



现代食品科技

Modern Food Science and Technology

ISSN 1673-9078, CN 44-1620/TS

《现代食品科技》网络首发论文

题目: 不同竹笋粉添加量的面团特性及面包品质的变化
作者: 王璧莹, 白莉, 李湘奎, 陈滢欣, 于立梅
DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.6.0762
收稿日期: 2022-06-16
网络首发日期: 2023-02-15
引用格式: 王璧莹, 白莉, 李湘奎, 陈滢欣, 于立梅. 不同竹笋粉添加量的面团特性及面包品质的变化[J/OL]. 现代食品科技.
<https://doi.org/10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.6.0762>



网络首发: 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式(包括网络呈现版式)排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认: 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊(网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊(网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物(ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

不同竹笋粉添加量的面团特性及面包品质的变化

王璧莹¹, 白莉², 李湘銮², 陈滢欣², 于立梅^{2*}

(1. 华南农业大学食品学院, 广东广州 510640) (2. 仲恺农业工程学院轻工食品学院, 现代农业工程创新研究院, 广东广州 510225) (3. 广东省岭南特色食品科学与技术重点实验室, 广东广州 510225)

摘要: 竹笋含有丰富的营养成分。为了探讨竹笋粉对面团和面包品质影响, 本文把竹笋粉以不同添加量 (0%、3%、5%、7%) 加入到小麦粉中制作成面包, 对面团面团筋蛋白、面包色泽、感官、质构特性和贮藏性进行测定。结果表明: 随着竹笋粉添加量的增加, 面团面团筋蛋白含量降低, 面包硬度和咀嚼性均提高。低剂量竹笋粉的添加 (3%~5%) 对面团的 pH 值和面筋含量影响不显著 ($P<0.05$), 但添加量为 7% 时湿面筋含量相对下降了 9.87%, 影响显著。竹笋粉添加与面包的比容和失水率呈负相关, 空白组、添加量 3%、5%、7% 的失水率分别为 2.45%、2.09%、2.17%、1.77%, 其硬度、胶着性、弹性以及咀嚼性变化显著 ($P<0.05$), 对内聚性、回复性影响不显著 ($P<0.05$)。添加竹笋粉 (3%~5%) 可以提升面包的色泽, 使面包具清香风味, 但 7% 的添加量使面包的色泽过深, 气味较浓。说明低剂量 (3%~5%) 的竹笋粉添加制备面包, 可提升面包咀嚼感, 亮色、丰富其营养成分, 还起到延缓面包老化作用。

关键词: 竹笋; 面团; 面包; 质构; 老化

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.6.0762

Change of Dough Properties and Bread Quality with Different Addition of Bamboo Shoot Powder

WANG Biying¹, BAI Li², LI Xianglun², CHEN Yingxin², YU Limei^{2*}

(1.College of Food Sciences, South China Agricultural University, Guangzhou 510640, China)

(2.College of Light Industry and Food Sciences, Academy of Contemporary Agricultural Engineering Innovations, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China)(3.Guangdong Provincial Key Laboratory of Lingnan Specialty Food Science and Technology, Guangzhou 510225, China)

Abstract: Bamboo shoots are rich in nutrient. In order to study the effect of bamboo shoot powder on the texture properties on dough and bread. Different amounts of bamboo shoot powder (0%, 3%, 5%, 7%) were added into wheat flour to make bread, and the dough gluten protein and bread color, sensory and texture characteristics were investigated. With the increase of bamboo shoot powder content, dough gluten protein were decreased, bread hardness and chew ability were increased. The addition of low dose bamboo shoot powder (3%~5%) had no significant effect on the pH value and gluten content of dough ($P<0.05$), the wet gluten content of 7% addition amount decreased by 9.87%, which had a significant effect. The addition of bamboo shoot powder was negatively correlated with the specific volume and water loss of bread. The water loss rates of blank group and addition group (3%, 5%, 7%) were 2.45%, 2.09%, 2.17%, 1.77% respectively, Significant changes were observed in hardness, gelatinization, elasticity and chewiness of bread ($P<0.05$). The cohesion and recovery of bread were not significantly different ($P<0.05$). Sensory evaluation showed that the color of bread were enhanced by adding the bamboo shoot powder, and more fragrance were developed. Deeper color and strongest bamboo shoot flavor were observed in the bread of 7% addition. Therefore low dose (3%~5%) of bamboo shoot powder enhanced bread chewiness, stronger color, more nutritious, strong water retention, which can delay the aging of bread.

Keywords: Bamboo shoots; Dough; Bread; Texture; Aging

收稿日期: 2022-06-16

基金项目: 广东省重点领域研发计划 (2020B020226010); 仲恺农业工程学院冲补强项目 (仲字 [2022] 20 号); 揭阳市农业产业链“链长制”市级产业链科技提升项目 (揭市农函[2022]683 号); 广东省农村科技特派员项目驻镇帮扶项目 (KTP20210383)

作者简介: 王璧莹 (2003-), 女, 本科生, 研究方向: 功能食品, E-mail: 1239579270@qq.com

通讯作者: 于立梅 (1973-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 功能食品化学、副产物综合利用, E-mail: 153089670@qq.com

面包在许多国家消费都是作为主食和休闲食品,多样化这一主流休闲面包由于其丰富的营养价值、食用方便、风味多样等特点被消费者喜爱^[1]。近年来,国民亚健康趋势使消费者对面包选择将更加注重安全、营养和健康,因此,在原材料的选择上,企业会趋向考虑食材的搭配,突出健康元素,营养功效和风味富集。为增加面包营养风味和花色品种,提高面包的食用价值,满足消费者对营养健康的追求,将营养丰富的植物原料部分替代小麦粉制作面包已渐成研究热点^[1,2]。Rainero 等^[3]研究了葡萄渣添加的面团特性及其面包品质提升方面,发现葡萄渣对面团变形及面包的品质、抗氧化均有相应改善。Saka 等^[4]通过燕麦添加,增加了膳食纤维和植酸含量,开发了具有降低胆固醇、平稳血糖、抗氧化等功效的燕麦面包。随着饮食西化、便捷化、健康化发展,面包正以各种形式切入主食市场,成为消费者主食的选择之一,未来发展空间广阔。在储藏的过程中,面包会发生一系列的物理化学变化和微生物的变化,如:面包的芳香消失;面包皮的色泽暗以及面包皮失去脆性、面包心会变硬、口感粗糙等。这些现象称为面包的老化(硬化或陈化)^[5]。面包老化的重要标志则是面包硬度的增加。面包因为老化缩短了销售半径,也给烘焙行业造成了经济损失。因此,延缓面包的老化、延长面包的保鲜期就具有十分重要的现实意义。据报道高膳食纤维的添加可以增加面包的保水性,使面包在存储过程中保持新鲜的质构和较好的弹性特征^[6,7]。

竹笋作为最具中国特色的民族食材,被誉为“蔬食第一品”,味道清香,口感质脆,它具有高纤维、低热量和低脂肪的食用特性,尤其突出在维生素 C、胡萝卜素的含量上,其含量是超过菌类食材的一倍,并富含矿物质元素和人体所需的 18 种氨基酸^[8,9]。从中医角度解析,竹笋性甘、微寒,可以起到清热去痰功效,尤其对湿寒引发的咳嗽、高血压、肠道菌群不平衡造成的便秘、糖尿病均具有一定疗效,是一种理想药食同源的膳食纤维原料^[10,11]。竹笋和其他原料的风味不同,有着特殊的清新香味,目前,竹笋嫩叶主要用于烹饪成各式菜肴/罐头,有养肝明目、改善肠胃功能、有利于开胃健脾,深受广大消费者青睐。但作为添加成分在主食中的应用还未见公开报道。若将竹笋和面包制作融合,不仅丰富焙烤制品种类,完善营养结构,还能拓展竹笋的应用领域。本文将新鲜竹笋干燥制粉筛分后,研究了竹笋粉添加量对面团发酵 pH 变化,面团面筋含量及面包的色差、感官、质构特性的影响,为竹笋粉在面团和面包中应用提供理论;并通过贮藏过程水分变化、质构变化,探讨竹笋粉添加对面包抗

老化效果,拓展竹笋的应用领域,促进农民脱贫致富和乡村振兴。

1 材料与方法

1.1 试验材料

面包专用小麦粉,江苏南顺食品有限公司;麻竹笋粉,自制;活性干酵母,安琪酵母股份有限公司;白砂糖,太古糖业有限公司;黄油购自广州华润万家超市。

1.2 仪器与设备

JYL-C16D 厨房机械料理机,九阳股份有限公司;WFZ800-D3B 紫外分光光度计,上海汇质精密仪器有限公司;JJ-2B 组织捣碎机;PH-3C 数字型酸度计,上海雷磁仪器厂;HL-2DW 远红外电热烤箱,广州番禺成功烘焙设备有限公司;FX-01 (18) 发酵箱,超群食品机械公司;WN 全自动测色色差计,深圳市威福光电科技有限公司;Rapid TA 质构仪,上海腾拔仪器科技有限公司;DK-S22 电热恒温水浴锅,广东环凯微生物科技有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 竹笋粉制备

新鲜竹笋用水冲洗干净,去外皮,剩余部分切成片状,50℃干燥至含水量 6% 左右,粉碎过筛,混匀制得竹笋粉。

1.3.2 混合粉的制备

以高筋面粉 100% 计,分别加入 0%、3%、5%、7% 的竹笋粉来代替高筋面粉,将其均匀混合,即得出不同梯度的混合粉样;则不添加竹笋粉制作出来的面包作为空白对照,即白面包。

1.3.3 面团准备

称取 100 g 混合面粉放入搅拌机中,依次加入 65 g 约 30℃ 的温水、酵母 1 g、糖 10 g,搅拌 20 min 后加入黄油 7 g、盐 0.6 g 和面 12 min 即可,然后放在醒发室中发酵。

1.3.4 面包工艺流程

酵母、混合粉搅拌均匀→加入糖水→和面 20 min→加入黄油、盐→再和面 12 min→分割成型→搓圆→醒发(38℃~40℃,湿度保持 80%、45 min)→烘烤→冷却至室温。

烤制:烤箱顶火设置为 220℃、底火设置为 190℃、烤制时间为 20 min。将搓圆整形好的面团和冷却至室温的面包保存好用于后续实验进行测定。

1.3.5 面团发酵过程中 pH 的测定

将搓圆整形好的面团放入醒发箱 (38 ℃~40 ℃), 每隔 20 min 取出面团放入烧杯, 加入 100 mL 的水搅拌均匀制备样液, 利用酸度计测定样液 pH 值。

1.3.6 湿面筋的含量测定

根据 GB/T 55061-2008 手洗法测定湿面筋。洗好的湿面筋是柔软而有弹性的软胶物质, 湿面筋含量的多与少会影响面包的最终品质。湿面筋含量计算公式:

湿面筋= $\frac{W_1}{W} \times \frac{86}{100-M} \times 100\%$ (1)

表 1 感官评分对照表

Table 1 Sensory score comparison table

	1~9 分	10~15 分	16~20 分
形态 (20 分)	表皮有裂纹、塌陷或有气泡, 不平滑或有较多焦斑	表皮较完整, 无缺损龟裂, 无气泡或略有明显焦斑	表皮完整, 无缺损龟裂, 无气泡, 无明显焦斑
色泽 (20 分)	表皮色泽不均匀, 呈淡棕色, 无光泽, 有烤焦或发白现象	表皮色泽不均匀, 呈淡棕色, 光泽度差, 无烤焦发白现象	表皮色泽均匀, 呈金黄色, 有光泽, 无烤焦发白现象
组织 (20 分)	气孔不均匀, 大孔洞较多, 组织粗糙紧实, 弹性差, 切片后易断裂, 按下不复原或难复原	气孔较均匀, 无明显大孔洞, 组织较柔软、有一定弹性, 按压后基本复原	内部气孔均匀、细腻、柔软有弹性, 纹理清晰, 呈海绵状, 按下能迅速恢复原状
滋味与口感 (20 分)	口感粗糙、粘牙, 味道不适口	口感粗糙、粘牙, 味道不适口	松软, 不粘牙, 味道适口
风味 (20 分)	无香味, 竹笋味道太浓或太淡, 有异味	面包香味较淡, 竹笋清香较淡或较浓, 无异味。	具有烘烤后面包香味, 有竹笋清香, 无异味

1.3.8 面包的比容测定

依据 GB/T 20981-2007 中比容测定的方法。取一个冷却至室温的面包, 先称其重量 M (g), 再取已知容积的烧杯, 把填充剂小米加入此容器至容器的最高刻度线, 倒出小米, 将待测面包放入烧杯, 把此小米边倒入边震荡填满烧杯, 然后把面包取出后量取剩余小米的体积 V (mL), 从而得面包的比容 (P):

$P(mL / g) = V / M$ (2)

1.3.9 面包组织的色差测定

利用色差仪对面包组织的颜色进行测定, 能够直观地反映面包组织中颜色色差变化的一个过程。将冷却至室温的面包进行裁切, 去除外壳与底部, 保留面包的组织部分, 将其切成约 2.0 cm×2.0 cm 的正方形小块, 通过色差仪对各小块面包正面的 L*值、a*值和 b*值进行测试, 比较不同比例竹笋全粉的添加量对面包色泽的差异。其中, L*值表示明亮度或色泽的深浅, 取值范围为 0~100, L*=100 时为白色, 当 L*值越小, 面包的透光性越差, 则反映面包的色泽越深; 色品指数 a*值表示红/绿色, 当 a*值为正数, 数值增加, 则颜色偏红, 当为负数, 数值减少时, 则颜色偏绿; 色品指数 b*值表示黄/蓝色, 当 b*值为正数, 数值增加时, 颜色偏黄, 反之当 b*值为负数, 数值减少时, 颜色偏蓝。

式中:

Gwet——湿面筋的含量 (%);

W——面粉的质量 (g);

W₁——湿面筋的质量 (g);

M——100 g 面粉含水量。

1.3.7 面包的感官评定

参照 GB/T 20981-2007 对面包感官的要求制作了以下感官评分对照表。面包冷却至室温后, 选取了 10 名感官评价小组人员进行现场感官评定, 评定指标如下表 3, 总分 100 分。

1.4 面包贮藏性

1.4.1 面包在贮藏过程中质构的测定

待面包冷却至室温后, 分组备注为白面包、3%竹笋面包、5%竹笋面包、7%竹笋面包, 将备注好的面包室温贮藏, 每天测定一次。质构仪的参数: 选用 P/36 R 探头, 测试速度为 1.0 mm/s, 压缩比为 50%, 感应力 5 g, 载物距离为 40 mm, 测得面包的硬度、弹性、咀嚼性、胶着性等。

1.4.2 面包在贮藏过程中水分含量的测定

待面包冷却至室温后, 用保鲜袋分装并用标签进行备注, 标签分别备注为白面包、3%竹笋面包、5%竹笋面包、7%竹笋面包, 将备注好的面包进行室温保存 0、1、2、3、4 天, 每天称量, 得出面包的重量 m, 利用公式: 失水率= [(原重量-测量重量) / 原重量] ×100%, 求出失水率^[12]。

1.5 数据分析

所有试验处理进行三次重复测定, 测定数据以平均值或平均值±标准偏差 ($\bar{X} \pm SD$) 的形式表示。利用 Excel 软件对数据进行整理, 运用软件“SPSS 26.0”进行统计学数据分析 (P<0.05, 表示显著性水平), 数据图通过 Origin 制图软件绘制。

2 结果与分析

2.1 竹笋粉的添加量对面团 pH 的影响

面团发酵过程中的 pH 变化如图 1 所示。由图 1 可知,随着醒发时间的增加,面团在发酵过程中的 pH 值总体是呈下降趋势,这是因为面团发酵过程中主要是乳酸发酵,由于其在该过程产生的乳酸量较多导致面团酸度明显增加^[13]。从未发酵阶段(0 min)中可以看出,添加了竹笋全粉的面团 pH 值较未添加竹笋全粉的面团 pH 值低,差异显著($P<0.05$),这可能是由于竹笋粉中富含有机酸的物质,使面团的酸性程度变强。在面团发酵 20~80 min 的阶段,各组面团的 pH 值差异不明显($P<0.05$),在面团发酵到 80 min 时,白面包的 pH 值和 3%竹笋面包、5%竹笋面包的 pH 值相近,7%的竹笋粉添加后对于面团的 pH 值稍强,但影响不显著。Beltrão 等^[14]研究了橡子粉对无麸质面团流变特性的影响,发现从对照面团到橡子面团的 pH 值显著降低,导致面团的酸化。

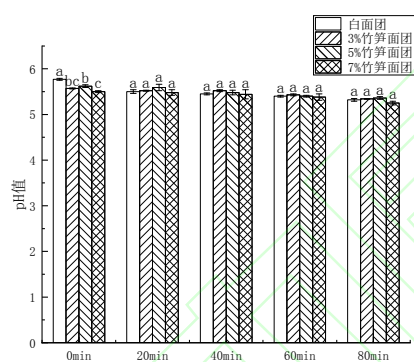


图1 竹笋粉的添加量对面团 pH 的影响

Fig.1 Effect of adding amount of bamboo shoot powder on pH of dough

2.2 竹笋粉添加量对面团中湿面筋含量的影响

不同比例的竹笋粉添加量对面团中湿面筋含量的变化如图 2 所示。面筋的形成主要是由面粉中的麦胶蛋白与麦谷蛋白混合体系通过吸水膨胀而成,面筋在面团形成过程中具有重要的作用,是发酵面制品不可或缺的组分,其数量多少和质量优劣直接影响面包的品质^[15,16]。由图 2 可以看出,随着竹笋全粉的添加量增加,面团形成湿面筋含量总体呈下降趋势,未添加竹笋粉的白面包中湿面筋含量为 24.01%,当竹笋粉添加量为 3%时,湿面筋含量变化不显著($P<0.05$);当竹笋粉添加量为 5%时,湿面筋含量为 22.20%,相对

下降了 1.81%;当竹笋粉添加量为 7%时,湿面筋含量变化显著($P<0.05$),说明了竹笋粉的添加会影响面筋的形成,导致降低了面团中湿面筋的含量,由于竹笋全粉中只含有竹笋本身的营养物质成分,而并不具有麦谷蛋白与麦胶蛋白这两种重要成分,因此,影响蛋白网络结构的形成,使得面筋含量逐渐减少,但低剂量添加影响不显著($P<0.05$)。杨文建^[17]的研究也表明茶树菇粉的添加会显著的降低淮山小麦混合粉的湿面筋含量。

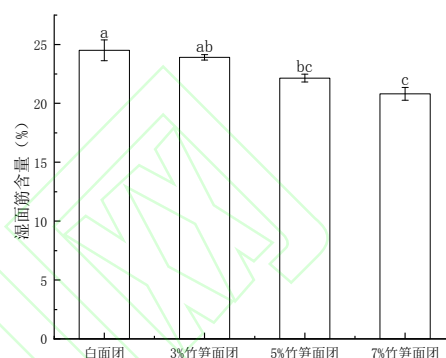


图2 竹笋粉添加量对面团中湿面筋含量的影响

Fig.2 Effect of bamboo shoot powder on wet gluten content in dough

2.3 竹笋粉添加量对面包感官品质的影响

感官评价是食品中应用最广泛、效果较明显的食品评价方法,能够真实客观反映食品品质。由表 2 可知,添加 3%、5%、7%的竹笋粉面包的色泽评分相较于白面包更高,其表面拥有均匀的金黄色,说明添加竹笋全粉能提升面包的外在色泽。添加不同比例(3%、5%、7%)的竹笋粉量对面包的形态影响不明显,偏移在 14.1~15.4 之间。竹笋粉的添加影响了面包在发酵过程中组织气孔的大小和分布均匀性,其添加量越高,影响效果会逐渐增强。加入竹笋粉后,面包的滋味与口感得到提升。面包的滋味与口感和面包的柔软程度、弹性、咀嚼性等因素有关,因此,竹笋粉的添加提升了面包的咀嚼性,使其相较于白面包更具咀嚼感。竹笋粉的添加量越多,咀嚼感越强,但咀嚼感过强,会影响面包的松软程度。3%竹笋面包风味评分高于白面包,感官评分为 17.6,说明了添加竹笋粉后,面包具有的淡淡清香有助于提高面包的风味;7%竹笋面包的评分显著低于白面包($P<0.05$),感官评分为 15,竹笋粉的添加量增大,影响了面包的原始风味。综上,3%~5%竹笋粉的添加能够提升面包的色泽、风味以及滋味与口感,略微影响面包的形态与组织。

表 2 竹笋粉添加量对面包感官品质的影响

Table 2 Effect of bamboo shoot powder on sensory quality of bread				
评分标准	白面包	3%竹笋面包	5%竹笋面包	7%竹笋面包
色泽	17.6±0.843 ^a	18.0±1.155 ^a	18.3±0.949 ^a	17.8±0.919 ^a
形态	16.0±1.054 ^a	14.1±0.994 ^b	15.4±1.265 ^a	14.2±1.033 ^b
组织	16.5±1.080 ^a	15.0±1.563 ^b	14.6±1.265 ^b	13.8±1.398 ^b
滋味与口感	15.3±1.160 ^a	15.5±1.509 ^a	16.0±1.333 ^a	16.3±1.418 ^a
风味	17.0±1.155 ^{ab}	17.6±0.966 ^a	16.2±0.919 ^b	15.0±1.155 ^c

注：同列字母不同表示存在显著性差异（ $P<0.05$ ）。下表同。

2.4 竹笋粉添加量对面包色差的影响

表 3 竹笋粉添加量对面包色差的影响

Table 3 Effect of bamboo shoot powder on bread color difference			
	L^* 值	a^* 值	b^* 值
白面包	82.35±4.32 ^a	-0.89±0.27 ^c	16.12±0.88 ^c
3%竹笋面包	75.70±1.30 ^b	1.04±0.38 ^{bc}	22.83±1.47 ^b
5%竹笋面包	72.36±1.31 ^{bc}	3.14±1.30 ^{ab}	26.29±1.55 ^a
7%竹笋面包	66.91±3.61 ^c	4.60±1.77 ^a	27.26±1.41 ^a

根据色差仪对面包组织的测试有明度值 L^* 值、色品指数 a^* 值和色品指数 b^* 值。将竹笋全粉添加到面包中，面包组织的明度值 L^* 值变化如表 3 所示。在面包焙烤的阶段，糖类与氨基等化合物发生美拉德反应，从而影响了面包颜色^[18]。未添加竹笋粉的面包组织烘焙出来的亮度最好，随着竹笋粉添加量增加， L^* 值逐渐减小，与白面包相比，3%~7%竹笋粉添加面包 L^* 值变化显著（ $P<0.05$ ），相比白面包， L^* 值降低了 18.7%，说明竹笋粉的添加会使面包组织赋予一定的色泽，添加的量越多，面包组织的颜色就越深。随着竹笋粉添加量增加， a^* 值， b^* 值逐渐增加，3%竹笋粉添加与白面包相比 a^* 值变化不显著（ $P<0.05$ ）。随着竹笋粉的添加量增加，面包组织的色品指数 b^* 值逐渐增大，面包组织的颜色与色品指数 b^* 值呈正相关，其中 3%~5% 竹笋粉添加的面包 b^* 值变化显著（ $P<0.05$ ），最大增加了 68.7%，面包烘焙后，面包组织的颜色逐渐偏黄，面包组织的色品指数 b^* 值增大可能是由于竹笋粉颜色是呈黄色，当添加的量增加就会改变面包组织的色泽以及其独有的风味。刘滔^[19]研究发现添加柿粉也会使面包瓤的 L^* 值下降，色泽变暗。

2.5 面包比容

竹笋全粉添加量对面包比容的影响如图 3 所示。随着竹笋全粉添加量的不断增加，面包比容呈下降趋势，说明了竹笋全粉的量与面包的比容呈负相关。空白组的面包比容为 3.01 mL/g，7%的竹笋粉添加面包比容变化显著（ $P<0.05$ ），均值为 2.26 mL/g，3%、5%的竹笋粉添加面包比容变化不显著（ $P<0.05$ ），均值分

别为 2.86 mL/g、2.68 mL/g。因为竹笋粉的添加影响发酵过程中面团的产气、保留气体能力以及膨胀稳定性等因素^[20]。这与竹笋全粉的添加会影响面筋的形成，使其含量降低有关。面筋蛋白的含量及其形成的网络结构，会影响面团在发酵过程中面团的产气、保留气体能力及面包的比容^[21]。在感官评分中，面包的组织评分以白面包为最高，而竹笋粉的添加略微影响了组织评分，以 3%和 5%的竹笋粉添加影响小，因此，虽然竹笋粉的添加降低了面包的比容，影响了面包组织，但低剂量（3%~5%）的添加影响效果微小，差异不明显。Sivam^[22]研究发现小麦粉中添加藜麦叶粉和黑茶粉，这些纤维成分能够束缚面团中的部分水分，阻滞用于淀粉-面筋蛋白网络结构构建吸收水量，不利于面筋网络形成和扩展阶段完成，进而降低面包的比容。Ma^[23]研究发现麦麸膳食纤维的添加会引起面团硬度增加，比容下降。

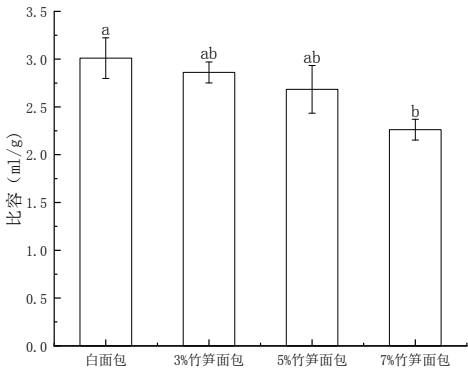


图 3 竹笋粉添加量对面包比容的影响
Fig.3 Effect of bamboo shoot powder on specific volume of bread

2.6 面包贮藏性

2.6.1 面包贮藏过程全质构的特性

质构仪的全质构测定模式（Texture Profile Analysis, TPA）可以通过客观数据表达，较好的模拟食物在口腔中的咀嚼状态，得到硬度、咀嚼性、弹性、内聚性和回复性等特征参数^[24]。添加不同量（0%、3%、5%、7%）的竹笋全粉制作面包，并且将其放置一段时间储藏后，所测的全质构参数如表 4~9 所示。

表 4 竹笋全粉添加量对面包硬度的影响

Table 4 Effect of bamboo shoot powder on bread hardness

面包种类	硬度/g				
	0 d	1 d	2 d	3 d	4 d
白面包	418±40 ^c	847±123 ^c	1 061±138 ^c	1 163±15 ^c	1 435±42 ^d
3%竹笋面包	543±9 ^b	1 015±64 ^{bc}	1 218±22 ^{bc}	1 601±93 ^b	2 027±51 ^b
5%竹笋面包	593±30 ^{ab}	1 133±18 ^{ab}	1 369±39 ^{ab}	1 345±18 ^c	1 759±78 ^c
7%竹笋面包	663±18 ^a	1 304±26 ^a	1 561±52 ^a	1 997±112 ^a	2 555±114 ^a

表 5 竹笋全粉添加量对面包咀嚼性影响

Table 5 Effect of bamboo shoot powder on chewiness of bread

面包种类	咀嚼性/g				
	0 d	1 d	2 d	3 d	4 d
白面包	326±35 ^c	626±91 ^b	820±80 ^b	933±2 ^d	1128±37 ^c
3%竹笋面包	431±1 ^b	772±45 ^{ab}	943±18 ^{ab}	1 266±57 ^b	1 514±24 ^{ab}
5%竹笋面包	472±24 ^{ab}	847±14 ^a	1 050±48 ^{ab}	1 056±17 ^c	1 350±51 ^{bc}
7%竹笋面包	524±36 ^a	963±110 ^a	1 180±147 ^a	1 604±31 ^a	1 760±166 ^a

表 6 竹笋全粉添加量对面包胶着性影响

Table 6 Effect of total powder of bamboo shoots on stickiness of bread

面包种类	胶着性/g				
	0 d	1 d	2 d	3 d	4 d
白面包	343±35 ^c	658±101 ^c	865±93 ^b	977±6 ^d	1 197±52 ^c
3%竹笋面包	455±4 ^b	808±48 ^{bc}	994±16 ^b	1 335±61 ^b	1 665±39 ^b
5%竹笋面包	500±25 ^{ab}	896±12 ^{ab}	1 114±39 ^{ab}	1 116±16 ^c	1 468±63 ^{bc}
7%竹笋面包	559±29 ^a	1 044±99 ^a	1 277±151 ^a	1 680±19 ^a	2 054±205 ^a

表 7 竹笋全粉添加量对面包弹性影响

Table 7 Effect of bamboo shoot powder on the elasticity of bread

面包种类	弹性/g				
	0 d	1 d	2 d	3 d	4 d
白面包	0.949±0.004 ^a	0.951±0.007 ^a	0.948±0.010 ^a	0.955±0.004 ^a	0.943±0.010 ^a
3%竹笋面包	0.947±0.006 ^a	0.954±0.000 ^a	0.949±0.002 ^a	0.948±0.000 ^a	0.909±0.007 ^b
5%竹笋面包	0.944±0.001 ^a	0.944±0.003 ^{ab}	0.943±0.010 ^{ab}	0.945±0.002 ^a	0.919±0.005 ^b
7%竹笋面包	0.938±0.015 ^a	0.922±0.018 ^b	0.924±0.006 ^b	0.955±0.029 ^a	0.857±0.004 ^c

表 8 竹笋全粉添加量对面包内聚性影响

Table 8 Effect of bamboo shoot powder on cohesion of bread

面包种类	内聚性/g				
	0 d	1 d	2 d	3 d	4 d
白面包	0.822±0.007 ^a	0.781±0.006 ^a	0.816±0.020 ^a	0.841±0.016 ^a	0.834±0.001 ^a
3%竹笋面包	0.840±0.007 ^a	0.799±0.005 ^a	0.818±0.001 ^a	0.834±0.009 ^a	0.821±0.002 ^a
5%竹笋面包	0.843±0.000 ^a	0.795±0.001 ^a	0.814±0.006 ^a	0.828±0.000 ^a	0.833±0.001 ^a
7%竹笋面包	0.844±0.067 ^a	0.802±0.092 ^a	0.817±0.069 ^a	0.843±0.057 ^a	0.803±0.044 ^a

表 9 竹笋全粉添加量对面包回复性影响

Table 9 Effect of bamboo shoot powder on bread recovery

面包种类	回复性/g				
	0 d	1 d	2 d	3 d	4 d
白面包	0.496±0.050 ^a	0.428±0.034 ^a	0.410±0.012 ^a	0.422±0.036 ^a	0.390±0.036 ^a
3%竹笋面包	0.469±0.034 ^a	0.402±0.010 ^a	0.388±0.010 ^a	0.399±0.008 ^a	0.385±0.011 ^a
5%竹笋面包	0.527±0.001 ^a	0.438±0.013 ^a	0.410±0.013 ^a	0.377±0.001 ^a	0.381±0.008 ^a
7%竹笋面包	0.511±0.040 ^a	0.430±0.043 ^a	0.395±0.040 ^a	0.393±0.033 ^a	0.384±0.035 ^a

面包硬度是评价面包品质好坏的重要指标,也是面包老化程度的一个重要标志,硬度的数值变化越大,面包老化的程度越快。从表 4 中可以看出:烘烤后添加竹笋后面包硬度增加,添加量越大,硬度越大。硬度的增大与前面竹笋粉的添加降低了混合粉面筋蛋白

的含量有关,竹笋粉加入阻滞面筋蛋白网络结构的形成,导致面团的延伸性降低,不利于面团的蓬松,导致硬度增加。An Akin 等^[25]发现茶纤维加入面团,降低了面团的延展性、膨胀指数,增加了面团硬度。当面包放置 1 天后,白面包、3%竹笋全粉面包、5%竹

笋全粉面包、7%竹笋全粉面包硬度分别增加了102.44%、86.88%、90.97%、96.67%。据分析,添加了竹笋全粉后,由贮藏导致的面包硬度增加的幅度均有不同程度的下降;当面包放置2天后,面包硬度分别变化为153.62%、124.33%、130.84%、135.52%,相比于放置一天的面包硬度分别增加幅度为51.18%、37.45%、39.87%、38.85%,添加了竹笋全粉面包的硬度变化相对于白面包更小,差异显著($P<0.05$),因此,竹笋全粉添加到面包中有助于减缓面包的硬度,进而防止老化。

面包咀嚼性是面包在口腔内经牙齿咀嚼的难易程度或舒适程度。从表5中可以看出,冷却后的面包(0d)随着竹笋粉加入,面包咀嚼性增加,这种变化是因为竹笋粉对面筋蛋白的稀释作用降低了面团中的总水分,另一方面蛋白质-多酚复合物的形成固化了面筋蛋白网络,所以面包的咀嚼性增大^[26]。随着贮藏时间增加,添加或未添加竹笋全粉的面包咀嚼数值变化的越大。从表6中可以发现:当面包放置1天后,白面包、3%竹笋全粉面包、5%竹笋全粉面包、7%竹笋全粉面包咀嚼程度分别变化了92.03%、78.92%、79.25%、83.87%。添加了竹笋全粉的面包咀嚼程度均有不同程度的下降;当面包放置2天后,面包咀嚼程度分别变化为151.53%、118.71%、122.33%、125.28%,相比于放置一天的面包咀嚼程度分别增加幅度为59.5%、39.79%、43.08%、41.41%,添加竹笋全粉的面包咀嚼变化程度相比于未添加竹笋全粉面包的变化更小,差异显著($P<0.05$)。面包的胶着性能够反应面包的品质,该值模拟了将面包破裂至吞咽状态时所需要的能量,数值变化趋势越大,品质越不好。从表6可得出,在面包放置第0~4天,添加竹笋全粉和面包的胶着性有明显影响($P<0.05$)。当面包放置1天后,白面包、3%竹笋全粉面包、5%竹笋全粉面包、7%竹笋全粉面包胶着性分别变化了91.8%、77.5%、79.2%、86.7%。添加了竹笋全粉后,由贮藏导致的面包胶着性增加的幅度均有不同程度的下降;当面包放置2天后,面包胶着性分别变化为152.19%、118.46%、122.8%、128.24%,相比于放置一天的面包胶着程度分别增加幅度为60.4%、41.0%、43.6%、41.54%,说明竹笋粉的添加能够降低面包的胶着性变化趋势,提升面包的品质。当面包弹性值、内聚性和回复性越大时,则表明面包入口柔软且富有弹性,品质更佳。但从表7可以看出,弹性由于本身数值小,添加竹笋粉后的面包弹性变化不明显,与现有文献中小麦纤维、大豆纤维面包质构变化趋势一致^[27,28],但程度有差异。随着贮藏时间的延长,添加3%~5%竹笋粉的面包弹性变化不

显著,添加7%的竹笋全粉的面包相较于白面包的弹性变化较明显($P<0.05$),说明竹笋全粉的添加对面包的弹性有一定的影响。从表9可分析得出,在面包放置第0~2天,添加竹笋全粉的面包的內聚性相较于白面包更高;而将面包放置到第3~4天,白面包的內聚性反而比添加了竹笋全粉的面包高,但两者之间的显著性并不明显($P>0.05$),说明了竹笋全粉的添加对面包內聚性的影响不大。面包的回复性与面筋蛋白网络强度的减弱有关^[29]。表9可得出,不同比例(3%、5%、7%)的竹笋全粉加入到面包后,面包的回复性变化不显著($P>0.05$)。综上,添加竹笋全粉会降低面包的硬度变化趋势、胶着性变化趋势和弹性,提升面包的口感;能够提高面包的咀嚼性,使面包更具咀嚼感;对面包的內聚性以及回复性的影响不明显。

2.6.2 竹笋全粉添加量对面包中失水率的影响

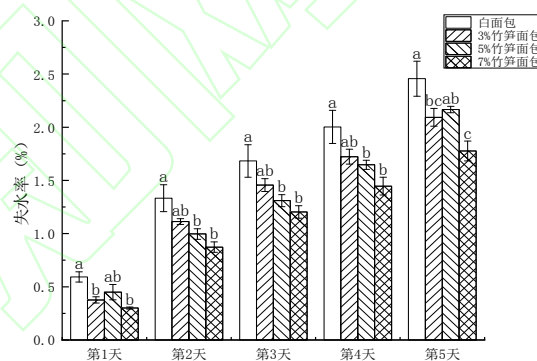


图4 竹笋粉添加量对面包失水率的影响

Fig.4 Effect of bamboo shoot powder on water loss rate of bread

由图4可知,随着面包存放的时间延长,面包的失水率不断上升,在存放的整个周期(1~5d)内,相比于白面包,竹笋粉的添加与面包的失水程度具有显著相关性($P<0.05$),空白组失水率2.45%,添加竹笋粉3%、5%、7%的失水率分别为2.09%、2.17%、1.77%,说明竹笋粉的添加能够降低面包的失水率。面包存放的1~5天,7%竹笋粉添加量的面包始终比其他面包的失水率低,表明其保水效果最强,这可能是由于竹笋粉中含有膳食纤维,竹笋膳食纤维能够通过自身的亲水作用以及与面粉中淀粉相互作用形成复合物,改善面团的面筋网络结构,阻碍面团中水分迁移,增强面团的持水性,从而提高面团的黏弹性,从而提高了面包的保水性,减少淀粉的回生数量,降低面包的老化速率^[30]。Jiang等^[31]研究发现马铃薯,豆渣和魔芋粉加入面团中,可以改善质地,降低水的流动性,减少面包在贮存中失水收缩和减缓老化延长面包货架期。因此,可以通过适量添加竹笋粉来提高面包的抗老化能力。

3 结论

竹笋粉添加到面包的制作中,可以赋予面包独特的外观色泽和营养。随着竹笋粉添加量增加,逐渐弱化蛋白网络结构的形成,使得湿面筋含量逐渐减少,但低剂量的添加(3%~5%)影响效果不显著。整个发酵阶段,竹笋粉添加不会显著影响面团的pH值变化。竹笋粉的添加能够提升面包的色泽、风味以及滋味与口感,略微影响面包的形态与组织,5%的竹笋粉添加量感官评价最高。添加竹笋粉会降低面包的硬度、胶着性以及弹性,但能够提高面包的咀嚼性,使面包更具咀嚼感;对面包的内部性、回复性的影响效果不明显。竹笋粉添加降低了面筋蛋白和面包比容,3%~5%竹笋粉添加量提升了面包的保水性,改善面包的抗氧化能力和改善面包的营养结构。但添加竹笋粉如何消减面筋的形成和面筋结构,改善面包老化机理有待进一步研究。

参考文献

- [1] Millar KA, Barry-Ryan C, Burcek R, et al. Dough properties and baking characteristics of white bread, as affected by addition of raw, germinated and toasted pea flour[J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2019, 56: 1-11.
- [2] Dziki D, Rozylo R, Gawlik-Dziki U, et al. Current trends in the enhancement of antioxidant activity of wheat bread by the addition of plant materials rich in phenolic compound[J]. *Trends in Food Science and Technology*, 2014, 40(1): 48-61.
- [3] Rainero G, Bianchi F, Rizzi C, et al. Breadstick fortification with red grape pomace: Effect on nutritional, technological and sensory properties[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2022, 102(6): 2545-2552.
- [4] Saka M, Özkaya B, Saka İ. The effect of bread-making methods on functional and quality characteristics of oat bran blended bread[J]. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 2021, 26: 100439.
- [5] 赵甜甜,张国治.面包老化的影响因素及其控制途径[J].*粮食加工*,2021,46(3):24-27.
- [6] 田海娟,朱珠,高筠鹏,等.荞麦粉对面团特性及面包品质的影响[J].*粮食与油脂*,2018,31(12):25-27.
- [7] Ding S, Peng B, Li Y, et al. Evaluation of specific volume, texture, thermal features, water mobility, and inhibitory effect of staling in wheat bread affected by maltitol[J]. *Food Chemistry*, 2019, 283(15) : 123-130
- [8] 吴良如.竹笋-大健康蓬勃发展背景下的未来食品[J].*国土绿化*,2019(10):23-25.
- [9] 唐昊,李沅秋,甘晓凤罗,等.基于广泛代谢组学分析慈竹笋营养成分及其提取物的抗氧化活性[J].*现代食品科技*,2021,37(06):304-311.
- [10] 冯爱博,杨光,贺亮,等.竹笋有效成分提取纯化技术及其生物活性的研究进展[J].*食品与发酵科技*,2018,54(03):46-50.
- [11] Singh P, Rathore M, Prakash H G. The Nutritional Facts of Bamboo Shoots have a Potential and Prospects for Utilization as a Health Food: A Review[J]. *Asian Journal of Dairy and Food Research*, 2021, 40(4): 388-397.
- [12] 田海娟,胡征宇,孙宇等.发酵紫苏粉对面团储藏品质影响的研究[J].*食品工业科技*,2019,40(23):261-265+271.
- [13] 朱姐,郑成红.面包面团发酵性能研究[J].*中国果菜*,2020,40(04):12-15.
- [14] Beltrão Martins R, Nunes M C, M. Ferreira L M, et al. Impact of acorn flour on gluten-free dough rheology properties[J]. *Foods*, 2020, 9(5): 560.
- [15] 李真.大麦粉对面团特性与面包烘烤品质的影响及其改良剂研究[D].江苏大学,2014.
- [16] 高凤,郭晓娜,朱科学.面粉特性对燕麦挂面品质的影响[J].*食品与生物技术学报*,2021,40(03):46-54.
- [17] 杨文建,俞杰,孙勇,等.添加金针菇粉、茶树菇粉对面团流变学特性的影响[J].*食品科学*,2014,35(23):43-47.
- [18] 赵慧敏,郭晓娜,朱科学,等.回添固态发酵麸皮对重组全麦粉品质特性的影响研究[J].*中国粮油学报*,2017,32(07):21-27.
- [19] 刘滔.柿粉对面团品质的影响及柿单宁-面筋蛋白相互作用及机制研究[D].武汉:华中农业大学,2017.
- [20] 李燕.淮山全粉添加量对面团特性及面包品质的影响[D].湖南农业大学,2019.
- [21] LAUKOVÁ M, KOHAJDOVÁ Z, KAROVIČOVÁ J, et al. Effects of cellulose fiber with different fiber length on rheological properties of wheat dough and quality of baked rolls[J]. *Food Science Technology International*, 2017, 23(6): 490-499.
- [22] Sivam A S, Sun-Waterhouse D, Quek S, et al. Properties of bread dough with added fiber polysaccharides and phenolic antioxidants: A review[J]. *Journal of Food Science*, 2010, 75(8): 163-174.
- [23] Ma S, Wang Z, Liu N, et al. Effect of wheat bran dietary fibre on the rheological properties of dough during fermentation and Chinese steamed bread quality[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2021, 56(4): 1623-1630.
- [24] Shin S H, Choi W S. Variation in significant difference of sausage textural parameters measured by texture profile

- analysis (TPA) under changing measurement conditions[J]. Food Science of Animal Resources, 2021, 41(4): 739.
- [25] Ari Akin P, Tayfun K E, Tamer U, et al. Use of tea fibers as a source of dietary fiber in wheat flour and bread[J]. Cereal Chemistry, 2021, 98(5): 1049-1058.
- [26] NAWROCKA A, Miś A, Szymańska-Chargot M. Characteristics of relationships between structure of gluten proteins and dough rheology-influence of dietary fibres studied by FT-Raman spectroscopy[J]. Food Biophysics, 2016, 11(1): 81-90.
- [27] Adams V, Ragaee S M, Aal E S M. Rheological properties and bread quality of frozen yeast-dough with added wheat fiber[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2017, 97(1):191-198
- [28] Liu S, Chen D, Xu J. The Effect of Partially Substituted Lupin, Soybean, and Navy Bean Flours on Wheat Bread Quality[J]. Food and Nutrition Sciences, 2018, 9(7):840
- [29] 彭博.糖醇类物质对面团特性及面包品质的影响[D].华中农业大学,2017.
- [30] 张华,李银丽,李佳乐,等.竹笋膳食纤维对冷冻面团流变学特性、水分分布和微观结构的影响[J].食品科学,2018,39(1):53-56.
- [31] Jiang Y, Zhao Y, Zhu Y, et al. Effect of dietary fiber-rich fractions on texture, thermal, water distribution, and gluten properties of frozen dough during storage[J]. Food Chemistry, 2019, 297: 124902.