

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2022.90002

# 紫淮山粉对馒头品质及抗氧化活性的影响

## Effects of purple yam powder on the quality and antioxidant activity of steamed bread

史豫茹<sup>1,2</sup> 郑宗平<sup>1,2</sup> 郭凤仙<sup>1,2</sup> 陈阳<sup>3</sup> 李金贵<sup>4</sup>SHI Yu-ru<sup>1,2</sup> ZHENG Zong-ping<sup>1,2</sup> GUO Feng-xian<sup>1,2</sup> CHEN Yang<sup>3</sup> LI Jin-gui<sup>4</sup>

(1. 福建省海洋藻类活性物质制备与功能开发重点实验室, 福建 泉州 362000;

2. 泉州师范学院海洋与食品学院, 福建 泉州 362000; 3. 福建省农业科学院农业生物资源研究所, 福建 福州 350003; 4. 泉州市芹峰淮山食品有限公司, 福建 泉州 362500)

(1. Fujian Province Key Laboratory for the Development of Bioactive Material from Marine Algae, Quanzhou, Fujian 362000, China; 2. College of Oceanology and Food Science, Quanzhou Normal University, Quanzhou, Fujian 362000, China; 3. Agricultural BioResources Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou, Fujian 350003, China; 4. Quanzhou Qinfeng Chinese Yam Food Co., Ltd., Quanzhou, Fujian 362500, China)

**摘要:**目的: 研究紫淮山全粉在中式面点中的应用。方法: 以紫淮山全粉不同比例替代小麦粉制作馒头, 通过测定馒头的比容、径高比、色差、质构、老化程度、含水量、营养成分和感官评定等指标, 分别考察紫淮山全粉的添加量对馒头品质的影响, 同时通过测定 DPPH 自由基清除能力探讨添加淮山全粉的馒头的抗氧化能力。结果: 随着紫淮山全粉添加量的增加, 馒头的比容、径高比和脂肪呈下降趋势, 色差和蛋白质呈增加趋势, 含水量呈先上升后下降的趋势; 添加紫淮山全粉也有助于延缓馒头的老化程度; 另一方面, DPPH 自由基清除能力随着紫淮山全粉的添加量的增加呈上升趋势。结论: 添加紫淮山全粉对于馒头的品质有一定的改善作用, 并增加了紫淮山馒头的抗氧化性。

**关键词:** 紫淮山; 全粉; 馒头; 质构; 营养成分; 清除自由基

**Abstract: Objective:** The powder of purple yam was used as raw materials to replace part of wheat flour and then was applied to the production of steamed bread. The effects of purple yam flour on the quality and antioxidant activity of steamed bread were studied. **Methods:** The effect of different amount of purple yam powder on the texture and quality of steamed bread were investi-

gated by measuring the specific volume, diameter-to-height ratio, color difference, texture, aging degree, moisture content, nutrient content and sensory evaluation. Moreover, the antioxidant capacity of steamed bread with purple yam powder was studied by measuring DPPH radical scavenging capacity. **Results:** The specific volume, diameter-to-height ratio and fat of steamed bread decrease, the color difference and protein increase, and the moisture content increased first and then decreased with the increasing amount of purple yam powder. Meanwhile, the addition of purple yam powder could help to delay the aging degree of steamed bread. On the other hand, the ability of DPPH radical scavenging rate for steamed bread showed an upward trend with the increase amount of purple yam powder. **Conclusion:** The addition of purple yam powder could improve the quality and the antioxidant activity of steamed bread. The research results could provide a scientific reference for improving the comprehensive utilization of purple yam powder and developing new functional steamed bread.

**Keywords:** purple yam; powder; steamed bread; texture; nutritional composition; DPPH radical scavenging rate

**基金项目:** 福建省星火项目(编号: 2021s0040); 福建省自然科学基金(编号: 2018J01440); 泉州市高层次人才创新创业项目(编号: 2018C041)

**作者简介:** 史豫茹, 女, 泉州师范学院在读本科生。

**通信作者:** 郑宗平(1976—), 男, 泉州师范学院教授, 硕士生导师, 博士。E-mail: zzpsea@qztc.edu.cn

**收稿日期:** 2021-10-12

紫淮山又称紫参薯、紫山药等<sup>[1]</sup>, 为淮山的特殊品种, 除含有一般的白淮山所具有的成分外, 还富含花色苷<sup>[2]</sup>, 具有抗衰老、增强免疫力等保健功能<sup>[3]</sup>。新鲜淮山含水量高, 容易发霉腐烂, 不易贮藏。淮山全粉由新鲜淮山经加工和干燥制成, 较好地保留了营养和活性成分, 易于贮运, 不仅可以作为固体冲泡产品, 还能用作各种淮山

产品的原料<sup>[4]</sup>。

馒头作为中国传统主食,口味比较单一。随着生活水平和健康意识的提高,人们对主食的需求越来越注重其营养和保健功能。近年来将具有营养价值和保健作用的杂粮粉添加到馒头中以获得功能上的改善,受到了学者们的广泛关注。李维颖等<sup>[5]</sup>以山药粉和魔芋精粉为添加物,制作山药魔芋保健馒头;石晶红等<sup>[6]</sup>研究了山药薏米芡实混合粉对小麦粉加工品质的影响;郑玉娇等<sup>[7]</sup>研究了面粉特性对荞麦馒头预拌粉品质的影响。但到目前为止,尚未见紫淮山粉对馒头品质及抗氧化性影响的相关报道。

研究拟通过添加不同比例的紫淮山全粉替代相应比例的中筋小麦粉,以对馒头的比容、径高比、色差、质构、老化程度、含水量、营养成分等为指标,考察紫淮山粉对馒头质构及品质的影响,同时测定 DPPH 自由基清除能力探讨添加紫淮山全粉馒头的抗氧化能力,旨在为紫淮山全粉在中式面点中的应用提供理论依据和技术参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与仪器

紫淮山全粉:德化县泰生元农业综合开发公司;

中筋小麦粉:潍坊风筝面粉有限责任公司;

酵母、馒头改良剂(酵母伴侣):安琪酵母股份有限公司;

甲醇、1,1-二苯基-2-三硝基苯胍、无水乙醇、石油醚、硼酸、氢氧化钠、盐酸、甲基红、溴甲酚绿、硫酸铜、硫酸钾、浓硫酸:分析纯,西陇科学股份有限公司;

食物物性分析仪:TA-XT Plus 型,英国 SMS 公司;

中式电蒸锅:MZ-ZG28POWER50 型,广东美的生活电器制造有限公司;

面包机:BN13528-3C 型,广东东菱电器有限公司;

电子数显卡尺:JS20F150 型,浙江德清盛泰芯电子科技有限公司;

全自动色差计:ADCI 型,北京辰泰克仪器技术有限公司;

酶标仪:Infinite M200 Pro 型,瑞士帝肯公司;

索氏抽提器:SXT-06 型,上海力辰科技有限公司;

高速冷冻离心机:GL-20G 型,上海安亭科学仪器厂;

数显恒温水浴锅:HH-4A 型,国华电器有限公司;

石墨消解仪:SH220F 型,山东海能科学仪器有限公司;

自动凯氏定氮仪:K9840 型,山东海能科学仪器有限公司。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 馒头制备

(1) 淮山馒头工艺流程:

紫淮山全粉、中筋小麦粉、水、馒头改良剂混合→和面→第一次醒发→成型→第二次醒发→蒸制→冷却→

成品

(2) 基本组成:每 100 g 混合粉,初始加水量 50 mL,酵母添加量 1 g,分别用 0%,5%,10%,15%,20%的紫淮山全粉代替中筋小麦粉,根据多次试验摸索,紫淮山全粉添加量 5%,10%,15%,20%时对应的加水量分别为 52.5,55.0,60.0,65.0 g。

(3) 制作过程:用 33 ℃ 的温水活化酵母,然后将中筋小麦粉和紫淮山全粉按照一定比例混合后加入活化的安琪酵母,在面包机中和面 10 min,直至面团表面光滑不粘手且有弹性。把和好的面团在发酵箱中发酵 40 min,至面团体积增长一倍且内部蜂窝状均匀。取出发酵好的面团,揉搓排气,至切断面看不到明显蜂窝状,然后将面团切分成大小均匀、质量相等的馒头胚。将馒头胚放置室温下醒发 15 min。将醒发好的馒头胚蒸制 25 min。蒸制完成后焖制 5 min,取出,盖上略微湿润的纱布,室温下自然冷却 1 h,进行馒头指标测定。

1.2.2 馒头比容测定 先用电子天平称蒸熟的馒头质量,再用小米替换法测其体积。同一样品测定 2 次,相差值≤10 mL 时取平均值,反之需重新测定<sup>[8]</sup>。按式(1)计算馒头比容。

$$\lambda = V/M, \quad (1)$$

式中:

$\lambda$ ——馒头比容, mL/g;

$V$ ——馒头体积, mL;

$M$ ——馒头质量, g。

1.2.3 馒头径高比测定 参照文献<sup>[9]</sup>。用游标卡尺测馒头直径和高度,馒头径高比即直径与高度之比,同一馒头上,直径和高度均采取 3 个不同的点进行测量,按式(2)计算馒头径高比。

$$R = D/H, \quad (2)$$

式中:

$R$ ——馒头径高比;

$D$ ——馒头直径的平均值, mm;

$H$ ——馒头高度的平均值, mm。

1.2.4 馒头色差测定 利用色差计对馒头表皮 3 个不同位置测定  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值,按式(3)计算馒头色差<sup>[10]</sup>。

$$\Delta E = \sqrt{(L_{\text{样品}}^* - L_{\text{空白}}^*)^2 + (a_{\text{样品}}^* - a_{\text{空白}}^*)^2 + (b_{\text{样品}}^* - b_{\text{空白}}^*)^2}, \quad (3)$$

式中:

$\Delta E$ ——色差值;

$L^*$ ——亮度(+表示偏亮,-表示偏暗);

$a^*$ ——红绿值(+表示偏红,-表示偏绿);

$b^*$ ——黄蓝值(+表示偏黄,-表示偏蓝)。

1.2.5 馒头质构测定 馒头分别放置 1,24,48 h 后,切取馒头中心部位 20 mm,用 TA-XT Plus 食物物性分析仪测定馒头的质构<sup>[6]</sup>。探头类型 P/36R,测定参数:测试前、

测试中、测试后速度均为 1.0 mm/s,压缩比 50%,压缩间隔 1 s,感应力 Auto-0.049 N。

1.2.6 馒头老化程度测定 馒头的抗老化效果与馒头的硬化速率、弹性值变化、回复值变化呈负相关性,即馒头硬化速率、弹性值、回复值变化越大其抗老化效果越差<sup>[11]</sup>,通过测定馒头放置 24, 48 h 时硬化速率、弹性值、回复值的变化情况研究其老化程度。

1.2.7 馒头含水量测定 采用直接干燥法<sup>[12]</sup>。

1.2.8 馒头营养成分测定

(1) 蛋白质:采用凯氏定氮法<sup>[13]</sup>。

(2) 脂肪:采用索氏抽提法<sup>[14]</sup>。

1.2.9 馒头抗氧化能力测定

(1) 馒头醇提取液的制备:准确称取 0.5 g 馒头样品,加入 10 mL 80% 甲醇溶液,置于 100 r/min 的摇床中提取 2 h,然后超声波辅助提取 30 min,在 4 000 r/min 条件下离心 15 min,上清液即为紫淮山馒头提取液<sup>[15]</sup>。

(2) DPPH 自由基清除能力测定:参照 Xiao 等<sup>[16]</sup>的方法,修改如下:称取 1.971 6 mg DPPH 粉末,乙醇定容

至 50 mL,倒入棕色瓶中 4 ℃ 保存。按式(4)计算 DPPH 自由基清除率。

$$S = \frac{A_0 - (A_1 - A_2)}{A_0} \times 100\%, \quad (4)$$

式中:

S——DPPH 自由基清除率, %;

$A_0$ ——100  $\mu$ L DPPH 溶液和 100  $\mu$ L 乙醇溶液混合液的吸光度;

$A_1$ ——100  $\mu$ L DPPH 溶液和 100  $\mu$ L 样液混合液的吸光度;

$A_2$ ——100  $\mu$ L 样液和 100  $\mu$ L 乙醇溶液混合液的吸光度。

1.2.10 馒头的感官评定 参照 GB/T 35991—2018 附录 B,将气味、色泽、外观、结构、口感与黏性与弹韧性的评分分值做了调整,6 个项目的评分标准中的文字表述都添加了紫淮山的相关特性的评价,对馒头进行感官评分,由 10 位受过感官评价训练的同学组成评价小组进行评分,具体评分标准见表 1。

表 1 淮山馒头评分标准

Table 1 Standard of sensory testing for yam steamed bread

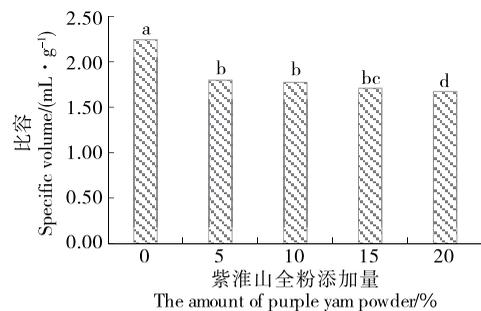
气味	色泽	外观	结构	口感与黏性	弹韧性
馒头在自身香气的基础上有紫淮山的香气且香气适中(8~10)	颜色亮丽均匀(11~15)	挺立饱满,表面光滑(11~15)	纵切面气孔均匀且大小适中(16~20)	馒头细腻无颗粒感且较爽口(16~20)	按压后馒头表面迅速弹起且在咀嚼时具有良好的嚼劲(16~20)
馒头自身香气偏重或淮山的香气偏重(4~7)	颜色暗稍不均匀(6~10)	轻微塌陷、表面微皱,有轻微收缩现象(6~10)	纵切面气孔大小略不均匀或者分布略不均匀(11~15)	可轻微感受到颗粒感,咀嚼时稍微粘牙(11~15)	按压后馒头表面形成轻微凹陷或者弹起速度极慢或者嚼劲适中(11~15)
几乎无淮山香气或者紫淮山香气完全将馒头本身气味覆盖或者有异味(1~3)	颜色灰暗不均匀(1~5)	萎缩,与其造型不一致(1~5)	纵切面气孔大小相差很大且分布十分不均匀(1~10)	颗粒感较强,在咀嚼过程中粘牙(1~10)	按压后馒头表面形成凹陷且嚼劲较差(1~10)

1.2.11 数据处理 所有试验重复 3 次,用 Excel 2010 统计试验数据和作图,结果用平均值±标准差表示,使用 SPSS 22.0 软件进行差异性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 紫淮山全粉添加量对馒头品质的影响

2.1.1 比容 由图 1 可知,随着紫淮山全粉添加量的增加,馒头的比容整体呈下降趋势。添加量为 20% 的馒头比对照组(0% 添加量)降低了 25.4%,当添加量为 5%, 10%, 15% 时,比容无显著性差异。添加紫淮山全粉馒头的比容下降,可能与其含有的膳食纤维有关,膳食纤维影响面团的发酵,使体积减小,从而减小了蒸发面积;同时,膳食纤维的持水力较强也导致水分难以蒸出,较多的水分最终使馒头质量增大。此外,膳食纤维的添加也会影响面筋的形成,使面团的持气性降低,难以保留膨胀后的



字母不同表示紫淮山粉添加量不同样品的比容差异显著( $P < 0.05$ )

图 1 紫淮山全粉添加量对馒头比容的影响

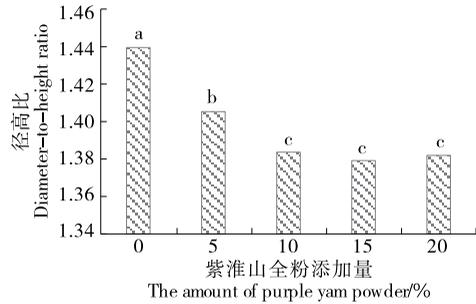
Figure 1 The effects of the amount of purple yam powder on the specific volume of steamed bread

气体,从而使馒头的体积减小<sup>[17]</sup>。

2.1.2 径高比 由图 2 可知,随着紫淮山全粉添加量的增加,馒头的径高比整体呈下降趋势,原因是面团中的湿面筋含量越高,所蒸制的馒头的径高比越小<sup>[9]</sup>。紫淮山全粉添加量为 15% 时,馒头的径高比值比对照组降低了 4.2%;当紫淮山全粉添加量为 10%,15%,20% 时,径高比无显著性差异。

2.1.3 色差 由表 2 可知,随着紫淮山全粉添加量的增加,馒头的  $L^*$  值和  $b^*$  值显著下降, $a^*$  值显著增大,说明添加量越大,馒头的色泽越暗,馒头的颜色偏向蓝色,可能是由紫淮山全粉中含有花青素造成的<sup>[18]</sup>。 $\Delta E$  值随添加量的增加而增大,说明馒头的整体色泽因紫淮山全粉添加量的增加而与对照组之间的差异越来越大。

2.1.4 质构 图 3 显示紫淮山全粉不同添加量对馒头质构的影响,馒头的硬度、胶着性、咀嚼性和回复性随添加量的增加而增大,弹性随添加量的增加先增大后减小,但整体呈增大趋势,内聚性随添加量的增加先减小后增大,但整体呈增大趋势。紫淮山全粉中的膳食纤维具有较强的吸水性,使馒头中的含水量增加,导致其硬度等指标整



字母不同表示紫淮山粉添加量不同样品的径高比差异显著 ( $P < 0.05$ )

图 2 紫淮山全粉添加量对馒头径高比的影响

Figure 2 The effects of the amount of purple yam powder on diameter to height ratio of steamed bread

体呈增大趋势;同时,膳食纤维也会影响面筋的网络结构,使馒头中的气孔排列得紧密,从而导致其硬度等其他指标整体呈增大趋势。

2.1.5 老化过程 馒头的老化具体表现为硬度增加、弹性和咬劲下降,其中,硬度、弹性和回复值的变化直接反映馒头老化程度<sup>[19]</sup>。由图 4 可知,放置 24,48 h 时,紫淮

表 2 紫淮山全粉添加量对馒头色差的影响<sup>†</sup>

Table 2 The effects of the amount of purple yam powder on the color difference of steamed bread

紫淮山全粉添加量/%	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E$
0	85.36±0.48 <sup>a</sup>	-2.28±0.37 <sup>e</sup>	23.65±0.23 <sup>a</sup>	—
5	76.96±0.22 <sup>b</sup>	2.63±0.36 <sup>d</sup>	19.47±0.24 <sup>b</sup>	10.60±0.34 <sup>d</sup>
10	68.97±0.51 <sup>c</sup>	5.69±0.07 <sup>c</sup>	16.50±0.20 <sup>c</sup>	19.58±0.40 <sup>c</sup>
15	64.17±0.12 <sup>d</sup>	7.45±0.24 <sup>b</sup>	15.17±0.12 <sup>d</sup>	24.80±0.07 <sup>b</sup>
20	59.85±0.71 <sup>e</sup>	11.01±0.46 <sup>a</sup>	11.86±0.24 <sup>e</sup>	31.09±0.86 <sup>a</sup>

† 同列字母不同表示紫淮山粉添加量不同样品之间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

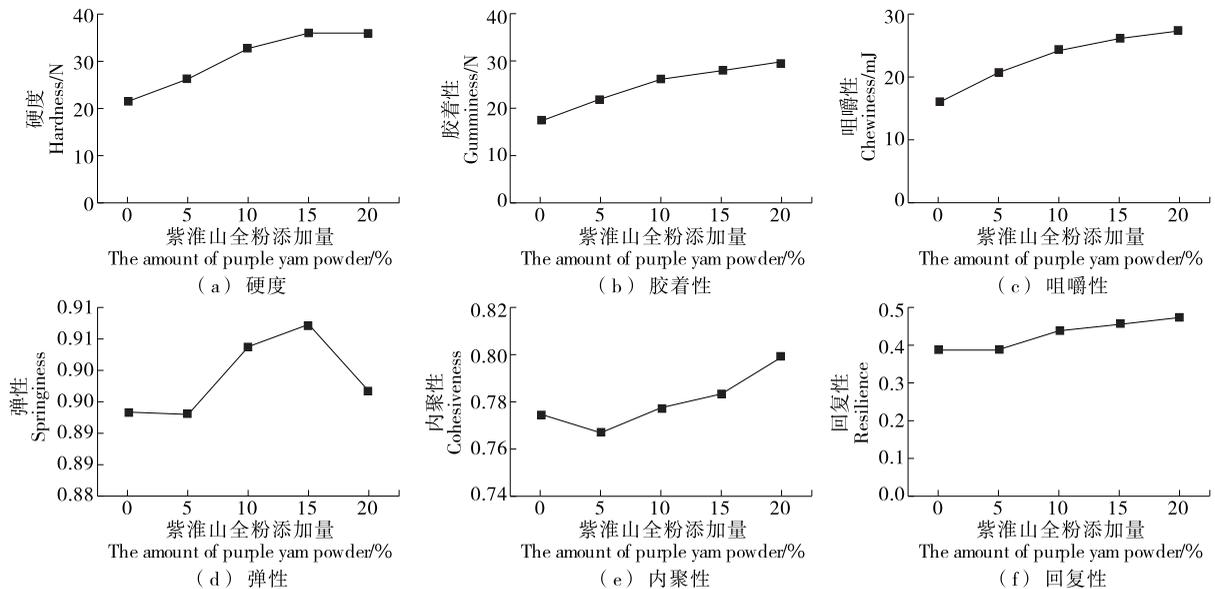


图 3 紫淮山全粉添加量对馒头质构的影响

Figure 3 The effects of the amount of purple yam powder on texture of steamed bread

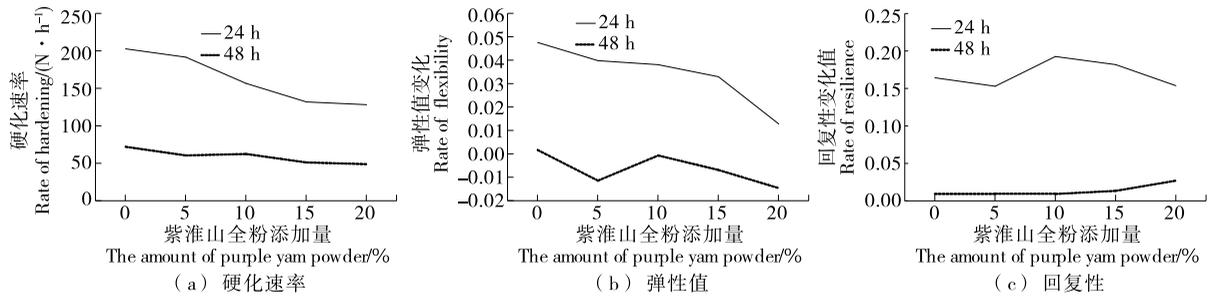
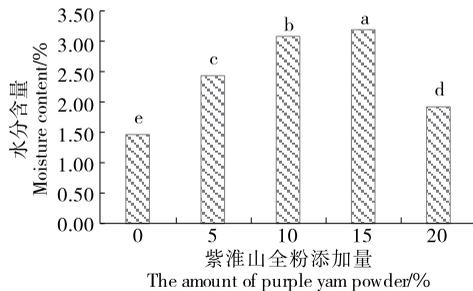


图4 紫淮山全粉添加量对馒头老化过程的影响

Figure 4 The effects of the amount of purple yam powder on the aging process of steamed bread

山全粉不同添加量的馒头其硬化速率较对照组均减小;不同添加量的馒头其弹性整体呈下降趋势;不同添加量的馒头其回复值整体呈上升趋势。可见,添加紫淮山全粉延缓了馒头的老化,紫淮山全粉具有较强的吸水性和持水性,持水性可以使馒头中水分不易流失,且阻碍水分的扩散,从而延缓了馒头的老化<sup>[20]</sup>。

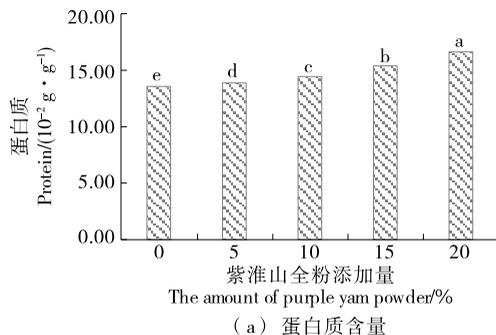
2.1.6 含水量 由图5可知,随着紫淮山全粉添加量的增加,馒头的含水量呈先增加后下降的趋势,可能是紫淮山全粉中的多酚、膳食纤维等物质具有较好的亲水能力,增加了面团与水的结合力;但随着紫淮山全粉添加量的增加,由于紫淮山全粉与小麦粉的颗粒度存在差别,不



字母不同表示紫淮山粉添加量不同样品的含水量差异显著 ( $P < 0.05$ )

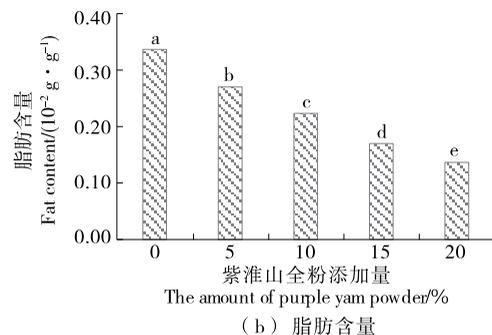
图5 紫淮山全粉添加量对馒头含水量的影响

Figure 5 The effects of the amount of purple yam powder on the moisture content of steamed bread



(a) 蛋白质含量

字母不同表示紫淮山粉添加量不同样品之间差异显著 ( $P < 0.05$ )



(b) 脂肪含量

图6 紫淮山全粉添加量对馒头营养成分的影响

Figure 6 The effects of the amount of purple yam powder on the nutrient content of steamed bread

能很好地与面团形成均一的体系,水分散失较快,导致含水量有所下降<sup>[21]</sup>。

2.1.7 营养成分 由图6(a)可知,随着紫淮山全粉添加量的增加,馒头的蛋白质含量呈增大趋势。添加紫淮山全粉的馒头其蛋白质含量显著高于对照组 ( $P < 0.05$ ),其中添加量为20%时馒头蛋白质含量为16.62 g/100 g,比对照组增加了22.48%。由图6(b)可知,随着添加量的增加,馒头的脂肪含量整体呈下降趋势。添加紫淮山全粉的馒头其脂肪含量显著低于对照组 ( $P < 0.05$ ),其中添加量为20%时脂肪含量为0.14 g/100 g,相比对照组降低58.82%,当添加量为5%时,脂肪含量相比对照组降低最少,为17.65%。当紫淮山全粉添加量为5%,10%,15%,20%时,相比对照组的脂肪含量均存在显著性差异 ( $P < 0.05$ ),且不同添加量之间也存在显著性差异 ( $P < 0.05$ )。

2.1.8 感官品质 由表3可知,添加量20%时馒头评分为91.10,其他添加量的馒头综合评分比对照组均有所提高,是因为紫淮山全粉与面粉相比,具有更好的气味、色泽、外观和弹韧性。从表3可以看出,随着添加量的增加,其整体评分越高。

## 2.2 紫淮山全粉添加量对馒头抗氧化能力的影响

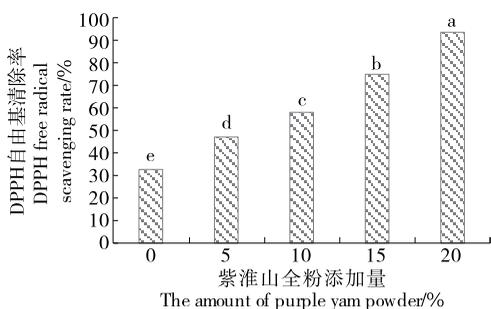
由图7可知,随着紫淮山全粉添加量的增加,馒头的DPPH自由基清除率整体呈增大趋势,可能与紫淮山全粉中含有丰富的花色苷、多酚等抗氧化物质有关。添加紫淮山全粉的馒头对DPPH自由基的清除能力与对照

表 3 紫淮山全粉添加量对馒头感官品质的影响<sup>†</sup>

Table 3 The effects of the amount of purple yam powder on sensory evaluation of steamed bread

项目	紫淮山全粉添加量/%				
	0	5	10	15	20
气味	8.40±0.01 <sup>b</sup>	8.30±0.01 <sup>b</sup>	8.40±0.01 <sup>b</sup>	8.60±0.01 <sup>ab</sup>	9.00±0.01 <sup>a</sup>
色泽	12.20±0.79 <sup>b</sup>	12.70±0.48 <sup>b</sup>	12.20±0.92 <sup>b</sup>	13.50±0.53 <sup>a</sup>	13.90±0.31 <sup>a</sup>
外观	12.40±0.52 <sup>c</sup>	12.60±0.84 <sup>bc</sup>	13.10±0.74 <sup>b</sup>	13.00±0.67 <sup>bc</sup>	13.70±0.48 <sup>a</sup>
结构	17.30±0.67 <sup>a</sup>	17.50±0.97 <sup>a</sup>	17.90±0.57 <sup>a</sup>	18.00±1.05 <sup>a</sup>	18.00±0.94 <sup>a</sup>
口感与黏性	16.80±0.79 <sup>b</sup>	16.50±1.27 <sup>b</sup>	16.80±1.14 <sup>b</sup>	18.20±0.79 <sup>a</sup>	18.10±0.99 <sup>a</sup>
弹性	16.90±0.99 <sup>b</sup>	16.90±1.10 <sup>b</sup>	17.80±0.79 <sup>a</sup>	18.10±0.74 <sup>a</sup>	18.40±0.70 <sup>a</sup>
总分	84.00±1.82 <sup>c</sup>	84.50±2.12 <sup>bc</sup>	86.20±2.15 <sup>b</sup>	89.40±2.36 <sup>a</sup>	91.10±1.10 <sup>a</sup>

<sup>†</sup> 同行字母不同表示紫淮山粉添加量不同样品之间差异显著( $P<0.05$ )。



字母不同表示紫淮山粉添加量不同样品之间差异显著( $P<0.05$ )

图 7 紫淮山全粉添加量对馒头抗氧化能力的影响

Figure 7 The effect of the amount of purple yam powder on the antioxidant capacity of steamed bread

组相比存在显著性差异( $P<0.05$ ),且不同添加量之间也存在显著性差异( $P<0.05$ )。在馒头中加入紫淮山全粉,改善了馒头的抗氧化功能。

### 3 结论

紫淮山全粉的添加对馒头的比容、径高比、色差、蛋白质含量、脂肪含量、水分、感官评价、质构特性及老化和抗氧化特性有显著影响。随着紫淮山全粉的添加,馒头的比容、径高比、脂肪含量整体呈下降趋势;馒头的色差、蛋白质含量、水分、感官评价和质构特性整体呈增加趋势;紫淮山全粉的添加有助于延缓其抗老化特性和提高抗氧化能力。与未添加紫淮山粉的馒头相比,添加量为5%~20%的紫淮山粉改善了馒头的品质,增加其抗氧化性,同时提高了营养价值。当紫淮山全粉添加量为20%时,其整体品质最好。但紫淮山粉添加量超过20%,紫淮山馒头面团发酵难、不易揉搓、面筋网络破坏、持气性差等问题,其改善措施还有待进一步研究。

### 参考文献

[1] 蔡金辉, 严渐子, 黄晓辉, 等. 山药品种资源的分类研究[J]. 江西农业大学学报, 1999, 21(1): 44-45.

CAI Jin-hui, YAN Jian-zi, HUANG Xiao-hui, et al. A taxonomical study on varital resource of Dioscorea species[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 1999, 21(1): 44-45.

[2] BHANDARI M R, KASAI T, KAWABATA J. Nutritional evaluation of wild yam (*Dioscorea* spp.) tubers of Nepal[J]. Food Chemistry, 2003, 82(4): 619-623.

[3] 王彦平, 田春丽, 孙瑞琳, 等. 紫山药的营养保健功能及开发利用研究进展[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(1): 200-203.

WANG Yan-ping, TIAN Chun-li, SUN Rui-lin, et al. Research progress on nutritional and healthy functions of purple yam[J]. Food Research and Development, 2017, 38(1): 200-203.

[4] 李燕. 淮山全粉添加量对面团特性及面包品质的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2019: 1-2.

LI Yan. Effect of yam flour addition on properties of dough and qualities of bread [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2019: 1-2.

[5] 李维颖, 马跃洲, 丁智永, 等. 山药魔芋保健型馒头的制作工艺优化[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(6): 69-74.

LI Wei-ying, MA Yue-zhou, DING Zhi-yong, et al. Optimization of production processing of functional steamed bread with yam and konjac[J]. Food Research and Development, 2017, 38(6): 69-74.

[6] 石晶红, 郝水源, 郭淑文. 山药薏米芡实混合粉对小麦粉加工品质的影响[J]. 食品与机械, 2021, 37(1): 199-203.

SHI Jing-hong, HAO Shui-yuan, GUO Shu-wen. Effect of the mixed flour of Chinese yam, *Coix chinensis* Tod and *Euryale ferox* on the processing quality of wheat flour[J]. Food & Machinery, 2021, 37(1): 199-203.

[7] 郑玉娇, 郭晓娜, 朱科学. 面粉特性对荞麦馒头预拌粉品质的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(3): 27-32, 40.

ZHENG Yu-jiao, GUO Xiao-na, ZHU Ke-xue. Effect of wheat flour characteristics on the quality of buckwheat Chinese steamed bread premix[J]. Food & Machinery, 2019, 35(3): 27-32, 40.

[8] ZIOBRO R, KORUS J, JUSZCZAK L, et al. Influence of inulin on physical characteristics and staling rate of gluten-free bread [J]. Journal of Food Engineering, 2013, 116(1): 21-27.

[9] 陈瑞红. 短链菊粉对馒头品质的影响[D]. 洛阳: 河南科技大学,

- 2014: 27-28.
- CHEN Rui-hong. Effect of short-chain inulin on steamed bread quality[D]. Luoyang: Henan University of Science and Technology, 2014: 27-28.
- [10] 孙维思. 马铃薯混配粉对馒头品质影响机理研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2017: 11.
- SUN Wei-si. Effect of potato-wheat blend on dough quality [D]. Taian: Shandong Agriculture University, 2017: 11.
- [11] MUSTAFA A, ANDERSSON R, ROSÉN J, et al. Factors influencing acrylamide content and color in rye crisp bread[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(15): 5 985-5 989.
- [12] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中水分的测定: GB 5009.3—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. Standard & Quality of Light Industry Determination of moisture in food: GB 5009.3—2016[S]. Beijing: China Standard Press, 2017.
- [13] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定: GB 5009.5—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. Standard & Quality of Light Industry Determination of protein in food: GB 5009.5—2016[S]. Beijing: China Standard Press, 2017.
- [14] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定: GB 5009.6—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. Standard & Quality of Light Industry Determination of fat in food: GB 5009.6—2016[S]. Beijing: China Standard Press, 2017.
- [15] 汤晓, 王莎, 杨凤英, 等. 3种抗氧化物强化面包抗氧化功能的对比[J]. 食品科技, 2017, 42(10): 160-165.
- TANG Xiao, WANG Sha, YANG Feng-ying. The comparison of three antioxidants to enhance the antioxidant function of bread[J]. Food Science and Technology, 2017, 42(10): 160-165.
- [16] XIAO Y, XING G L, RUI X, et al. Enhancement of the antioxidant capacity of chickpeas by solid state fermentation with *Cordyceps militaris* SN-18[J]. Journal of Functional Foods, 2014, 10: 210-222.
- [17] 黄立群. 预发酵冷冻纤维面团及在馒头中的应用研究[D]. 无锡: 江南大学, 2010: 18.
- HUANG Li-qun. Study on prefermented frozen dietary fiber dough and its application in steamed bread making[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2010: 18.
- [18] 郑棉文, 王锋, 苏小军, 等. 紫淮山的营养价值及加工研究进展[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(1): 210-214.
- ZHENG Mian-wen, WANG Feng, SU Xiao-jun, et al. Nutritional value and processing research progress of purple yam[J]. Food Research and Development, 2018, 39(1): 210-214.
- [19] 钱平. 小麦粉品质对馒头老化的影响及馒头抗老化研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005: 16.
- QIAN Ping. Effect of wheat flour quality on Chinese steamed bread staling and research on Chinese steamed bread anti-staling[D]. Beijing: China Agricultural University, 2005: 16.
- [20] 任顺成, 马瑞萍, 韩素云. 木聚糖酶对冷冻面团和馒头品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2013, 28(12): 17-22.
- REN Shun-cheng, MA Rui-ping, HAN Su-yun. Effect of xylanase on fermentation capacity of frozen dough and quality of steamed bread[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2013, 28(12): 17-22.
- [21] 童大鹏. 红茶面包的研制及对淀粉消化特性的影响[D]. 无锡: 江南大学, 2017: 35-36.
- TONG Da-peng. Preparation of black tea bread and the effect on starch digestion properties[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2017: 35-36.
- [22] The Good Scents Company Information System[DB/OL]. [2022-02-01]. <http://www.thegoodscentscompany.com/search3.php>.
- [24] NSOGNING DONGMO S, PROCOPIO S, SACHER B, et al. Flavor of lactic acid fermented malt based beverages: Current status and perspectives[J]. Trends Food Sci Tech, 2016, 54: 37-51.
- [25] 卜潇, 薛雪, 程静, 等. 葡萄酒中植物乳杆菌苹果酸—乳酸发酵潜能评价[J]. 中国农业科学, 2017, 50(5): 959-968.
- PU Xiao, XUE Xue, CHENG Jing, et al. Evaluation on malolactic fermentation potential of wine *Lactobacillus plantarum*[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(5): 959-968.
- [26] HAZELWOOD L A, DARAN J M, VAN MARIS A J, et al. The Ehrlich pathway for fusel alcohol production: A century of research on *Saccharomyces cerevisiae* metabolism[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2008, 74(8): 2 259-2 266.

(上接第 204 页)

- [20] GEMERT L J V. Odour thresholds-compilations of odour threshold values in air, water and other media[M]. Zeist: Oliemans Punter & Partners BV, 2011: 207-469.
- [21] 李婷婷, 黄名正, 唐维媛, 等. 刺梨汁中挥发性成分测定及其呈香贡献分析[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(4): 237-246.
- LI Ting-ting, HUANG Ming-zheng, TANG Wei-yuan, et al. Determination of volatile components in *Rosa roxburghii* Tratt juice and the analysis of its contribution for aroma [J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(4): 237-246.
- [22] 曲昆生, 曲天波, 曲林, 等. 苹果酸—乳酸发酵对威代尔冰酒香气的影响[J]. 中国酿造, 2019, 38(9): 36-42.
- QU Kun-sheng, QU Tian-bo, QU Lin, et al. Effect of malolactic fermentation on volatile compounds of Vidal ice wine[J]. China Brewing, 2019, 38(9): 36-42.