

金花茶粉添加量对馒头品质及抗氧化性的比较分析

杜密英^{1,2}, 戴瑞¹, 李杰¹, 付晶晶¹, 黄典亮¹, 王敬涵^{1,2*}

(1. 桂林旅游学院休闲与健康学院, 广西桂林 541006)

(2. 广西桂菜工业化加工与营养安全工程研究中心, 广西桂林 541006)

摘要: 为探究小麦粉中添加金花茶粉对馒头品质及抗氧化活性的影响, 以不同质量分数的 0%、1%、2%、3%、4% 的金花茶粉制作馒头, 研究其对馒头面团特性、水分、膨胀度、比容、质构、色泽、感官、微观结构及其抗氧化性的影响。试验结果表明, 随着金花茶粉添加量的增加, 面团弹性模量 G' 始终大于粘性模量 G'' , $\tan\delta$ 值始终小于 1, 表现出较好的弹性性能。馒头水分含量先升后降, 变化幅度 0.8%。添加 1% 金花茶粉的膨胀度、质构特性最高 (硬度 40.41 N, 弹性 1.46 mm, 咀嚼性 25.10 MJ)。随着金花茶粉添加量增多馒头亮度呈显著下降趋势 ($P<0.05$), 颜色加深。金花茶粉添加量在 1%~2% 时馒头的风味显著提高 ($P<0.05$)。随着金花茶粉的添加, 面团面筋结构由连续到断裂, 由密集到空洞, 内部空间结构遭到破坏。在抗氧化活性方面, DPPH 自由基清除能力、还原能力和 ABTS⁺ 自由基清除能力随着金花茶粉添加量增多显著提高, 与对照组相比分别提高了 63.33%、40.4%、59.57%。综合分析添加 1%~2% 金花茶粉对馒头品质就有一定改善。该研究结果为金花茶粉应用于馒头, 提高其品质及营养价值, 开发金花茶食品提供一定的参考。

关键词: 馒头; 面团; 金花茶粉; 质构; 流变学特性; 抗氧化活性

文章编号: 1673-9078(2023)08-156-164

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.8.1198

Effects of Added *Camellia nitidissima* Chi Powder on the Quality and Antioxidant Activity of Steamed Bread

DU Miying^{1,2}, DAI Rui¹, LI Jie¹, FU Jingjing¹, HUANG Dianliang¹, WANG Jinghan^{1,2*}

(1. College of Leisure and Health, Guilin Tourism University, Guilin 541006, China) (2. Guangxi Research Center for Large-Scale Preparation & Nutrients and Hygiene of Guangxi Cuisine, Guilin 541006, China)

Abstract: The effects of incorporating *Camellia nitidissima* Chi powder into wheat flour, on the quality and antioxidant activity of steamed bread, were explored. A variety of buns were made with different mass ratios of *Camellia nitidissima* Chi powder (0%, 1%, 2%, 3%, and 4%). The properties of these steamed buns, including water content, expansion ratio, specific volume, texture, color, sensory quality, microstructure, and antioxidant activity were studied. The results demonstrate that, even under different addition ratios, the elastic modulus (G') of the dough was always greater than the viscosity modulus (G''), and the $\tan\delta$ value was always less than one. The buns had relatively good elastic properties. As the percentage of *Camellia nitidissima* Chi powder was increased, the water content first increased and then decreased, the range of variation being 0.8%. The steamed buns with 1% *Camellia nitidissima* Chi powder had the highest expansion and best texture characteristics (hardness 40.41 N, elasticity 1.46%, and chewiness 25.10). With further addition, the brightness of the steamed buns decreased significantly and the color deepened ($P<0.05$). The structure and sensory quality analysis suggest that addition of 1%~2% *Camellia nitidissima* Chi powder improved the flavor quality of steamed buns.

引文格式:

杜密英, 戴瑞, 李杰, 等. 金花茶粉添加量对馒头品质及抗氧化性的比较分析[J]. 现代食品科技, 2023, 39(8): 156-164

DU Miying, DAI Rui, LI Jie, et al. Effects of added *Camellia nitidissima* Chi powder on the quality and antioxidant activity of steamed bread [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(8): 156-164

收稿日期: 2022-09-20

基金项目: 广西壮族自治区重点研发计划项目 (2018AB49021); 桂林旅游学院校级科研立项 (2019B01; 2019F01); 桂林旅游学院大学生创新创业训练项目 (202111837016); 广西高校人文社科重点研究基地-休闲养生旅游研究中心资助项目 (YJZX2016YB07); 广西高校中青年骨干教师科研基础能力提升项目 (2022KY0823)

作者简介: 杜密英 (1978-), 女, 硕士, 副教授, 研究方向: 烹饪营养与植物化学物, E-mail: 602451554@qq.com

通讯作者: 王敬涵 (1990-), 男, 硕士, 讲师, 研究方向: 农产品精深加工, E-mail: 827565278@qq.com

($P < 0.05$). Due to the addition of *Camellia nitidissima* Chi powder, the continuous structure of the gluten in the dough was broken, the dense structure became hollow, and the internal structural spaces were destroyed. In terms of the antioxidant activity, the DPPH free radical scavenging ability, reducing ability, and ABTS⁺ free radical scavenging ability increased significantly by 63.33%, 40.4%, and 59.57%, respectively, compared with those of the control group. Comprehensive analysis indicates that adding 1%~2% *Camellia nitidissima* Chi powder to wheat flour can improve the quality and nutritional value of steamed bread. This study provides a reference for the development and application of *Camellia nitidissima* Chi in food products.

Key words: steamed bread; dough; *Camellia nitidissima* Chi powder; texture; rheological characteristics; antioxidant activity

金花茶 (*Camellia Nitidissima* Chi) 属山茶科山茶属, 是我国特有属种植物, 主要分布于广西、云南一带^[1]。因其花瓣呈金黄色半透明状, 具有较高的观赏性, 是我国珍稀的园林观赏植物, 誉为“植物界的大熊猫”“茶族皇后”^[2,3]。金花茶花与叶中含有丰富的多糖、多酚、皂苷等功能成分, 具有抗氧化^[4]、降血压、血糖、降脂^[5-7]、护肝^[8]等功效, 其功能性成分和药用价值被世人所了解。但是目前市场上的大部分金花茶产品是金花茶的嫩叶经制茶工艺制成的金花茶产品, 如浓缩液^[9]、饮料^[10]、口服液、茶包^[11]以及简单加工的干花制品。

随着我国金花茶的种植规模扩大, 供应量丰富, 特别是供应旺季时价格低廉, 另一方面, 超微粉碎技术的应用, 有利于提高金花茶全价利用, 这使得金花茶深加工产品的开发成为可能。近年来将食用菌、蔬菜、杂粮、膳食纤维等原料加入面粉以加工成复合型面制品是一种提升面制品营养和功能的有效手段, 相关研究在国内外已有广泛报道, 如香菇、秋葵、藜麦、抹茶、玫瑰花等复合型面制品^[12]。馒头作为中国传统美食, 是中国传统主食的代表。随着生活水平的提高, 消费者更加注重产品的营养均衡, 对高营养价值的新食品的需求更为迫切。因此, 将金花茶粉添加在面粉里制作成复合型面制品也将是其深加工利用的一个有益尝试。既丰富馒头的种类, 同时能够提高馒头营养价值。但目前将金花茶添加到馒头制品和其它面制品中的研究鲜有报道, 尤其是对面团流变学特性、成品品质的影响方面尚缺少系统研究^[13]。

本研究以南方馒头为研究对象, 将金花茶的茶花经采摘、杀青、烘干后利用球磨机进行超微粉碎, 过筛后与小麦粉复配, 制作成金花茶馒头, 研究金花茶粉添加量对馒头品质及抗氧化能力的影响, 以期提升金花茶粉的综合利用, 研制新型馒头提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

金花茶干花, 桂林市茶花岛花卉种源有限公司; 面包粉、安琪高活性干酵母和白砂糖, 市售; 1,1-二

苯基-2-三硝基苯肼 (1,1-Diphenyl-2-Picrylhydrazyl, DPPH)、2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐 [2,2'-Azino-bis(3-Ethylbenzothiazoline-6-Sulfonic Acid), ABTS]、无水碳酸钠, 上海源叶生物科技有限公司; 甲醇, 成都市科隆化学品有限公司; 铁氰化钾、磷酸二氢钠, 天津市光复科技发展有限公司; 三氯乙酸、三氯化铁, 上海麦克林生化科技有限公司; 过硫酸钾, 优耐德引发剂(上海)有限公司; 无水乙醇, 天津市鼎盛鑫化工有限公司; 无水磷酸氢二钠, 生工生物工程(上海)股份有限公司。

1.2 仪器与设备

RS-FS1401 粉碎机, 荣事达股份有限公司; FA1004N 电子天平, 上海菁海仪器; SN-LSC-40S 离心机, 上海尚普仪器设备有限公司; SB26-12DTDN 清洗机, 宁波新芝生物科技; UB-1780 可见光分光光度计, 岛津企业管理(中国)有限公司; IYQ150S 摇床, 武汉汇成生物科技; HH-4 恒温水浴锅, 金坛市杰瑞尔有限公司; 101-1AB 鼓风干燥箱, 天津市泰斯特仪器有限公司; FTC 质构仪, 北京盈恒泰科技有限责任公司; FD-2 冷冻干燥, 北京博医康实验仪器有限公司; 906-ULTS 超低温冰箱, 赛默飞世尔仪器有限公司; RT2170 电磁炉, 美的股份有限公司; CM-5 色差仪, 柯尼卡美能达; Anton Pear MCR 92 流变仪, 安东帕公司。

1.3 实验方法

1.3.1 主要仪器设备

将金花茶干花用超微粉碎机粉碎, 过 100 目筛, 密封备用^[14]。

1.3.2 金花茶馒头的制作

以面包粉的质量分数计算, 添加空白 0%、1%、2%、3%、4% 的金花茶粉成为混粉, 添加 15% 白砂糖、1.5% 酵母、50% 水, 混合成面团, 放置在室温温度中自然发酵 60 min。然后将发酵后的面团分割成型, 进行第二次发酵, 放入蒸锅蒸 20 min, 后停火焖 5 min, 室温冷却备用^[15]。

1.3.3 面团流变性能的测定

面团的弹性和黏性测定方法按照郑万琴^[16]、Guo等^[17]的方法进行修改。孔径为40 mm的平板夹具,板间距1 mm,称取3 g面团后置于测板上,刮掉剩余的面团并在面团边缘涂上硅油,测定其流变学特性。

1.3.4 馒头水分的测定

馒头水分的测定(参照GB/T 21118-2007^[18])。

$$M = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_3} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

M ——馒头含水量, %;

m_1 ——玻璃烘皿和样的质量, g;

m_2 ——玻璃烘皿和样品两次干燥后的质量, g;

m_3 ——玻璃烘皿的质量, g。

1.3.5 混粉吸水性的测定

根据陈洁等^[19]的方法进行了一些修改。2.5 g混粉与30 mL蒸馏水拌均匀后,40 °C水浴20 min,然后3 000 r/min离心机25 min,倒出上清液,称取沉淀物的总质量,然后计量。

$$A = \frac{D_1 - D}{D} \quad (2)$$

式中:

A ——混粉吸水性, g/g;

D_1 ——离心管中沉淀的质量, g;

D ——混粉的质量, g。

1.3.6 混粉膨胀度的测定

根据李云等^[20]的方法,30 mL蒸馏水与2.5 g馒头

于离心管中搅拌混匀,95 °C水浴30 min,4 000 r/min离心20 min后转移并倒出上清液。

$$W = \frac{G_2 - G_1}{G_0} \quad (3)$$

式中:

W ——混粉膨胀度, g/g;

G_0 ——馒头质量, g;

G_1 ——为离心管质量, g;

G_2 ——一样晾干水分的样品和离心管中的总质量, g。

1.3.7 金花茶馒头比容的测定

金花茶粉馒头冷却至室温,用小米置换法去测量馒头的容积,容积和质量之间的差值即为与馒头的比容,每组试样反复三次实验然后取平均值^[21]。

1.3.8 金花茶馒头色泽的测定

色差仪对馒头中间内芯部分进行测量,得到 L^* 、 a^* 、 b^* 三个参数值。 L^* 值显示亮度, a^* 值显示红绿偏差, b^* 值显示黄蓝色偏差^[22]。

1.3.9 金花茶馒头质构的测定

馒头垂直切1 cm厚,3 cm长;采用P36 R探头、压缩比40%;测前速率2.0 mm/s;检测率1.0 mm/s;测后速率1.0 mm/s,测量3次求平均值^[23]。

1.3.10 感官评价的测定

找10名有食品感官评定经验的人员进行评价。评价的指标包括结构、弹性、色泽和风味、整体可接受性四个方面评定。结果为评分的平均分数均值。

表1 感官评分标准

Table 1 Sensory scoring criteria

项目	评分标准	评分/分
结构	切面气孔细密而均匀,呈海绵状	25~21
	切面气孔大小不均,有少量馒头碎渣	20~11
	切面气孔大小不均,出现大的空穴,质地粗糙	10~1
弹性	手指按压复原性好,有较好的嚼劲	25~21
	手指按压复原性较慢,咀嚼一般	20~11
	手指按压复原性、咀嚼性差	10~1
色泽、风味	有金花茶特有香气,亮丽均匀	25~21
	无香味,无异味,稍黄	20~11
	无香气,有异味,黄褐不均匀	10~1
整体可接受性	整体较好	25~21
	稍差	20~11
	差	10~1

1.3.11 馒头微观检测的测定

根据韩红超等^[24]的方法略微修改,切成1 cm厚的片预冻48 h,后冷冻干燥24 h制备样品。馒头切片取中间部分,在电镜下进行不同倍数的扫描观察并拍照。

1.3.12 馒头抗氧化能力的测定

根据汤晓等^[25]的方法进行修改。2.00 g馒头样品,加入40 mL $\varphi=80\%$ 甲醇水溶液,120 r/min摇床2 h,进行超声波辅助提取30 min,再4 000 r/min离心

15 min, 得到的上清液即为多酚提取物。

1.3.12.1 DPPH 自由基清除能力的测定

取 0.2 mL 馒头多酚提取物, 加入 3.8 mL 的 0.1 mmol/L DPPH 乙醇水溶液, 搅拌均匀, 避光放置 30 min, 测 517 nm 处测吸光度^[26]。

$$C_1 = \frac{A_0 - (A_1 - A_2)}{A_0} \times 100\% \quad (4)$$

式中:

C_1 ——DPPH 自由基清除率, %;

A_1 ——0.2 mL 馒头样品与 3.8 mL DPPH 溶液的吸光度值;

A_2 ——0.2 mL 样品与 3.8 mL 乙醇的吸光度值;

A_0 ——0.2 mL 乙醇与 3.8 mL DPPH 溶液的吸光度值。

1.3.12.2 还原能力的测定

0.5 mL 多酚提取物、2.5 mL 0.2 mol/L 磷酸缓冲溶液 (pH 值 6.6) 和 2.5 mL 1% 铁氰化钾溶液混合, 50 °C 水浴 20 min。加入 2.5 mL 10% 三氯乙酸溶液, 5 000 r/min 离心 10 min 后, 取上清液 2.5 mL。再添加 0.5 mL 0.1% 三氯化铁溶液, 混合均匀, 放置 10 min 后, 在 700 nm 处测量其吸光度值^[26]。

1.3.12.3 ABTS 自由基清除能力的测定

将 7 mmol/L ABTS 和 2.45 mmol/L 过硫酸钾溶液混合均匀, 静置阴暗处过夜 (12~16 h)。在 734 nm 处测量其不同混合液吸光度值^[26]。

$$C_2 = \frac{A_3 - (A_4 - A_5)}{A_3} \times 100\% \quad (5)$$

式中:

C_2 ——ABTS 自由基清除率, %;

A_4 ——0.1 mL 样品与 4 mL ABTS 工作液的吸光度值;

A_5 ——0.1 mL 样品与 4 mL 无水乙醇吸光度值;

A_3 ——0.1 mL 无水乙醇与 4 mL ABTS 工作液吸光度值。

1.4 数据统计

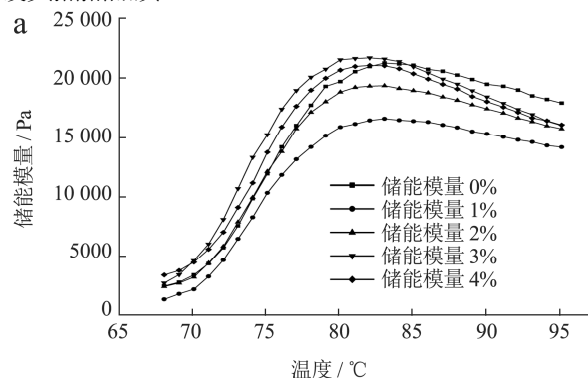
采用 SPSS 22.0 软件对 3 次结果数据进行均值、显著性水平 ($P < 0.05$)、标准差分析, 再使用 Origin 2018 作图软件进行绘图。

2 结果与讨论

2.1 金花茶粉添加量对面团流变性能的影响

储能模量 (G') 和损耗模量 (G'') 代表能量储存的弹性和消散的黏性。 $\tan\delta$ 即 G''/G' 表示损耗角正切值, 可表现加热过程中面团结构的变化。 $\tan\delta$ 值越高代表样品的黏度越大^[27]。在下图 1a~c 中, 在加热过程

中, G' 、 G'' 呈向上增长后下降趋势, 倾斜程度趋势一致, 先剧烈增长, 后缓慢升高后下降, 且不同加热温度的 G' 均比 G'' 大, 表明混粉面团具有弹性物质的流变性质。添加 1%、2% 重组面团的黏弹性小于小麦面团, 有助于改善面团加热特性, 添加量为 3%、4% 时, 组重组面团的黏弹性大于小麦面团。当温度高于 65 °C, 面团 G' 和 G'' 迅速上升, 当 83 °C 左右时, 面团达到最大黏弹性值, 其弹性峰值均大于粘性模量。随着温度的进一步升高, 面团的 G' 和 G'' 急剧下降。这可能是因为淀粉开始受热糊化, 面团的流变特性发生变化, 表现出了更多的类固体性质。当温度继续升高, 淀粉颗粒继续吸水溶胀, 发生不可逆破裂, 此时直链淀粉浸出, 结晶区混乱, 混合面团中的面筋网络结构也被破坏, 导致混合面团的 G' 和 G'' 的值再次下降。图 1c 表明, 各混合面团的温度扫描结果差别不大, 这可能是因为其淀粉的含量和组成较为接近, 因此在相同的扫描条件下, 酶解反应的进程也接近。添加 1%、2% 金花茶粉的混合面团的 $\tan\delta$ 值大于空白组, 面团呈现较好的弹性。另外, 随着温度的升高, $\tan\delta$ 值减小, 说明面团体系中弹性的增强程度高于黏性的增强程度, 即混合面团中金花茶粉中果胶类多糖增强的大分子相互缠结形成的网络结构占主导地位, 所以弹性增强说明其微观结构持续变化, 这可能是由高温下蛋白质形成的某种键引起^[28]。图 1d~e 中随着剪切应变的提高, 面团的 G' 、 G'' 大体趋势是下降的, 可能是由于金花茶粉的添加, 把其原本的面团网络结构破坏, 对淀粉形成面团起了阻碍作用, 随着温度和剪切应变的变化, 面筋结构被破坏, 但在这过程中损耗角正切值 $\tan\delta$ 的值都没有超过 1, G' 始终大于 G'' , 说明在混合体系中随着因素的变化, 面团弹性性能比黏性性能更为普遍。添加金花茶粉能够改善小麦粉面团的热流变学特征, 但南方馒头更偏向于质地松软, 容易咀嚼的馒头, 因此 1%、2% 添加量的金花茶粉有助于提高馒头蒸煮品质。



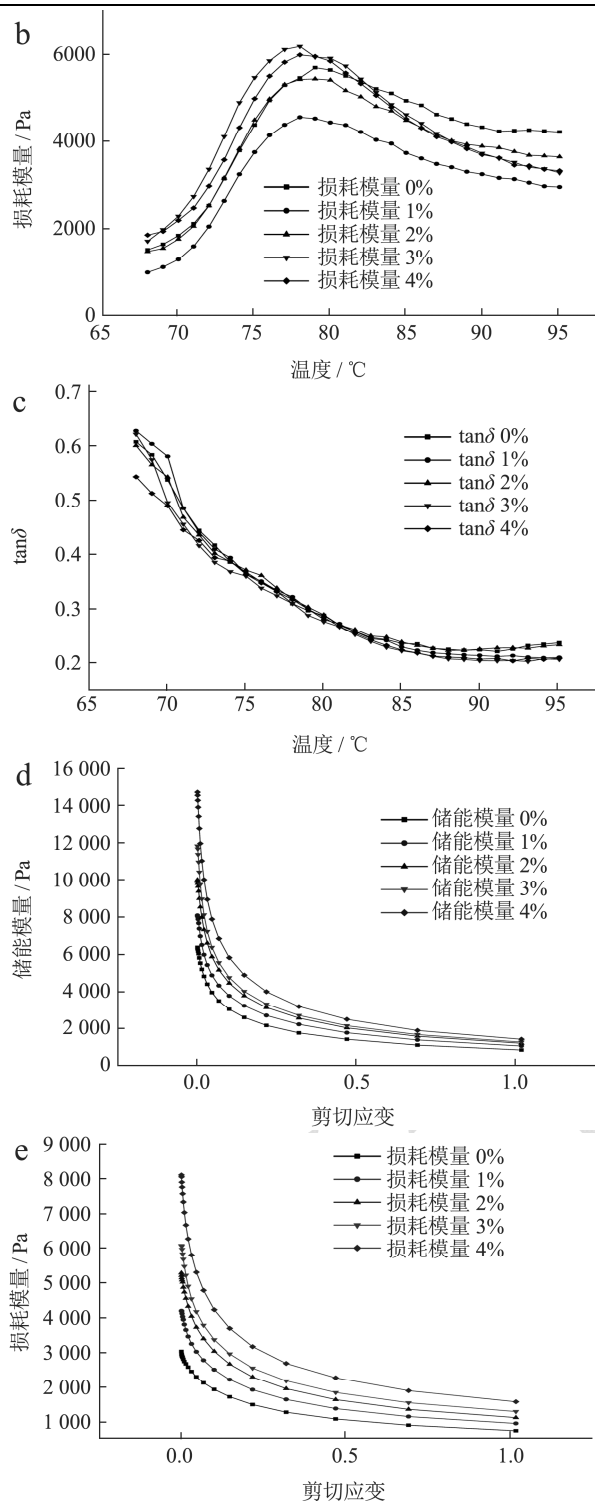


图1 金花茶粉对面团流变性能的影响

Fig.1 The influence of camellia nitidissima chi powder on the rheological ability of dough

2.2 金花茶粉添加量对馒头水分的影响

不同金花茶粉添加馒头的含水量在 32.9%~33.7% 之间,可见金花茶粉的添加,对馒头含水量的影响不大。如图 2,随着金花茶粉的添加量增多馒头含水量

先增加后降低,可能是金花茶粉中有良好的亲水性的多酚、膳食纤维等物质,面团和水的结合率得以提高;然而,随着金花茶粉用量的增加,由于金花茶粉和小麦粉的粒径不同,不能与面团形成一个均匀的体系,水分丢失,导致水分含量降低^[29]。

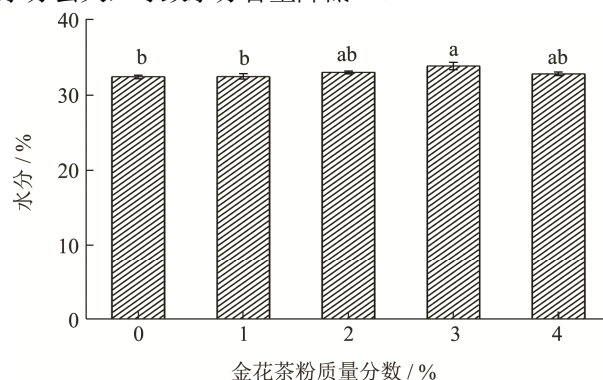


图2 金花茶粉对馒头水分的影响

Fig.2 The influence of camellia nitidissima chi powder on steamed bread moisture

2.3 金花茶粉添加量对混粉吸水性和膨胀度的影响

如图 3 所示,当添加 0%和 1%~4%的金花茶粉混粉相对比,吸水性呈显著下降趋势,随着金花茶粉的添加,吸水性逐渐降低,当添加量为 4%时,吸水性降低至 1.13。这可能是由于中筋面粉颗粒粒径比金花茶粉大,水分子不容易穿透,在面粉中加入金花茶粉后,混粉系统的整体结构相对紧凑,吸水率降低。当添加 1%的金花茶粉时,膨胀度最高,这可能是因为小麦粉和金花茶粉在加热过程中产生了一些化合物,这促进了样品的膨胀。当金花茶粉添加量大于 2%时,随着金花茶粉添加量的增加,金花茶粉混粉的膨胀度呈显著下降趋势,这是加热过程中产生的物质抑制了样品的膨胀,导致膨胀度降低。

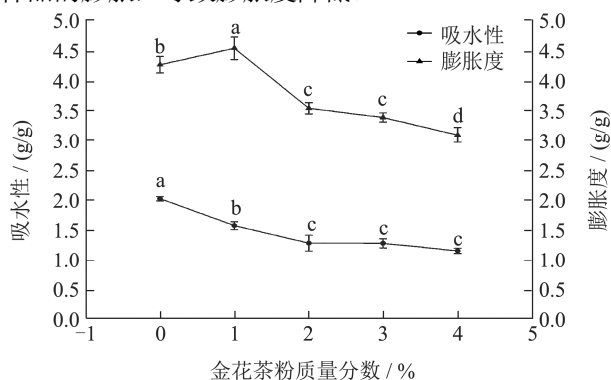


图3 金花茶粉对混粉吸水性和膨胀度的影响

Fig.3 Effects of camellia nitidissima chi powder on water absorption and expansion of mixed powder

2.4 金花茶粉添加量对馒头比容的影响

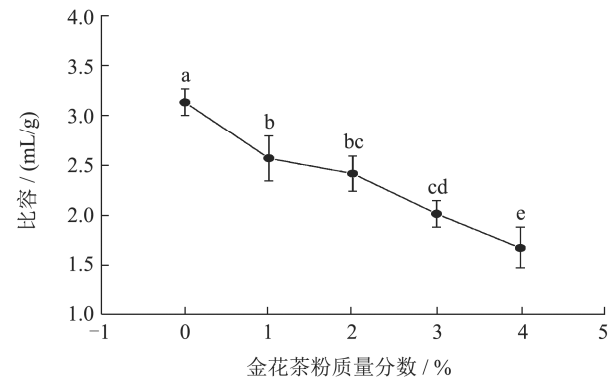


图4 金花茶粉对馒头比容的影响

Fig.4 The influence of camellia nitidissima chi powder on steamed bread ratio volume

如图4所示,与空白组馒头比较,比容下降呈显著趋势。当金花茶粉的添加量为1%~3%时,下降趋势不显著;当金花茶粉的添加量在3%~4%的范围时,比容下降显著($P<0.05$)。可能是随着金花茶粉的添加,面粉筋被稀释,面团网络结构被打破。其次,金花茶粉的吸水性导致面团的湿度降低,馒头的比容呈现逐渐减少趋势。



图5 金花茶粉对馒头色泽影响

Fig.5 Color and luster of steamed bread with different dosage of jinhua tea powder

注: 从左到右依次为添加0%、1%、2%、3%、4%金花茶粉做的馒头。

表3 金花茶粉对馒头质构的影响

Table 3 The Influence of camellia nitidissima chi powder on steamed bread texture

质量分数/%	硬度/N	内聚性	弹性/mm	胶粘性/N	咀嚼性/MJ
0	49.75±1.45 ^d	0.47±0.58 ^a	1.42±0.10 ^c	23.75±2.73 ^d	33.49±2.46 ^e
1	40.41±3.33 ^e	0.40±0.01 ^b	1.46±0.14 ^c	17.24±1.01 ^c	25.10±2.42 ^d
2	53.37±3.22 ^d	0.40±0.01 ^b	2.19±0.12 ^b	28.38±1.66 ^b	61.94±1.06 ^c
3	80.06±0.56 ^b	0.40±0.01 ^b	2.37±0.77 ^{ab}	33.37±0.94 ^a	78.93±1.96 ^b
4	85.24±1.75 ^a	0.40±0.01 ^b	2.43±0.01 ^a	34.09±0.70 ^a	82.85±2.04 ^a

2.6 金花茶粉添加量对馒头质构的影响

从下表3可以看出,加入一定量的金花茶粉的馒头的硬度和咀嚼力以及胶粘性呈现相同变化,具有明显的改善效果。添加了1%的金花茶粉的馒头与空白组相比,硬度降低,呈现更好咀嚼性与胶粘性,添加1%的金花茶粉更适合制作南方馒头。这可能是由于金花茶粉中游离氨基和多酚物质的加入,对面筋蛋白中二硫键有一定破坏作用,使其面筋强度减弱,馒头硬

2.5 金花茶粉添加量对馒头色泽的影响

色度值是判断食品色泽的重要依据,反映消费者是否愿意接受。如表2所示,随着添加量增加,对馒头的 L^* 、 a^* 、 b^* 值变化显著。添加量较少(2%以下)馒头表现出淡黄色,当金花茶粉添加量3%以上时,馒头的颜色加深发红褐, L^* 值由79.68下降到70.64, a^* 值由1.30上升到2.58, b^* 值由15.56上升到20.83,色度变化可能与金花茶粉本身色泽与加热过程中的反应有关,同时这一变化规律与图5及感官结果相符。

表2 不同添加量的金花茶粉对馒头色泽的影响

Table 2 Influence of different dosage of camellia nitidissima chi powder on the color of steamed bread

质量分数/%	L^*	a^*	b^*
0	79.68±0.17 ^a	1.30±0.01 ^e	15.56±0.10 ^e
1	74.80±0.17 ^b	1.78±0.02 ^d	16.45±0.04 ^d
2	73.53±0.21 ^c	2.04±0.01 ^c	18.12±0.10 ^c
3	72.64±0.23 ^d	2.26±0.03 ^b	19.19±0.12 ^b
4	70.64±0.08 ^e	2.58±0.02 ^a	20.83±0.08 ^a

注: 表中上标小写字母表示相同字母表示无显著性差异($P>0.05$); 不同字母表示具有显著性差异($P<0.05$), 下同。

度降低,表现出较好的质构特性。2%的金花茶粉馒头其硬度变化差异不显著,但其咀嚼性变化变差。胶粘性越大,说明面团的流散性越大,越难加工成形,对面制品的品质具有不利影响,添加4%的金花茶粉较其它馒头质构特性最差,表现出较难的咀嚼性和较高的硬度,此时更适合制作北方馒头。这可能当金花茶粉添加金花茶粉在2%以上时,金花茶中含有过多膳食纤维^[30],阻碍面团面筋结构的形成,面团含气量减少较难发酵,成品馒头质地变硬,其咀嚼性变差。

2.7 金花茶粉添加量对馒头感官品质的影响

不同添加量的金花茶粉对馒头感官质量的影响如下图所示6所示：随着金花茶粉添加量的增加，馒头的体积减小，结构评分降低。原因可能是金花茶粉的添加使得面团中面筋被稀释，面筋网络结构被破坏，馒头胚无法充分膨胀，从而导致馒头体积减小，馒头硬度增高、咀嚼性变差，品质降低^[30]。但当金花茶粉的添加量为1%~2%时，馒头风味优于未添加金花茶粉的馒头。当金花茶粉继续增加时，馒头的颜色和风味显著降低。虽然2%的金花茶馒头硬度增高，但是其风味突出，口感仍可以接受，说明少量的金花茶粉对馒头的感官、风味起到较好作用。添加过量，馒头中的金花茶味太浓、滋味苦涩，口感降低，可接受性较差。因此，当金花茶粉的添加量为1%~2%时，总体上可以接受，符合消费者的口味。

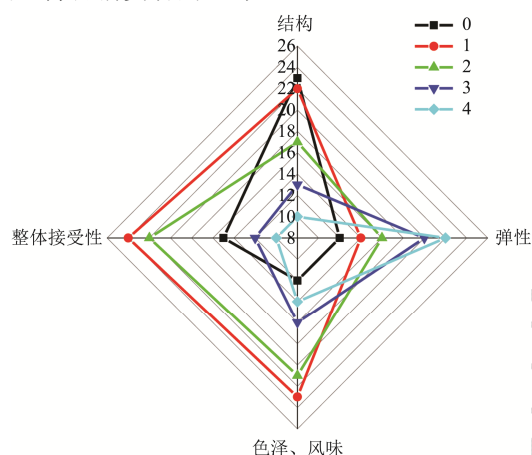


图6 金花茶粉对馒头感官品质的影响

Fig.6 The Influence of *camellia nitidissima* chi powder on steamed bread sensory quality

2.8 金花茶粉添加量对馒头微观结构的影响

如下图7a~e所示，分别添加0%~4%的金花茶粉馒头在电镜下放大相同倍数的内部结构的图片，空白组未添加金花茶的馒头中有比较连续紧密的面筋结构，面筋结构包裹着淀粉颗粒^[31]。在添加了金花茶粉之后，面筋结构发生改变，随着金花茶粉添加量的增多到3%时，其空间结构连接不起来，发生断裂，有大洞隙出现，这可能是因为过量金花茶粉增加，淀粉与水分子的结合力降低，淀粉颗粒显露出来。因此，金花茶粉过量添加会稀释面粉中的面筋量，从而破坏了面筋结构，使馒头品质发生改变。

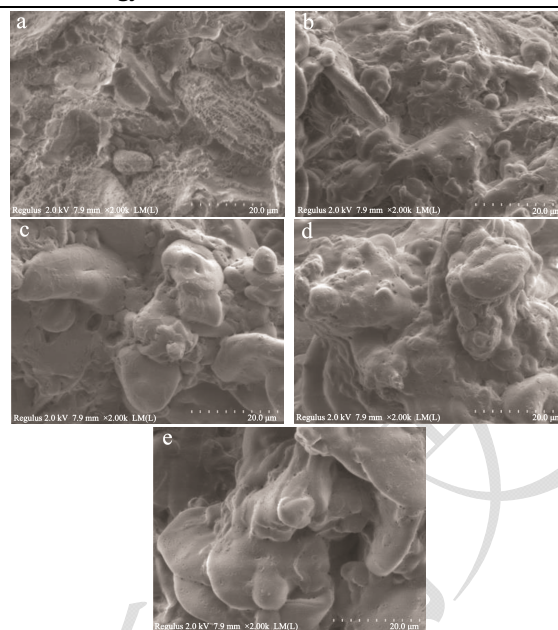


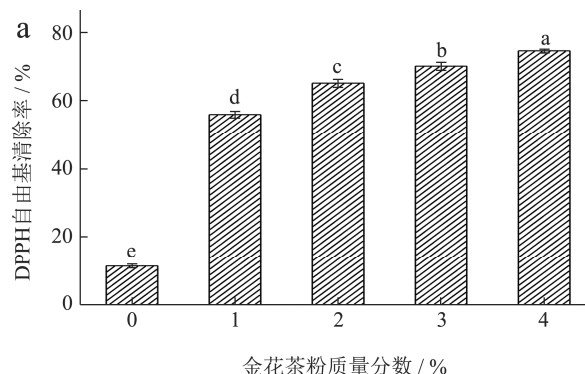
图7 金花茶粉对馒头微观结构的影响

Fig.7 The Influence of *camellia nitidissima* chi powder on the microstructure of steamed bread

注：a: 0%; b: 1%; c: 2%; d: 3%; e: 4%。

2.9 金花茶粉添加量对馒头抗氧化能力的影响

由于金花茶粉富含高抗氧化物质，如多酚和类黄酮，由于其广泛的生物活性而被广泛研究^[32]，金花茶粉馒头与对照组之间的抗氧化能力存在显著差异 ($P < 0.05$)。添加不同量的金花茶粉对馒头抗氧化活性的影响如下图所示8a~c所示。随着金花茶粉添加量的不断增加，抗氧化能力的三个指标也显著提升。当金花茶粉添加量为到4%时，对比空白组的DPPH自由基清除能力从11.48%提高到74.81%，提高了63.33%、还原能力从0.202到0.606，提高到原来的3倍，ABTS自由基清除能力从10.46%到70.03%提高了59.57%，因此，添加金花茶粉能有效提高馒头的抗氧化性，制备的馒头具有更好的营养与功效。



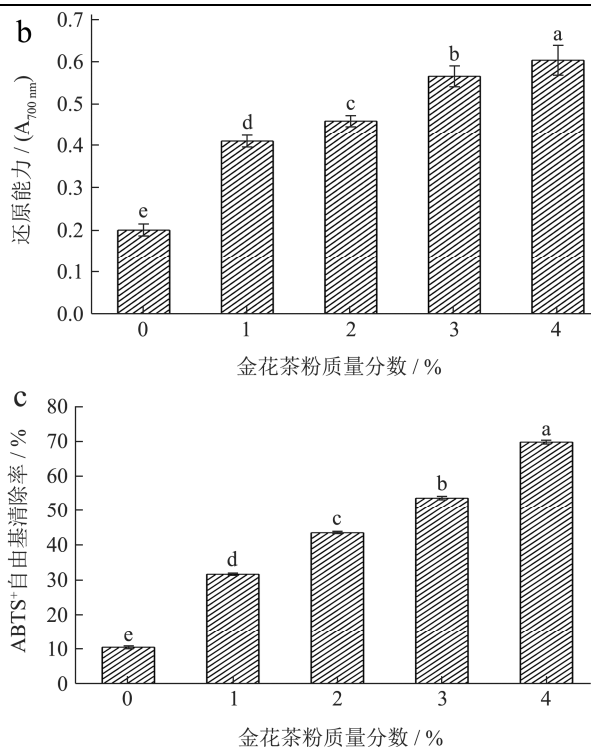


图8 金花茶粉对馒头抗氧化能力的影响

Fig.8 The Influence of *camellia nitidissima chi* powder on antioxidant capacity of steamed bread

3 结论

研究发现添加质量分数为 1%、2% 时的金花茶粉有助于提高馒头蒸煮品质,一定程度上降低面团的黏弹性,馒头质构更偏向于质地松软,容易咀嚼,适宜制作南方馒头。但是,随着金花茶粉添加量的继续提高,添加量大于 2% 时面团特性增强,表现出较强的黏弹性,馒头的比容、吸水性能降低,馒头的颜色也从白色逐步变成暗黄色,光泽度逐渐加深,亮度降低,质构特性降低但是有助于制作较为弹性、富有咀嚼性的北方馒头。

相比对照组,感官上添加 1%~2% 的金花茶粉的馒头表现出较好的口感和风味、色泽,易于消费者接受。随着金花茶粉添加量增多,其面团面筋空间的结构由连续到断裂,由密集到空洞。经过对馒头品质的综合分析,发现馒头感官品质评价指标与比容、色度 L 值、质构品质存在一定相关性,但有待进一步研究。此外,金花茶粉对馒头抗氧化能力产生不同影响,添加金花茶粉的馒头抗氧化功能明显优于普通小麦组馒头,且 DPPH 自由基清除能力、还原能力和 ABTS⁺ 自由基清除能力随着金花茶粉添加量增多显著提高,与对照组相比分别提高了 63.33%、40.4%、59.57%。因此,综合考虑馒头品质和营养价值,添加金花茶粉以 1%~2% 为宜,可改善馒头营养品质。

参考文献

- [1] 黄瑞斌,和太平,庄嘉,等.广西防城港市金花茶组植物资源及其保育对策[J].广西农业生物科学,2007,26(1):32-37.
- [2] Qi J, Shi R, Yu J, et al. Chemical constituents from leaves of *Camellia nitidissima* and their potential cytotoxicity on SGC7901 cells [J]. Chinese Herba Medicines, 2016, 8(1): 80-84.
- [3] Wang Z N, Sun B, Yang R J. Flavonoids and other phenolics from *Camellia nitidissima* chi flowers [J]. Natural Product Research, 2021, 4: 1-8.
- [4] 温静,梁伟,王欣晨,等.金花茶化学成分及抗炎抗氧化活性研究[J].中国药物化学杂志,2020,30(8):487-492.
- [5] 王梓灵,郭瑜婕,朱芸芸,等.金花茶有效部位抑制表皮生长因子受体(EGFR)抗非小细胞肺癌的作用机制研究[J]中国中药杂志,2021,46(20):5362-5371.
- [6] 路垚.金花茶多糖降血脂机理初探及其亲和层析分离技术的研究[D].湛江:广东海洋大学,2014.
- [7] 李航,李弘扬,李瑶,等.金花茶提取物对高血压模型大鼠血压和心率的影响[J].亚太传统医药,2017,13(20):8-11.
- [8] 黄思茂,曹后康,高雅,等.金花茶多糖对四氯化碳致小鼠急性肝损伤的保护作用及其机制的研究[J].中药药理与临床,2016,32(6):117-120.
- [9] 覃中凤,梁家亮,李宝生,等.金花茶浓缩液的应用探析[J].现代农业科技,2020,23:223-224.
- [10] 刘云,蒲成伟,司佳颖,等.响应面法优化云南金花茶饮料工艺的研究[J].食品研究与开发,2017,38(4):65-70.
- [11] 宁恩创,秦小明,杨宏.金花茶口服液加工工艺研究[J].食品工业科技,2006,1:121-122,125.
- [12] 郭娅.红花籽粕可溶性膳食纤维的提取和生理活性研究及应用[D].邯郸:河北工程大学,2021.
- [13] Chen Y W, Zhang F, Du Z C, et al. Proteome analysis of *Camellia nitidissima* Chi revealed its role in colon cancer through the apoptosis and ferroptosis pathway [J]. Frontiers in Oncology, 2021, 11: 727130-727130.
- [14] 赵时珊,蔡芳,隋勇,等.不同品种甘薯全粉品质特性比较[J].现代食品科技,2022,38(8):218-228.
- [15] 林江涛,程梦丽,谷玉娟.出粉率对小麦粉特性和馒头品质的影响[J].食品与发酵工业,2021,47(13):226-231.
- [16] 郑万琴,魏泉,谢勇,等.超微粉碎薯渣纤维对小麦面团流变特性的影响[J].食品与发酵工业,2020,46(8):192-198.
- [17] Guo Z H, Zhang H X, Chen K W, et al. Characterization of sonicated gluten protein and subsequent rheological properties of model dough and noodles [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2022, 29(10): 1002-1008.

- [18] GB/T 21118-2007,小麦粉馒头[S].北京:中国标准出版社, 2007.
- [19] 陈洁,李璞,汪磊,等.马铃薯生全粉-小麦粉混粉的特性及其对面条品质的影响[J].河南工业大学学报(自然科学版), 2020,41(4):16-23.
- [20] 李云,方加军,熊河生,等.不同品种芋头全粉理化特性研究[J].粮食与油脂,2020,33(4):58-61.
- [21] 杨双,郭晓娜,朱科学.碳酸氢钠添加对荞麦馒头品质的影响[J].中国粮油学报,2018,33(6):6-12.
- [22] 赵玲玲,王文亮,王月明,等.香菇超微全粉对面团特性及馒头品质的影响[J].粮油食品科技,2018,26(3):36-40.
- [23] 胡馨木,雷小青,李阳,等.不同品种马铃薯全粉对馒头品质及抗氧化活性的影响[J].粮食与油脂,2021,34(10):27-31.
- [24] 韩红超,李文钊,周航,等.发酵时间对馒头品质及面筋蛋白结构的影响[J].食品科学,2018,39(12):15-19.
- [25] 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.
- [26] Xiao Y, Xing G, 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.
- [27] 朱香杰,魏莹莹,赵双丽,等.马铃薯蛋白微凝胶对无麸质面团流变特性和微观结构的影响[J].食品与发酵工业,2023, 49(5):172-177,184.
- [28] Dang H V, Loisel C, Desrumaux A, et al. Rheology and microstructure of cross-linked waxy maize starch/whey protein suspensions [J]. Food Hydrocolloids, 2009, 23(7): 1678-1686.
- [29] 贺国亚,张国治,张康逸,等.青麦仁粉添加量对面包品质的影响[J].河南工业大学学报(自然科学版),2017,38(1):45-49.
- [30] 代雅杰,黑雪,邓莉梅,等.橘皮粉对面包烘焙品质及其酚类物质抗氧化能力的影响[J].食品与发酵工业,2018,44(4): 154-158.
- [31] 韩畅,林江涛,岳清华,等.苦荞麸皮粉添加量对面团性质及馒头品质的影响[J].食品与发酵工业,2022,48(7):140-145.
- [32] WANG Zhennan, SUN Bing, YANG Rui, et al. Flavonoids and other phenolics from *Camellia nitidissima* Chi flowers [J]. Natural Product Research, 2021, 18(4): 1-8.