, 脱脂奶粉 2 g, 食用香精 0.1 g。

将上述 3 种代餐粉用铝箔袋包装并且密封包装保存于室温。

1.3 代餐粉的智能温控混合配料过程

代餐粉的智能温控混合配料装置见图 1。拌料机的工作过程为:首先通过制冷系统的温度控制与显示设备设置风味代餐粉配料与混合过程所需要的温度(0~25℃);待搅拌仓温度达到设定值时,通过进料斗将物料输送到配料桶内。配料桶中安装有控制与显示系统,可用于粉末样品的精准进样。代餐粉配料通过筛网可对粉末的粒度进行筛选,筛选出的粉末在称重料斗上称质量,当质量达到设定值时,进料斗上的自动进料阀门将自动关闭,此时,在配料和搅拌仓之间的气动阀门将打开,将所称的物料输送到搅拌仓中,由搅拌蛟龙进行混合搅拌。搅拌仓内有温度传感器,当物料温度高于设定温度时,制冷机将开始工作,带走多余热量,维持代餐粉的风味与品质。当搅拌时间达到时,搅拌过程停止,电磁阀门将开启,代餐粉将通过出料口离开配料桶。将物料倒入进料斗按照上述描述过程进行代餐



1. 温度控制与显示设备;2. 高压电源;3. 制冷机;4. 马达;5. 进水管;6. 出水管;7. 配料桶;8. 进料斗;9. 配料桶控制与显示系统;10. 正反循环电机;11. 筛网;12. 自动进料阀门;13. 称重料斗;14. 气动阀门;15. 温度传感器;16. 搅拌蛟龙;17. 出料口;18. 电磁阀门;19. 显示屏;20. 控制器;21. 定时器。

图1 智能温控混合配料系统

Fig. 1 Intelligent temperature control mixed batching system

粉的拌料混合过程。

1.4 代餐粉的改性

1) 酶解 加入质量分数为1%的酶制剂(果胶酶与纤维素酶的质量比为2:3),用搅拌机使代餐粉与酶制剂充分混合均匀,加入2倍体积纯净水,调节混合物的pH为8.0,酶解5h后将pH回调至7.0。

2) 发酵 加入体积分数为1%的乳酸菌菌种,37℃发酵24h。

3) 酶解+发酵 将酶解后的样品进行发酵,制备样品。

1.5 代餐粉的干燥

对混合处理后代餐粉样品进行冷冻干燥(-40℃、8h)、红外冷冻干燥(-40℃、7h)、微波冷冻干燥(-40℃、6h)及热风干燥。

1.6 总酚质量分数测定

代餐粉的总酚质量分数测定依据Li等的方法^[13]并稍做修改。首先,将代餐粉充分研磨,并150目过筛。随后称1.00g粉末样品,与20mL体积分数为50%乙醇水溶液混合均匀,经超声提取(45kHz,300W)30min后,将提取液于3500r/min条件下离心10min,得到澄清透明的溶液。将离心液与20mL体积分数50%的乙醇溶液混合,对沉淀物进行二次提取,收集滤液,最后用体积分数50%乙醇将所得液体定容至50mL。提取液于4℃冷藏保存,24h内检测总酚质量分数和抗氧化指标。

采用福林-酚法测定了不同代餐粉中总酚类物质的质量分数。首先,将1mL不同的样本萃取物和5mL体积分数10%的福林酚试剂混合均匀。避光

静置10min后,将反应液与4mL质量分数7.5%的碳酸钠溶液混合均匀。所得的混合样液在25℃下于暗处静置60min,测量该混合液的吸光度(765nm)。以没食子酸作为参比物质,绘制标准曲线,总酚质量分数为每100g代餐粉干物质中的没食子酸质量(μg/g),每个样品测3次。

1.7 总花青素质量分数测定

用中药粉碎机分别将不同的代餐粉粉碎,过150目筛,取代餐粉2g,加入体积分数1.5%的酸化乙醇溶液(盐酸酸化),对混合物进行超声提取(45kHz,300W)20min,提取过程重复3次。随后,将提取液于5000r/min离心10min,并且经旋转浓缩得到代餐粉花青素粗提液^[14]。

以pH指示法测定代餐粉中花色苷的总量^[14]。在10mL的离心管中加入4mL花色苷萃取液,分别与6mL盐酸缓冲液(pH1.0)和乙酸缓冲液(pH4.5)混合均匀,分别测定样品在535nm和700nm处的吸光度,以蒸馏水为对照,见式(1)。

$$F_w = (A/\epsilon) \times M_r \times D \times V/W_t \quad (1)$$

式中: F_w 为花色苷的质量分数,μg/g; A 为吸光度, $A = (A_{535, \text{pH } 1.0} - A_{700, \text{pH } 1.0}) - (A_{535, \text{pH } 4.5} - A_{700, \text{pH } 4.5})$; ϵ 为矢车菊素-3-葡萄糖苷的消光系数,29600; L 为光程,1cm; M_r 为矢车菊3-葡萄糖苷的相对分子质量,449.2; D 为稀释倍数; V 为最终体积,mL; W_t 为样本的质量,g。

1.8 抗氧化活性测定

1.8.1 DPPH自由基清除率的测定 不同代餐粉样品DPPH自由基清除率的测试方法根据Guan等方

法并做适当修改^[15]。首先配制浓度为 0.5 mmol/L 的 DPPH 工作液。测定时,将 4 mL DPPH 乙醇溶液与 0.5 mL 的样品提取液混合后的样液作为实验组,4 mL DPPH 乙醇溶液与 0.5 mL 无水乙醇的混合溶液为对照,在室温下于黑暗中反应 30 min,以 517 nm 为吸收波长测定其吸光度,进行 3 次实验,DPPH 自由基的清除效率见式(2)。

$$S_{\text{DPPH}} = (1 - A_x / A_0) \times 100\% \quad (2)$$

式中: S_{DPPH} 为 DPPH 自由基清除能力,%; A_0 为空白对照组的吸光度; A_x 为样品吸光度。

1.8.2 ABTS 自由基清除率的测定 参照 Xu 等的方法测量样本 ABTS 的清除率^[16]。将 384 mg ABTS 粉在 100 mL 蒸馏水中溶解制得 ABTS 工作液,用 66 mg 过硫酸钾试剂在 100 mL 磷酸缓冲液中溶解,制得过硫酸钾溶液。将 2 种试剂混合,放置 24 h,制备 ABTS 自由基。在测试之前,试剂先用蒸馏水稀释,使其在 734 nm 波长下的吸光度达到 0.700 ± 0.020 。在实验中,用 6.0 mL ABTS 工作液充分混合 0.5 mL 提取液(试验组)或蒸馏水(对照),30 ℃下静置 15 min,在 734 nm 处进行吸光度的测量,每组实验重复 3 次。ABTS 自由基的清除率按见式(3)。

$$S_{\text{ABTS}} = (1 - A_x / A_0) \times 100\% \quad (3)$$

式中: S_{ABTS} 为 ABTS 自由基清除率,%; A_0 为空白对照组吸光度; A_x 为样本吸光度。

1.9 感官评定

消费者对产品的接受度会受花香酵素代餐粉的色泽、气味、组织状态、冲调性和口感等感官品质的影响,因此对代餐粉产品进行专业的感官评价具有十分重要的意义^[17]。10 名经过针对性培训的食品专业人员组成食品感官评定小组,感官得分主要是从产品的色泽、组织状态、气味和口感和冲调性等 5 个方面来衡量,评价标准见表 1^[18]。

1.10 统计分析

单因素方差分析(ANOVA)和 Duncan's 多重比较使用 SPSS 25.0 软件进行,图表绘制使用 Origin 2022 进行,结果以平均值 \pm 标准差表示。

2 结果与分析

2.1 不同改性方法对不同代餐粉总酚质量分数的影响

不同改性方式对代餐粉总酚质量分数的影响见图 2。相比于对照组,酶解与发酵处理可提高代餐

表 1 花香酵素代餐粉感官评分标准

Table 1 Sensory scoring standard of flower flavor enzyme meal substitute powder

项目	评价标准	分数
组织状态 (20 分)	样品细腻无明显杂质,无结块,不成团	15~20 分
	无结块,偶见粗粒杂质,略粗糙	10~15 分
	少许结块,有粗粒,有粗糙感	5~10 分
	霉变,结块,手捏成团,有粗粒	0~5 分
气味 (20 分)	有玫瑰香味及草莓香气,无异味	15~20 分
	有玫瑰香味及草莓香气,无异味	10~15 分
	无玫瑰香味、过浓或过淡,无异味	5~10 分
	有霉味、酸味或其他异味	0~5 分
色泽 (20 分)	呈红色,颜色明亮,色泽浓淡适宜	15~20 分
	色泽均匀,颜色较亮,稍浓或稍淡	10~15 分
	色泽较为均匀,过浓或过淡	5~10 分
	色泽不均匀,颜色淡,无亮感	0~5 分

粉中总酚质量分数。相比于单独的酶解和发酵处理,酶解联合发酵改性方式更加有利于代餐粉中总酚质量分数的上升。这可能是酶解破坏了细胞结构有利于生物活性物质的释放,增加了益生菌对这些有益物质的利用,提高了代餐粉总酚质量分数^[18]。

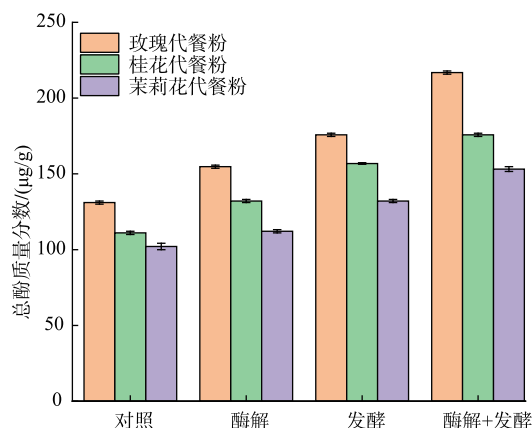


图 2 不同改性方式对代餐粉总酚质量分数的影响

Fig. 2 Effects of different modification methods on total phenol content of meal substitute powder

2.2 不同改性方法对不同代餐粉花青素质量分数的影响

不同改性方式对代餐粉总花青素质量分数的影响见图 3。相比于对照组,酶解与发酵处理可提高代餐粉中花青素的质量分数。相比于单独的酶解和发酵处理,酶解联合发酵改性方式更加有利于代餐粉中花青素质量分数的上升。这可能是酶解破坏了细胞结构有利于生物活性物质的释放,增加了益生

菌对这些有益物质的利用,提高了代餐粉中花青素质量分数^[19]。

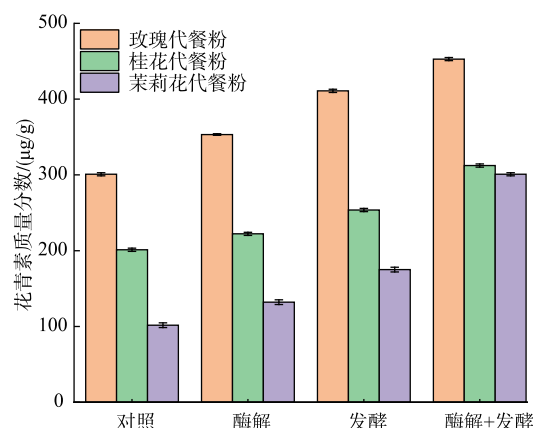


图3 不同改性方式对代餐粉总花青素质量分数的影响
Fig. 3 Effects of different modification methods on the content of total anthocyanins in meal substitute powder

2.3 不同改性方法对不同代餐粉 DPPH 自由基清除能力的影响

从图4可以看出,与对照组相比,酶解与发酵处理可增强代餐粉 DPPH 自由基清除能力。相比于单独的酶解和发酵处理,酶解联合发酵改性方式更加有利于代餐粉 DPPH 自由基清除率的增强。这可能是酶解破坏了细胞结构,有利于生物活性物质的释放,增加了益生菌对这些有益物质的利用,提高了代餐粉的花青素和总酚质量分数,提高了其 DPPH 自由基清除率^[20]。

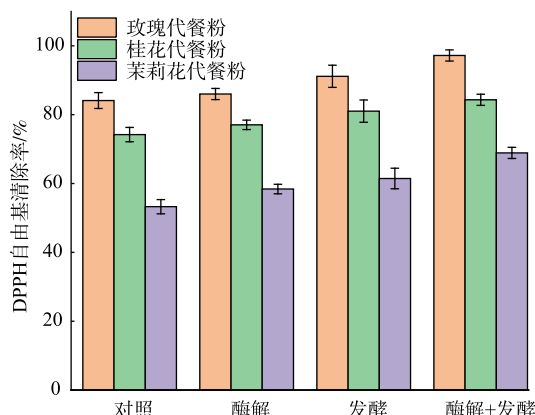


图4 不同改性方式对代餐粉 DPPH 自由基清除率的影响
Fig. 4 Effects of different modification methods on DPPH radical scavenging rate of meal substitute powder

2.4 不同改性方法对不同代餐粉 ABTS 自由基清除能力的影响

从图5可以看出,相比于对照组,酶解与发酵处理可提高代餐粉 ABTS 自由基清除能力。相比于单独的酶解和发酵处理,酶解联合发酵改性方式更加有利于代餐粉 ABTS 自由基清除率的增强。这可能是酶解破坏了细胞结构有利于生物活性物质的释放,增加了益生菌对这些有益物质的利用,提高了代餐粉的花青素和总酚质量分数,提高了其 ABTS 自由基清除率^[21]。

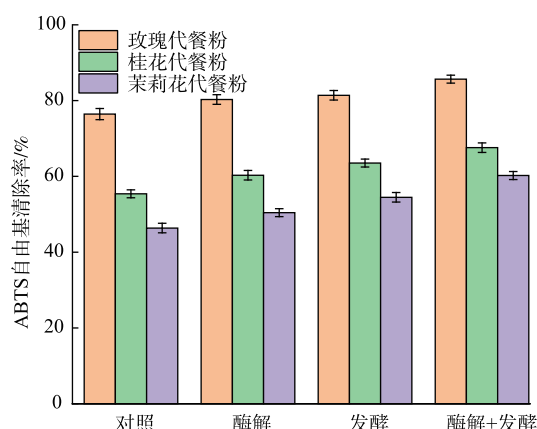


图5 不同改性方式对代餐粉 ABTS 自由基清除率的影响
Fig. 5 Effects of different modification methods on ABTS radical scavenging rate of meal substitute powder

2.5 不同干燥方法对酶解发酵联合改性代餐粉总酚质量分数的影响

代餐粉的总酚质量分数受到干燥方式的影响见图6。冷冻干燥最有利于代餐粉总酚质量分数的保留,红外冷冻干燥及微波冷冻干燥次之,热风干燥最不利于总酚物质的保留。这可能是由于在热风干燥过程中干燥温度较高且干燥时间较长^[22]。

2.6 不同干燥方法对酶解发酵联合改性代餐粉总花青素质量分数的影响

不同干燥方法对代餐粉总花青素质量分数的影响见图7。冷冻干燥最有利于代餐粉总花青素质量分数的保留,红外冷冻干燥及微波冷冻干燥次之,热风干燥最不利于总花青素的保留。这可能是在热风干燥过程中,干燥温度较高,且干燥时间较长导致的^[23]。

2.7 不同干燥方法对酶解发酵联合改性代餐粉 DPPH 自由基清除率的影响

从图8可以看出,冷冻干燥最有利于提高代餐

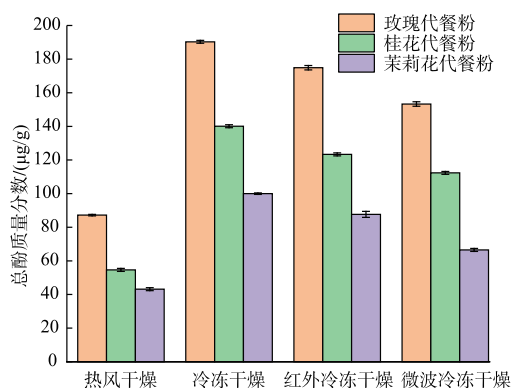


图 6 不同干燥方式对代餐粉总酚质量分数的影响

Fig. 6 Effects of different drying methods on total phenol content of meal substitute powder

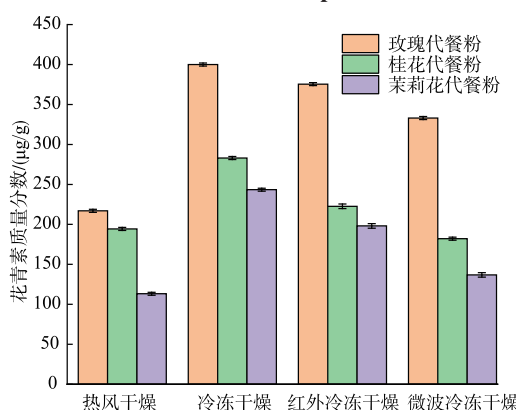


图 7 不同干燥方式对代餐粉总花青素质量分数的影响

Fig. 7 Effects of different drying methods on total anthocyanins content of meal substitute powder

粉 DPPH 自由基的清除率,红外冷冻干燥及微波冷冻干燥次之,热风干燥最不利于 DPPH 自由基的清除率的提高,这可能是在热风干燥过程中,干燥温度较高且干燥时间较长导致的^[24]。

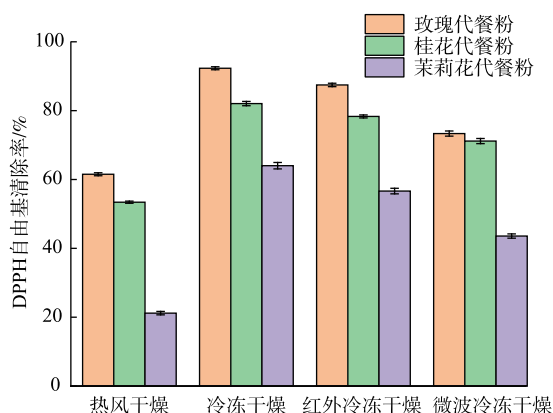


图 8 不同干燥方式对代餐粉 DPPH 自由基清除率的影响

Fig. 8 Effects of different drying methods on DPPH radical scavenging rate of meal substitute powder

2.8 不同干燥方法对酶解发酵联合改性代餐粉 ABTS 自由基清除率的影响

不同干燥方法对代餐粉总花青素质量分数的影响见图 9。可以看出,冷冻干燥最有利于提高代餐粉 ABTS 自由基的清除率,红外冷冻干燥及微波冷冻干燥次之,热风干燥最不利于 ABTS 自由基的清除率的提高。这可能是由于在热风干燥过程中干燥温度较高且干燥时间较长^[25]。

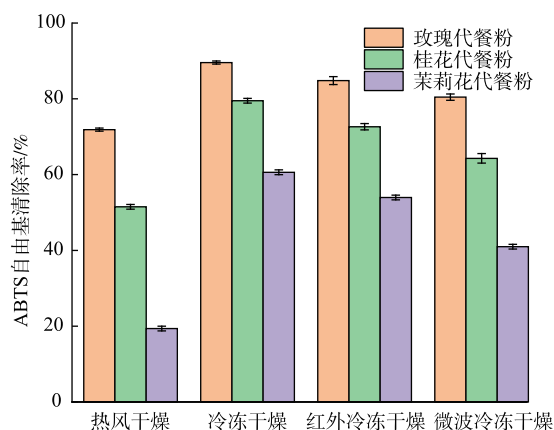


图 9 不同干燥方式对代餐粉 ABTS 自由基清除率的影响

Fig. 9 Effects of different drying methods on ABTS radical scavenging rate of meal substitute powder

2.9 不同干燥方法对酶解发酵联合改性代餐粉感官评分率的影响

不同干燥方法制得代餐粉的感官得分见表 2。可以看出,冷冻干燥最有利于提高代餐粉的感官得分,红外冷冻干燥及微波冷冻干燥次之,热风干燥最不利于代餐粉感官得分的提高。这可能是在热风干燥过程中,干燥温度较高且干燥时间较长导致的^[26]。

表 2 干燥方法对代餐粉感官得分的影响

Table 2 Effect of drying method on sensory score of meal substitute powder

干燥方法	玫瑰代餐粉 感官得分	桂花代餐粉 感官得分	茉莉花代餐粉 感官得分
热风干燥	3.93±0.11	4.32±0.12	4.09±0.22
冷冻干燥	9.76±0.12	9.54±0.22	9.32±0.10
红外冷冻干燥	8.76±0.01	8.43±0.11	8.12±0.31
微波冷冻干燥	7.65±0.21	7.65±0.34	8.01±0.63

2.10 不同干燥方法对酶解发酵联合改性代餐粉干燥时间的影响

不同干燥方法对代餐粉感官得分的影响见图

10。从图 10 可以看出,热风干燥时间最长,其次是冷冻干燥、红外冷冻干燥、微波冷冻干燥,因此可以选择红外冷冻干燥作为干燥方法。

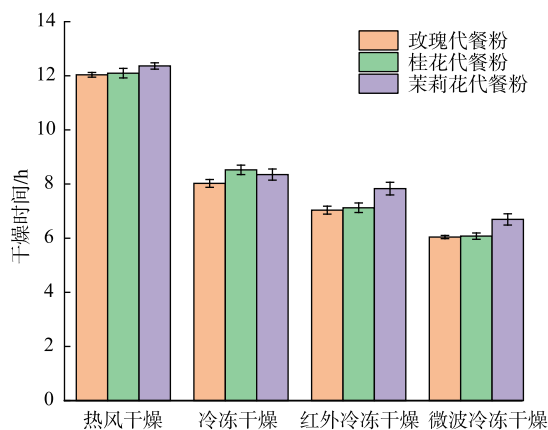


图 10 不同干燥方式对代餐粉干燥时间的影响

Fig. 10 Effects of different drying methods on drying time of meal substitute powder

参考文献:

- [1] ZHOU L J, YU C, CHENG B X, et al. Volatile compound analysis and aroma evaluation of tea-scented roses in China[J]. *Industrial Crops and Products*, 2020, 155: 112735.
- [2] BARANI Y H, ZHANG M, WANG B, et al. Influences of four pretreatments on anthocyanins content, color and flavor characteristics of hot-air dried rose flower[J]. *Drying Technology*, 2020, 38(15): 1988-1995.
- [3] 赵娇娇, 刘丹, 陈若瑀, 等. 苡麦苦荞高纤维杂粮降糖代餐粉的研制[J]. *粮食加工*, 2020, 45(5): 44-48.
ZHAO J J, LIU D, CHEN R Y, et al. Development of naked oats Tartary buckwheat high fiber grain hypoglycated meal substitute powder[J]. *Grain Processing*, 2020, 45(5): 44-48. (in Chinese)
- [4] 钟雪婷, 吴森, 康建平, 等. 杜仲雄花代餐粉的冲调性研究及血糖生成指数评价[J]. *农产品加工*, 2020(18): 15-19.
ZHONG X T, WU M, KANG J P, et al. Research of tonicity and glycemic index vivo test of Eucommia male flower meal replacement powder[J]. *Farm Products Processing*, 2020(18): 15-19. (in Chinese)
- [5] 田文静, 罗红霞, 林少华, 等. 代餐粉的研究进展[J]. *食品科技*, 2020, 45(9): 95-101.
TIAN W J, LUO H X, LIN S H, et al. Research progress of meal replacement powder[J]. *Food Science and Technology*, 2020, 45(9): 95-101. (in Chinese)
- [6] 羿月同, 张佳星, 贾铭杰, 等. 降血糖代餐饼干的研制[J]. *粮食与食品工业*, 2020, 27(4): 39-45.
YI Y T, ZHANG J X, JIA M J, et al. Development of hypoglycemic meal replacement biscuits[J]. *Cereal & Food Industry*, 2020, 27(4): 39-45. (in Chinese)
- [7] 苑璐, 冷凯良, 周余航, 等. 复合酶解法优化黄精多糖提取工艺[J]. *食品与生物技术学报*, 2017, 36(9): 996-1001.
YUAN L, LENG K L, ZHOU Y H, et al. Optimization of multi-enzymatic extraction process of polysaccharide from ploygonatum sibiricum[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2017, 36(9): 996-1001. (in Chinese)
- [8] 张群. 植物乳杆菌及其应用研究[J]. *食品与生物技术学报*, 2013, 32(3): 336.
ZHANG Q. Study on *Lactobacillus plantarum* and its application[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2013, 32(3): 336. (in Chinese)
- [9] 沈莲清, 苏光耀, 王向阳. 植物乳杆菌素研究进展[J]. *食品与生物技术学报*, 2006, 25(5): 121-126.
SHEN L Q, SU G Y, WANG X Y. Progress on plantaricin by *L. plantarum*[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2006, 25(5): 121-126. (in Chinese)
- [10] 张配豪. 代餐真能减肥吗[J]. *人民周刊*, 2020(15): 44-45.

3 结语

以不同的改性方法对代餐粉进行改性,并且将改性后的代餐粉进行干燥,研究不同改性方法及干燥方法对代餐粉营养及功能组分的影响,找出代餐粉最佳的改性及干燥方法。研究显示,酶解和发酵改性组合技术可显著提高代餐粉中生物活性物质及抗氧化活性。红外冷冻干燥比微波冷冻干燥更有利于生物活性物质的保留,且其干燥能耗较低。因此,酶解联合发酵改性技术及红外冷冻干燥有利于代餐粉生物活性物质的保留。

- ZHANG P H. 代餐真能减肥吗[J]. **People's Weekly**, 2020(15):44-45. (in Chinese)
- [11] 郝帅, 秦玉, 王成涛. 功能食品藻蓝蛋白的生理活性研究进展[J]. **食品与生物技术学报**, 2017, 36(12):1233-1240.
- HAO S, QIN Y, WANG C T. Research progress of the physiological activity of functional food phycocyanin[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2017, 36(12):1233-1240. (in Chinese)
- [12] 甘聃. 快速分散型大豆分离蛋白代餐粉配方研究[J]. **中国食物与营养**, 2020, 26(5):48-51.
- GAN D. A formula of fast dispersing meal replacement powder based on soy protein isolate[J]. **Food and Nutrition in China**, 2020, 26(5):48-51. (in Chinese)
- [13] LI H, YAO X L, YING ZW, et al. Rheological and tribological characteristics of mung bean-rice porridge and its impact on sensory evaluation[J]. **International Journal of Food Properties**, 2020, 23(1):1490-1505.
- [14] SU Y, ZHANG M, BHANDARI B, et al. Enhancement of water removing and the quality of fried purple-fleshed sweet potato in the vacuum frying by combined power ultrasound and microwave technology[J]. **Ultrasonics Sonochemistry**, 2018, 44:368-379.
- [15] GUAN Q, DING X W, JIANG R, et al. Effects of hydrogen-rich water on the nutrient composition and antioxidative characteristics of sprouted black barley[J]. **Food Chemistry**, 2019, 299:125095.
- [16] XU Z Y, MEENU M, XU B J. Effects of UV-C treatment and ultrafine-grinding on the biotransformation of ergosterol to vitamin D₂, physicochemical properties, and antioxidant properties of shiitake and Jew's ear[J]. **Food Chemistry**, 2020, 309:125738.
- [17] 宋佳慧, 夏熠珣, 徐菲菲, 等. 牛奶脂肪对不同烘焙程度咖啡感官品质的影响[J]. **食品与生物技术学报**, 2023, 42(7):53-61.
- SONG J H, XIA Y X, XU F F, et al. Effect of milk fat on sensory quality of coffee with different degrees of roast[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2023, 42(7):53-61. (in Chinese)
- [18] SU Y, GAO J Y, CHEN Y, et al. Evaluation of the infrared frying on the physicochemical properties of fried apple slices and the deterioration of oil[J]. **Food Chemistry**, 2022, 379:132110.
- [19] ZHOU J, LIXG, DUJZ, et al. Conversion of phenolic mixture to refractory resins: a resourceization strategy for phenolic distillation residues[J]. **Journal of Hazardous Materials**, 2021, 414:125357.
- [20] LI W, YU J H, ZHANG J, et al. Formation of A-type anthocyanin-epicatechin dimers by model reactions of anthocyanin extracts and epicatechin[J]. **LWT-Food Science and Technology**, 2021, 146:111475.
- [21] SONG N, ZHONG M X, XU J Q, et al. Single-atom iron confined within polypyrrole-derived carbon nanotubes with exceptional peroxidase-like activity for total antioxidant capacity[J]. **Sensors and Actuators B: Chemical**, 2022, 351:130969.
- [22] YOU Y, KANG T, JUN S. Control of ice nucleation for subzero food preservation[J]. **Food Engineering Reviews**, 2021, 13(1):15-35.
- [23] FALLEHH, BEN JEMAA M, SAADAM, et al. Essential oils: a promising eco-friendly food preservative[J]. **Food Chemistry**, 2020, 330:127268.
- [24] NIDA S, MOSES J A, ANANDHARAMAKRISHNAN C. Isochoric freezing and its emerging applications in food preservation [J]. **Food Engineering Reviews**, 2021, 13(4):812-821.
- [25] LIU D, GU W M, WANG L, et al. Photodynamic inactivation and its application in food preservation[J]. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 2023, 63(14):2042-2056.
- [26] 李娜. 预制调理葱油米饼的研制[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2015.