

添加竹笋粉的面制品品质及其功能特性

张贞炜¹, 蒋静¹, 谢跃², 曾里¹, 贾利蓉^{1*}

(1. 四川大学轻工科学与工程学院, 四川成都 650065) (2. 四川农业大学动物医学院, 四川成都 611130)

摘要: 该文研究了竹笋粉对面制品品质及功能特性的影响。将竹笋粉部分代替小麦粉制成馒头、饼干和面条, 研究不同质量分数的竹笋粉(0%、1%、2%、3%、4%、5%)对馒头白度、比容、质构和感官特性的影响, 对面条质构、拉伸、蒸煮和感官特性的影响以及对饼干色度、比容、质构和感官特性的影响。研究发现, 竹笋粉质量分数为2%时, 制得的馒头、面条和饼干综合品质最好。对竹笋粉面制品功能特性的研究发现, 添加质量分数2%的竹笋粉的馒头、饼干和面条, 对胆固醇的吸附能力分别达到41.55、31.01、33.22 mg/g, 对NO₂⁻的清除能力分别达到37.93%、41.33%、25.95%, 对阳离子交换能力分别达到128.00、133.33、122.67 mmol/g, 相比于空白组均显著提升, 而持水性、持油性、对胆酸钠的吸附能力等功能特性也较空白组有所提升。适量添加竹笋粉可显著提升面制品的综合品质及功能特性, 研究结果为竹笋粉的开发利用和提升面制品的营养价值提供了新的思路。

关键词: 竹笋粉; 面制品; 质构; 感官评价; 功能特性

文章编号: 1673-9078(2024)12-271-280

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.12.1531

Quality and Functional Properties of Flour Products Fortified with Bamboo Shoot Powder

ZHANG Zhenwei¹, JIANG Jing¹, XIE Yue², ZENG Li¹, JIA Lirong^{1*}

(1. College of Biomass Science and Engineering, Sichuan University, Chengdu 650065, China)

(2. College of Veterinary Medicine, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China)

Abstract: This study investigated the effects of bamboo shoot powder on the quality and functional properties of flour products including steamed buns, noodles, and biscuits. The products were prepared from wheat flour fortified with varying mass fractions of bamboo shoot powder (0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%). Steamed buns were used to clarify the effects of the mass fraction of bamboo shoot powder on the whiteness, specific volume, texture, and sensory properties, while noodles were evaluated to determine the effects of the mass fraction of bamboo shoot powder on the texture, stretching, cooking, and sensory properties of noodles. Biscuits were used to determine the effects of the mass fraction of bamboo shoot powder on the color, specific volume, texture, and sensory properties of biscuits. The results showed that the comprehensive quality of steamed buns, noodles, and biscuits was the highest when the mass fraction of bamboo shoot powder was 2%. For steamed buns, biscuits, and noodles made from wheat flour fortified with 2% bamboo shoot powder, the cholesterol adsorption capacity reached 41.55, 31.01, and 33.22 mg/g, respectively; the NO₂⁻ removal capacity reached 37.93%, 41.33%,

引文格式:

张贞炜, 蒋静, 谢跃, 等. 添加竹笋粉的面制品品质及其功能特性[J]. 现代食品科技, 2024, 40(12): 271-280.

ZHANG Zhenwei, JIANG Jing, XIE Yue, et al. Quality and functional properties of flour products fortified with bamboo shoot powder [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(12): 271-280.

收稿日期: 2023-12-21

基金项目: 四川大学-达州市人民政府科技创新研发项目(2021CDDZ-14)

作者简介: 张贞炜(1997-), 男, 硕士, 研究方向: 粮食、油脂及植物蛋白工程, E-mail: zzwscu97@qq.com

通讯作者: 贾利蓉(1972-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 农产品加工及贮藏, E-mail: jialirong@scu.edu.cn

and 25.95%, respectively; and the cation exchange capacity reached 128.00, 133.33, and 122.67 mmol/g, respectively, showing significant improvements compared with the corresponding control groups. Furthermore, functional properties, such as the water-holding capacity, oil-holding capacity, and sodium cholate adsorption capacity, also improved compared to the corresponding control groups. In summary, fortification with an appropriate mass fraction of bamboo shoot powder can significantly improve the quality and functional properties of flour products, potentially aiding the development and utilization of bamboo shoot powder and nutritional enhancement of flour products.

Key words: bamboo shoot powder; flour product; texture; sensory evaluation; functional property

竹笋即竹的嫩芽，其营养物质如膳食纤维、蛋白质、维生素、矿物质和生物活性成分等含量丰富，其中甾醇等成分有助于控制胆固醇含量^[1]。竹笋食用和药用价值极高，享有“蔬食第一品”的美誉^[2]，被认为是最理想的蔬菜之一。中国拥有竹林面积超 640 万 hm^2 ，拥有品质优良的笋用竹 30 余种，是名副其实的“竹子王国”^[3]。2023 年全国竹笋生产量为 200 万 t，距离 400 万 t 的市场缺口仍有较大差距，为保证竹笋经济与生态可持续发展，对于竹笋栽培、储藏及保鲜、副产物再利用等技术的深入研究迫在眉睫。

竹笋季节性强，出笋期短，鲜笋在储藏过程中极易老化产生大量木质素影响口感或腐败变质，导致供应的不稳定性^[4]。除鲜食外，每年约有 60% 的鲜笋被加工成罐头食品、发酵食品、干制品等形式销售^[5,6]。在传统的竹笋加工过程中，会产生大量的下脚料，原料利用率低，导致竹笋资源浪费和环境污染^[7]。而将竹笋或其下脚料干燥制得竹笋粉，可有效解决竹笋储存和运输等问题，既能较好地保留竹笋的风味和营养，还能提高原料的资源利用率，具有环境友好属性。

中国的肥胖人口数居世界第一，肥胖率持续增高^[8,9]，与肥胖直接相关的年医疗费用达 200 余亿元^[10]。面制品作为中国居民膳食中常见的主食，与国人体质健康关系密切，其首要特点就是具有饱腹作用。竹笋粉持水性、持油性、膨胀性好^[11,12]，抗氧化能力强^[13]，对胆固醇的吸附能力强，膳食纤维含量高，可作为膳食纤维补充剂降低脂肪性肝病的发生率^[14]。将竹笋粉添加到面制品中，增强面制品的饱腹效果，同时补充营养物质和强化膳食纤维，将能作为预防、缓解肥胖和提升人口健康水平的有效策略，促进中国居民膳食可持续、健康发展。

本文将四川的大宗竹笋资源——冬笋制成竹笋粉，并将其应用于馒头、面条、饼干等各类面制品中，研究竹笋粉对面制品品质及功能特性的影响，可为

竹笋的精深加工及功能性食品开发提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

鲜冬笋、小麦粉、食盐、酵母、黄油，四川省成都市农贸市场；大豆蛋白粉，山东御馨生物科技有限公司；菊粉，湖北古木生物科技有限公司；低聚木糖、三氯蔗糖，河南商丘耕道有限公司；氨基苯磺酸、盐酸萘乙二胺、亚硝酸钠、糠醛、胆酸钠、硝酸银、氯化钠，佰玛科技有限公司。

1.2 仪器与设备

TA.XT plus 质构仪，Stable Micro Systems 公司（英国）；SHA-C 水浴恒温振荡器，常州国华电器有限公司；CM-5 分光测色仪，日本柯尼卡美能达公司；PHS-3C pH 计，上海仪电科学仪器股份有限公司；TG16-WS 离心机，上海卢湘仪离心机仪器有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 样品制备

1.3.1.1 竹笋粉的制备

参照蒋静^[2]的方法制备竹笋粉，用 80 目标准筛过筛后备用。

1.3.1.2 面制品的制备

馒头依据 LS/T 3204-1993《馒头用小麦粉》标准制备，通过一次发酵制得。饼干依据 LS/T 3206-1993《酥性饼干用小麦粉》标准制备。面条依据 GB/T 17320-2013《小麦品种品质分类》标准制备。

在上述面制品配方中分别用质量分数 0%、1%、2%、3%、4%、5% 的竹笋粉代替配方中部分小麦粉，制得竹笋馒头、饼干、面条。

1.3.2 比容测定

参照 GB/T 21118-2007《小麦粉馒头》测定馒头的比容。

参照 Kahlon 等^[15]的方法, 采用小米替换法测定饼干体积。

1.3.3 质构测定

将馒头切成大小规整的馒头块, 置于质构仪进行测定。选择 TPA 模式, P/36R 型探头。参数: 测前、中、后速度均 1 mm/s; 停留时间 5 s; 下压距离 20 mm; 触发力 5 g。数据重复测定 3 次。

将饼干烘烤并冷却后进行测定, 选用 HDP/BS 探头, 设置参数为: 测前、中速度均 2 mm/s、测后速度 10 mm/s、位移 10 mm、触发力 50 g, 测定饼干的剪切强度、硬度和脆性。数据重复测定 3 次。

将面条蒸煮 5 min 后, 过凉水约 10 s, 参照刘丽宅^[16]的方法, 将面条置于载物台, 进行质构特性的测定。TPA 指标测定采用 P/35 型探头, 设置测试前、中、后速度均为 0.8 mm/s, 形变量 70%, 触发力为 5 g, 压缩间隔时间 1 s。测定 3 次平行数据。拉伸特性测定采用 A/SPR 型探头, 固定面条后, 设置测前、中速度 2 mm/s、测后速度 10 mm/s、测试距离 100 mm、触发力 8 g。测定 3 次平行数据。

1.3.4 感官评价

挑选 12 名健康、感官正常的品评员, 简单训练后对产品各分项及总评分进行评价。竹笋馒头的感官评分标准如表 1 所示。

表 1 竹笋馒头感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation criteria for bamboo shoots steamed bread

项目	评分标准
外观 (15分)	光滑, 完整, 立挺 (12~15分) 中等 (9~11分) 粗糙, 不规整, 不对称 (1~8分)
色泽 (15分)	白或乳白, 均匀 (12~15分) 中等 (9~11分) 灰、暗, 不均匀 (1~8分)
粘牙 (15分)	爽口, 不粘牙 (12~15分) 中等 (9~11分) 不爽口、粘牙感重 (1~8分)
气味 (20分)	具有小麦、竹笋清香, 无异味 (15~20分) 中等 (10~14分) 明显异味 (1~9分)
结构 (20分)	气孔小, 分布均匀 (15~20分) 中等 (10~14分) 气孔大, 不均匀或过于致密 (1~9分)
弹韧性 (15分)	复原性好, 咬感强 (12~15分) 中等 (9~11分) 复原性差、咬感差 (1~8分)

竹笋饼干的感官评价评分标准参照 GB/T

20980-2007《饼干》中酥性饼干的评价标准, 具体如表 2 所示。竹笋面条的感官评价标准如表 3 所示。

表 2 竹笋饼干感官评价标准

Table 2 Sensory evaluation criteria for bamboo shoot biscuits

评价项目	评定标准	感官评分/分
外观	外形完整, 厚薄均匀, 无收缩、变形、起泡	15
气味	香味合适, 无异味	20
色泽	均匀的棕黄色, 无焦糊, 色泽均匀	20
口感	酥脆, 不黏牙	30
组织	组织结构细密均匀, 层次明显, 无杂质、油污, 无明显孔洞	15

表 3 竹笋面条感官评价标准

Table 3 Sensory evaluation criteria for bamboo shoot noodles

项目	评分标准
色泽 (20分)	乳白或少许褐色、光亮 (16~20分) 淡黄色、稍亮 (8~15分) 灰白色、无亮度 (0~7分)
表面状态 (20分)	表面光滑细密、无颗粒 (16~20分) 表面较细密、几乎无颗粒 (8~15分) 表面粗糙、呈不正常形状 (0~7分)
适口性 (20分)	软硬适中, 适口 (16~20分) 口感较硬或较软 (8~15分) 口感力度太硬或太软 (0~7分)
黏性 (20分)	面条爽口, 不粘牙 (16~20分) 较爽口, 稍微粘牙 (8~15分) 口感较差, 粘牙 (0~7分)
食味 (20分)	有不突兀的竹笋清香味 (16~20分) 无香味, 无异味 (8~15分) 有异味 (0~7分)

1.3.5 馒头白度值测定

将馒头样品制成厚度约为 1.5 mm 的圆片。分别测定样品的 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值, 每个样品平行测定三次。计算亨特值以表示馒头的白度值。

$$WH = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (1)$$

1.3.6 饼干色度值测定

饼干的色度值采用分光测色仪进行测定。

1.3.7 面条蒸煮特性测定

面条的蒸煮特性 (面汤浊度、断条率、蒸煮损失率等) 参照 GB/T 40636-2021《挂面》的标准测定。

1.3.8 添加竹笋粉的面制品功能特性的测定

根据 1.3.1.2 的方法制备添加质量分数 2% 竹笋粉的面制品, 将其与空白对照组的功能特性进行对比, 面制品的持水力、持有力和对胆固醇吸附能力 (CAC) 参照 Wu 等^[17] 的方法进行测定; 面制品对胆酸钠的吸附能力、NO₂⁻ 吸附能力 (NIAC)、阳离子交换能力的测定参照李荷^[18] 的方法。

1.3.9 数据处理

所有实验均重复 3 次, 数据均以 Mean±SE 表示, 使用 SPSS Statistics 22 软件进行显著性差异分析 ($P < 0.05$); 使用 Origin 2022 绘图。

2 结果与讨论

2.1 竹笋粉对面制品比容的影响

2.1.1 竹笋粉质量分数对馒头比容的影响

竹笋粉质量分数对馒头比容的影响见图 1, 添加竹笋粉后馒头的比容总体呈下降趋势, 竹笋添加量在质量分数 0%~2% 时馒头比容无显著性差异 ($P > 0.05$), 在质量分数 1% 时达到最高值 2.30 mL/g。当添加的竹笋粉质量分数超过 2% 时, 馒头比容明显降低 ($P < 0.05$)。可能是竹笋粉不含面筋蛋白, 随着馒头中竹笋粉比例的增加, 面筋蛋白比例降低, 网络结构的形成受阻, 面团持气性下降, 导致馒头比容减小^[19], 如马铃薯粉等其他原料的添加同样会影响面筋蛋白含量从而导致面制品比容降低。

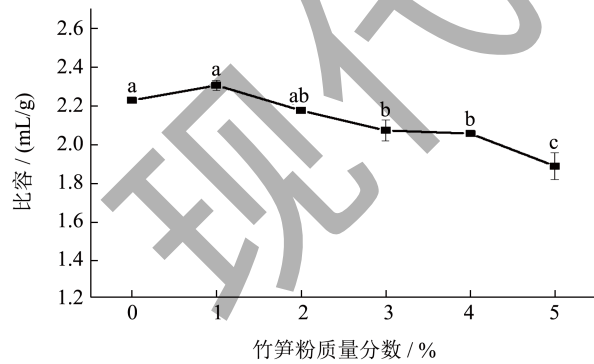


图 1 竹笋粉质量分数对馒头比容的影响

Fig.1 Effect of mass fraction of bamboo shoot powder on specific volume of steamed bread

2.1.2 竹笋粉质量分数对饼干比容的影响

在饼干烘焙过程中, 面团性质受烘烤温度和时

间的影响, 从而影响饼干的尺寸^[20]。竹笋粉对饼干比容的影响如图 2 所示, 空白饼干的比容最小, 竹笋粉的添加可以显著增加饼干的比容, 当竹笋粉质量分数由 0% 增加至 1% 时, 饼干比容由 1.18 mL/g 增加至 1.85 mL/g, 而添加的竹笋粉质量分数在 1%~5% 时, 饼干比容最大, 最高可达 1.87 mL/g, 此竹笋粉质量分数范围内饼干比容无显著性差异 ($P > 0.05$)。

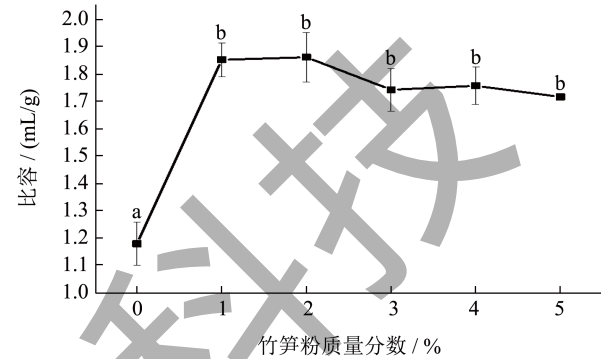


图 2 竹笋粉质量分数对饼干比容的影响

Fig.2 Effect of mass fraction of bamboo shoot powder on specific volume of biscuit

2.2 竹笋粉对面制品质构的影响

2.2.1 竹笋粉质量分数对馒头质构特性的影响

竹笋粉对馒头质构特性的影响结果见表 4。随着竹笋粉质量分数的增加, 馒头的内聚性无显著性变化 ($P > 0.05$); 硬度、胶着性和回复性显著性上升 ($P < 0.05$); 弹性在竹笋粉质量分数 0%~2% 时较高, 无显著性变化 ($P > 0.05$), 当质量分数超过 3% 时, 弹性出现显著性降低 ($P < 0.05$), 在质量分数 5% 时达到最低值 0.35; 咀嚼性随着竹笋粉质量分数的增加先上升后下降, 在添加的质量分数 2% 时达到峰值 1 649.08。馒头的粘弹性主要取决于面筋蛋白, 竹笋粉质量分数增加后降低了小麦粉中面筋蛋白比例, 难以形成网络结构。添加的竹笋粉质量分数为 1%~2% 时不会影响面团结构, 当竹笋粉质量分数超过 3% 时, 面团表面明显出现面筋碎片, 添加量越大, 面筋碎片越多, 竹笋中含有大量的纤维, 降低了面团延展性, 面团持气性下降, 影响面筋网络结构形成。王璧莹等^[21] 的研究也表明, 竹笋粉的高剂量添加 (5% 以上), 会显著影响面包等面制品的质构特性。

表 4 竹笋粉质量分数对馒头质构特性的影响

Table 4 Effect of mass fraction of bamboo shoot powder on texture characteristics of steamed bread

质量分数/%	质构特性					
	硬度/g	弹性	内聚性	胶着性	咀嚼性	回复性
0	3 113.18 ± 205.31 ^a	0.51 ± 0.09 ^a	0.87 ± 0.02 ^b	2 708.56 ± 198.66 ^a	1 375.42 ± 114.42 ^a	0.49 ± 0.03 ^a
1	3 657.78 ± 491.72 ^b	0.49 ± 0.12 ^a	0.87 ± 0.01 ^b	3 175.78 ± 454.72 ^b	1 532.45 ± 176.79 ^{ab}	0.52 ± 0.03 ^a
2	3 942.86 ± 92.36 ^c	0.48 ± 0.06 ^a	0.87 ± 0.01 ^b	3 431.30 ± 109.41 ^{bc}	1 649.08 ± 114.23 ^b	0.52 ± 0.02 ^a
3	4 077.78 ± 401.73 ^c	0.42 ± 0.03 ^b	0.89 ± 0.01 ^b	3 636.93 ± 377.66 ^c	1 535.05 ± 244.36 ^{ab}	0.55 ± 0.01 ^b
4	4 286.19 ± 583.14 ^{cd}	0.38 ± 0.16 ^{bc}	0.90 ± 0.02 ^b	3 855.70 ± 555.84 ^{cd}	1 418.75 ± 174.61 ^a	0.54 ± 0.02 ^b
5	4 424.76 ± 83.07 ^d	0.35 ± 0.05 ^c	0.88 ± 0.01 ^b	3 989.61 ± 74.93 ^d	1 402.04 ± 89.32 ^a	0.57 ± 0.03 ^b

注：同列中不同字母表示存在显著性差异 ($P < 0.05$)。下表同。

表 5 竹笋粉质量分数对面条质构和拉伸特性的影响

Table 5 Effect of mass fraction of bamboo shoot powder on texture and tensile characteristics of noodles

质量分数/%	质构特性		拉伸特性		
	硬度/g	剪切功/(g·sec)	拉断力/g	拉伸距离/mm	拉伸应力
0	379.73 ± 12.39 ^a	589.91 ± 37.29 ^a	40.43 ± 2.25 ^a	75.88 ± 5.87 ^a	673.84 ± 37.42 ^a
1	413.71 ± 10.10 ^{ab}	833.02 ± 35.57 ^b	33.49 ± 1.45 ^b	62.84 ± 2.44 ^a	558.13 ± 24.14 ^b
2	440.81 ± 17.21 ^b	866.42 ± 29.87 ^b	30.79 ± 0.97 ^{bc}	63.33 ± 9.42 ^a	513.17 ± 16.10 ^b
3	519.44 ± 15.27 ^c	866.78 ± 44.39 ^b	29.28 ± 3.74 ^{bc}	46.06 ± 7.54 ^b	487.99 ± 22.32 ^c
4	545.16 ± 26.74 ^c	1 104.61 ± 55.07 ^c	27.52 ± 0.95 ^c	47.41 ± 4.07 ^b	458.62 ± 15.88 ^c
5	584.44 ± 11.88 ^d	1 181.97 ± 19.48 ^c	26.53 ± 2.27 ^c	36.97 ± 4.10 ^b	442.13 ± 37.92 ^c

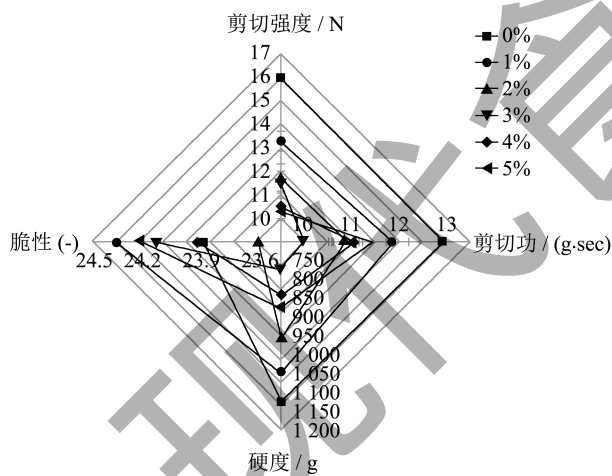


图 3 竹笋粉质量分数对饼干质构特性的影响

Fig.3 Effect of mass fraction of bamboo shoot powder on texture characteristics of biscuit

2.2.2 竹笋粉质量分数对饼干质构特性的影响

饼干需具有一定的硬度，硬度过大，饼干口感不好，硬度过小，饼干易碎、易塌陷，而剪切力则与饼干的品质呈正相关^[20]。竹笋粉的质量分数对饼干质构特性的影响如图 3 所示，随着竹笋粉质量分数由 0% 增加至 5%，饼干的剪切功和脆性无显著性变化 ($P > 0.05$)；饼干的剪切强度和硬度逐渐

下降，剪切强度由 15.9 N 降低至 10.3 N，硬度由 1 148 g 降低至 760 g。这可能是由于添加竹笋粉对面团面筋的形成造成了一定影响，竹笋粉质量分数的增加导致所形成的面筋网络结构变弱，从而使饼干的质构发生变化。

2.2.3 竹笋粉质量分数对面条质构和拉伸特性的影响

竹笋粉的质量分数对面条质构和拉伸特性的影响如表 5 所示。随着竹笋粉质量分数由 0% 增至 5%，面条的硬度和剪切功显著上升 ($P < 0.05$)，硬度由 379.73 g 增至 584.44 g，剪切功由 589.91 g·sec 增至 1 181.97 g·sec。面条形成机理是面团中含有一定量的面筋蛋白，它们在加工过程中会吸水形成稳定的空间网络结构，面团中其他组分如淀粉颗粒等均匀分布其中，随着加工进行，面团体积增大，最终形成了粘弹性物料^[22]。竹笋粉的添加降低了面筋蛋白的比例，同时由于竹笋粉富含膳食纤维，持水性好，添加后由于竞争作用阻碍了面粉的吸水效果，这些原因影响了面筋网络的形成，增加了面条硬度^[23]。在拉伸特性测试中，面条的拉断力、拉伸距离和拉断应力在竹笋粉质量分数为 0%~2% 时

处于较高水平,当竹笋粉质量分数为2%时,面条拉断力为30.79 g,拉伸距离为63.33 mm,拉伸应力为513.17;当竹笋粉质量分数超过2%时,面条拉断力、拉伸距离和拉伸应力均出现显著性降低($P<0.05$),原因可能是随着竹笋粉含量的增加,面条中淀粉的比例降低,面筋网络结构变疏松,导致面条拉伸性变差。Qi等^[23]研究发现聚类的谷蛋白高分子聚合物和增强的面筋蛋白结构可以显著提升苦荞面片的拉伸特性。

2.3 竹笋粉对面制品感官评价的影响

2.3.1 竹笋粉质量分数对馒头感官评分的影响

竹笋粉质量分数对馒头各感官分项和感官总评分的结果如图4、5所示。随着竹笋粉质量分数的增加,馒头的各感官指标均发生变化。其中外观、色泽、结构和弹韧性等值随笋粉质量分数增加而减小。竹笋粉本身为浅黄色,质量分数增加导致馒头颜色不如空白组白亮;竹笋粉质量分数的增加减少了面筋蛋白比例,从而导致结构和弹韧性降低。竹笋粉质量分数在1%~2%时,竹笋馒头与纯小麦粉馒头相比,除散发有小麦清香还伴有竹笋独特香味,咀嚼爽口不粘牙,感官评分最高,均达到85分以上。但当竹笋粉质量分数超过3%时,竹笋馒头的综合得分显著下降($P<0.05$),总评分低于80分,主要表现为表面变粗糙、色泽偏黄、弹韧性变小。从感官评价总分可知,添加质量分数1%~2%竹笋粉的馒头口感最佳。

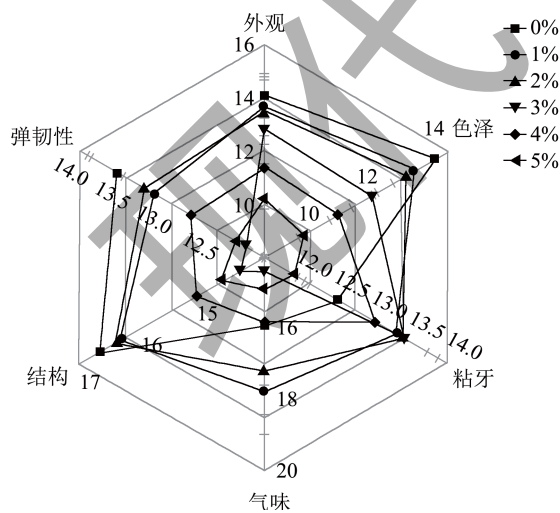


图4 竹笋粉质量分数对馒头各感官分项的影响

Fig.4 Effect of mass fraction of bamboo shoot powder on sensory component of steamed bread

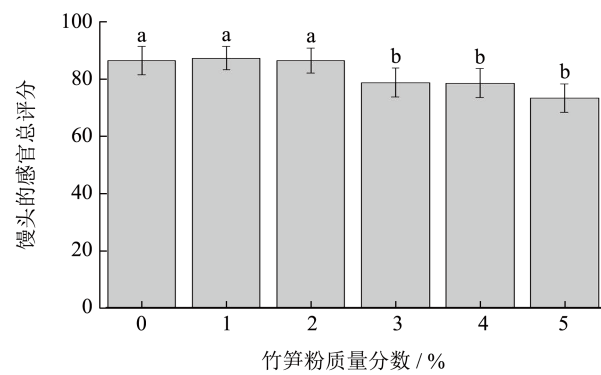


图5 竹笋粉质量分数对馒头感官总评分的影响

Fig.5 Effect of bamboo shoot powder quality score on total sensory score of steamed bread

2.3.2 竹笋粉质量分数对饼干感官评分的影响

竹笋粉质量分数对饼干各感官分项和感官总评分的影响如图6、7所示,从饼干外观上比较,添加质量分数3%竹笋粉的饼干表现较好,外观分项得分13.58分,外观最为完整;在饼干的气味方面,添加质量分数2%的竹笋粉的饼干最令人愉悦,含有竹笋的独特香味,气味分项达17.81分;在饼干口感方面,添加质量分数1%~3%的竹笋粉的饼干表现最高,得分最高,而空白饼干得分较低,口感较差,不酥松。从感官评价总分可知,当竹笋粉质量分数在0%~3%时,感官总评分达到最高,此范围内总评分无显著性差异($P>0.05$),当竹笋粉质量分数大于4%,感官总评分显著下降至80分以下($P<0.05$)。

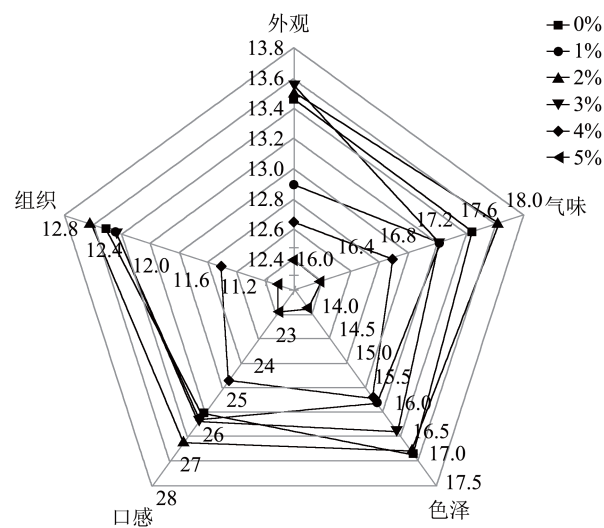


图6 竹笋粉质量分数对饼干各感官分项的影响

Fig.6 Effect of mass fraction of bamboo shoot powder on sensory component of biscuit

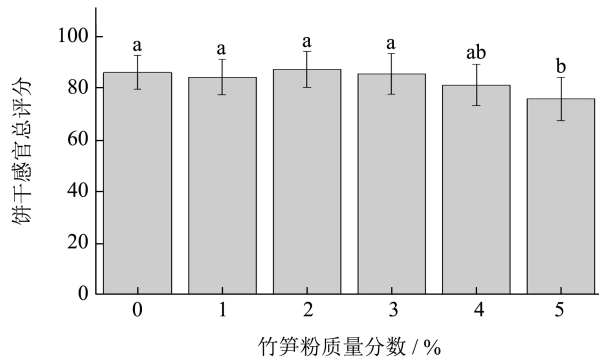


图7 竹笋粉质量分数对饼干感官总分的影响

Fig.7 Effect of mass fraction of bamboo shoot powder on total sensory score of biscuit

2.3.3 竹笋粉质量分数对面条感官评分的影响

竹笋粉质量分数对面条各感官分项和感官总评分的影响如图8、9所示，在色泽、表观状态、适口性和黏性方面，竹笋粉质量分数为0%~2%时，面条的表现最好，此时的面条颜色为乳白色，较光亮；表面较光滑，几乎无颗粒；咀嚼时面条软硬适中，爽口不粘牙，口感较好。当竹笋粉质量分数超过2%，除食味外，各感官分项均呈下降趋势。添加竹笋粉可显著提升面条在味道方面的表现，赋予面条竹笋清香味，添加竹笋粉的5组样品在食味方面的评分均高于空白组。竹笋粉质量分数为0%~2%时，面条的感官评分最高，均在85分以上，在此范围内总评分无显著性差异 ($P > 0.05$)，当竹笋粉质量分数超过3%时，面条的感官总评分显著下降 ($P < 0.05$)。

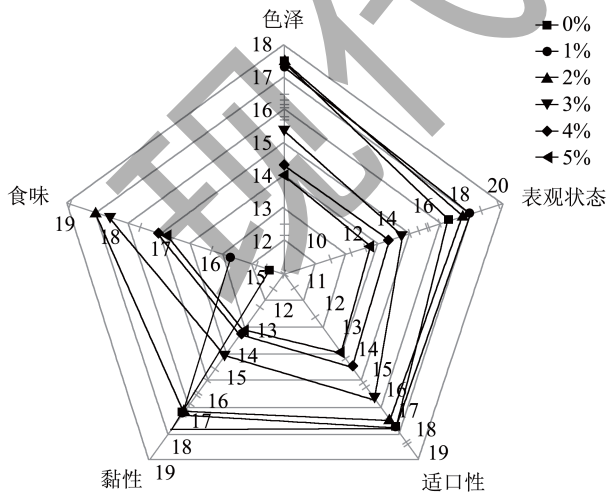


图8 竹笋粉质量分数对面条各感官分项的影响

Fig.8 Effect of mass fraction of bamboo shoot powder on sensory component of noodles

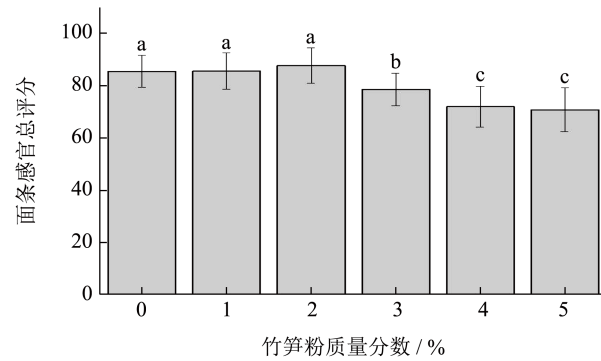


图9 竹笋粉质量分数对面条各感官总分的影响

Fig.9 Effect of mass fraction of bamboo shoot powder on total sensory score of noodles

2.4 竹笋粉质量分数对馒头白度值的影响

竹笋粉质量分数对馒头白度值的影响如图10所示，当竹笋粉添加的质量分数为0%~1%时，馒头白度值最高，可达68.60%。随着竹笋粉质量分数的增加，馒头白度值逐渐下降，具体表现为颜色逐渐变深。当添加的竹笋粉质量分数达3%或继续增加，馒头的白度值表现出明显降低 ($P < 0.05$)，原因可能是竹笋粉颜色较深，质量分数增加后一定程度影响了产品色泽。

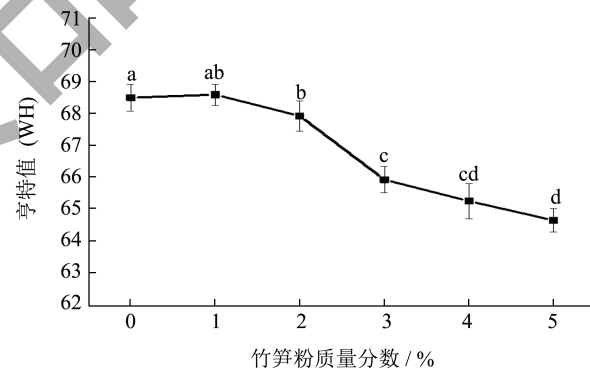


图10 竹笋粉质量分数对馒头白度值的影响

Fig.10 Effect of mass fraction of bamboo shoot powder on whiteness of steamed bread

2.5 竹笋粉质量分数对饼干色度的影响

饼干的表面色泽过焦或过白的外观都会影响产品感官。在烘烤过程中，通过颜色也可以判断饼干是否烘烤成熟。由表6可知，空白组饼干的 L^* 最大， a^* 值最小， b^* 值最小，当竹笋粉添加的质量分数超过3%时，饼干的 L^* 显著降低 ($P < 0.05$)， a^* 值显著增大 ($P < 0.05$)。在添加的质量分数为1%~3%时，饼干色泽无显著性差异 ($P > 0.05$)，当质量分数增加至4%或更高时，饼干色泽明显变深

($P < 0.05$)。参照 GB/T 20980-2007《饼干》中酥性饼干的评定方法, 饼干色泽表面为金黄色或棕黄色, 不可出现过白或过焦现象, 本实验中, 当竹笋粉质量分数达到 5% 时, 饼干局部出现焦糊现象。

表 6 竹笋粉质量分数对饼干色度值的影响

Table 6 Effect of mass fraction of bamboo shoot powder on the color of biscuits

质量分数/%	色度值		
	L^*	a^*	b^*
0	73.98 ± 1.67 ^a	4.22 ± 1.28 ^a	29.11 ± 0.20 ^a
1	71.75 ± 0.72 ^a	5.07 ± 0.27 ^a	29.70 ± 0.12 ^{ab}
2	70.81 ± 2.34 ^a	5.51 ± 1.96 ^a	29.78 ± 0.84 ^{ab}
3	70.31 ± 0.21 ^a	5.64 ± 0.37 ^a	30.24 ± 0.18 ^{bc}
4	69.51 ± 1.07 ^b	6.70 ± 0.36 ^b	31.12 ± 0.60 ^{bc}
5	68.10 ± 0.39 ^b	6.96 ± 0.67 ^b	31.65 ± 0.63 ^c

表 7 竹笋粉质量分数对面条蒸煮特性的影响

Table 7 Effect of mass fraction of bamboo shoot powder on cooking characteristics of noodles

质量分数/%	断条率/%	蒸煮损失率/%	吸水率/%	面汤浊度
0	0.00 ^a	6.49 ± 0.01 ^a	79.08 ± 2.52 ^d	0.38 ± 0.02 ^c
1	0.00 ^a	6.56 ± 0.06 ^a	82.84 ± 1.26 ^{cd}	0.40 ± 0.01 ^c
2	0.00 ^a	7.09 ± 0.06 ^b	84.48 ± 0.66 ^{bc}	0.44 ± 0.00 ^b
3	0.00 ^a	7.55 ± 0.18 ^c	87.10 ± 0.07 ^{ab}	0.45 ± 0.00 ^{ab}
4	4.00 ^b	7.68 ± 0.15 ^c	88.25 ± 0.64 ^{ab}	0.46 ± 0.01 ^{ab}
5	4.00 ^b	7.70 ± 0.18 ^c	90.56 ± 0.93 ^a	0.48 ± 0.00 ^a

2.6 竹笋粉质量分数对面条蒸煮特性的影响

竹笋粉质量分数对面条蒸煮特性的影响如表 7 所示。竹笋粉质量分数增大, 面条的蒸煮损失率、吸水率和面汤浊度均逐渐增加, 当竹笋粉质量分数在 0%~2% 时, 断条率为 0.00%, 断条率在竹笋粉质量分数大于 4% 时显著性增加至 4.00% ($P < 0.05$)。面条的蒸煮损失率和面汤浊度在竹笋粉质量分数超过 2% 时显著增加 ($P < 0.05$), 在质量分数 2% 时

的蒸煮损失率为 7.09%, 面汤浊度为 0.44。蒸煮损失是由于面条中的淀粉和蛋白基质的性质在高温条件下发生改变而导致^[24]。面条蒸煮损失率大, 则面汤浑浊, 面条品质差, 制面过程中小麦面筋蛋白通过相互作用形成致密的网络, 可将淀粉均匀包裹, 提高面条品质^[25]。添加过多的竹笋粉降低了面筋蛋白比例从而阻碍网络结构形成, 使淀粉分子游离, 宏观表现为浑汤, 面条粘糯无嚼劲^[24]。面条的吸水率随竹笋粉的质量分数增加而逐渐增加, 在质量分数 5% 时达到最大值 90.56%。这可能是由于竹笋粉的良好持水性导致水分更容易进入面条中, 在一定范围内, 面条吸水量越大, 其质构、外观表现越好, 品质越好。

2.7 竹笋粉对面制品功能特性的影响

通过上述实验确定在馒头、饼干和面条等面制品中竹笋粉的最适添加量为质量分数 2%, 此配方下制得的面制品感官评分最高。基于此, 以不添加竹笋粉的馒头、饼干和面条为空白对照组, 分别将竹笋粉添加质量分数为 2% 的三种面制品与空白对照组的特性进行比较, 分析竹笋粉以最适质量分数添加后, 三种面制品功能特性的变化情况, 实验结果如表 8 所示。添加质量分数 2% 竹笋粉的馒头、面条和饼干, 对胆固醇的吸附能力分别达到 41.55、31.01、33.22 mg/g, NO_2^- 的清除能力分别达到 37.93%、41.33%、25.95%, 阳离子交换能力分别达到 128.00、133.33、122.67 mmol/g, 三项功能特性参数均显著高于空白对照组水平 ($P < 0.05$), 而持水性、持油性、对胆酸钠的吸附能力等功能特性也较空白对照组有所提高。原因可能是竹笋粉富含可溶性膳食纤维, 比表面积大, 结构不规则, 产生了丰富的孔隙和暴露的极性基团, 有利于吸附和容纳各种物质^[26,27]。综上, 在馒头、面条、饼干等面制品中添加适量的竹笋粉, 可保证产品品质的前提下, 提高产品的功能特性, 具有较大的市场应用前景。

表 8 竹笋粉对馒头、面条和饼干功能特性的影响

Table 8 Effects of bamboo shoots on the functional properties of steamed bread, noodles and biscuits

样品	持水力/(g/g)	持油性/(g/g)	对胆固醇的吸附能力 pH 值 2/(mg/g)	对胆固醇的吸附能力 pH 值 7/(mg/g)	对胆酸钠的吸附能力/(mg/g)	对 NO_2^- 的清除能力/%	阳离子交换能力/(mmol/g)
馒头	0% 2.28 ± 0.01 ^a	0.67 ± 0.01 ^a	33.61 ± 0.25 ^a	2.50 ± 0.44 ^a	7.11 ± 0.76 ^a	34.53 ± 0.52 ^a	121.33 ± 3.53 ^a
	2% 2.37 ± 0.05 ^b	0.78 ± 0.03 ^b	41.55 ± 0.25 ^b	6.76 ± 1.08 ^b	7.25 ± 0.89 ^a	37.93 ± 2.89 ^b	128.00 ± 4.62 ^b
面条	0% 1.27 ± 0.03 ^c	0.76 ± 0.01 ^b	25.77 ± 0.15 ^c	3.33 ± 0.10 ^c	6.97 ± 0.94 ^a	36.79 ± 1.76 ^b	124.00 ± 2.31 ^c
	2% 1.32 ± 0.04 ^d	0.76 ± 0.01 ^b	31.01 ± 0.20 ^d	6.86 ± 0.39 ^b	7.20 ± 0.30 ^a	41.33 ± 6.29 ^c	133.33 ± 4.81 ^d
饼干	0% 0.94 ± 0.02 ^c	0.53 ± 0.07 ^c	28.78 ± 0.07 ^c	6.91 ± 0.64 ^b	4.47 ± 1.28 ^b	22.12 ± 0.56 ^d	117.33 ± 1.33 ^c
	2% 1.02 ± 0.03 ^f	0.68 ± 0.11 ^d	33.22 ± 0.15 ^f	10.49 ± 0.69 ^d	5.44 ± 0.64 ^c	25.95 ± 1.01 ^c	122.67 ± 1.33 ^a

3 结论

为研制富含膳食纤维的面制品,提高竹笋的综合利用率,研究添加竹笋粉对馒头、饼干、面条等面制品品质及功能特性的影响。通过对产品特征指标测试结果和感官评价综合分析发现,在馒头中,竹笋粉的添加量以质量分数2%为宜,馒头的比容、白度值和质构特性表现均较好,此时馒头在感官上风味独特,口感最佳,感官总评分达88分;在饼干中,添加竹笋粉质量分数2%时饼干的比容、色度、质构特性表现均较好,在感官方面,竹笋粉质量分数为1%~3%的饼干口感和风味与空白组无明显差异,而质量分数为2%时,感官综合得分达到最高89分;在面条中,竹笋粉质量分数为2%的面条质构特性和拉伸特性表现好,在感官方面,此时面条组织状态较好,风味带有淡淡的竹笋清香,综合评分达到最高88分。通过功能特性对比发现,添加质量分数2%竹笋粉的馒头、饼干和面条,对胆固醇的吸附能力分别达到41.55、31.01、33.22 mg/g,对NO₂⁻的清除能力分别达到37.93%、41.33%、25.95%,对阳离子交换能力分别达到128.00、133.33、122.67 mmol/g,相比于空白对照组均显著性提升,而持水性、持油性、对胆酸钠的吸附能力等功能特性也较空白对照组有所提升。

竹笋粉的开发利用绿色环保、生产成本低、原料利用率高,具有环境友好属性,契合我国大健康发展趋势和可持续发展战略。竹笋粉富含膳食纤维,将其适量地添加到面制品中,不仅可以保证产品的质构和感官特性不受影响,还能够赋予面制品独特的风味,提升营养价值,增强功能特性,这为竹笋的开发利用和中国居民主食健康化发展奠定了重要的理论基础。

参考文献

- [1] ELUMBRA R. Sensory evaluation and acceptability of *Bambusa blumeana* as bamboo shoot polvoron [Z]. 5th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (ICEAST): 2019: 639.
- [2] 蒋静,陈仪婷,董怡,等.竹笋粉营养组成及理化特性研究[J].食品与发酵科技,2019,55(2):27-32.
- [3] 李玉敏,冯鹏飞.基于第九次全国森林资源清查的中国竹资源分析[J].世界竹藤通讯,2019,17(6):45-48.
- [4] 董春风,赵一鹤.竹笋采后木质化研究进展[J].安徽农业科学,2020,48(13):16-20.
- [5] TANG C, WU L, ZHANG F, et al. Comparison of different extraction methods on the physicochemical, structural properties, and *in vitro* hypoglycemic activity of bamboo shoot dietary fibers [J]. Food Chemistry, 2022, 386: 132642.
- [6] SONG Y, SU W, MU Y C. Modification of bamboo shoot dietary fiber by extrusion-cellulase technology and its properties [J]. International Journal of Food Properties, 2018, 21(1): 1219-1232.
- [7] LIN Z, CHEN J, ZHANG J, et al. Potential for value-added utilization of bamboo shoot processing waste-recommendations for a biorefinery approach [J]. Food and Bioprocess Technology, 2018, 11(5): 901-912.
- [8] 顾景范.《中国居民营养与慢性病状况报告(2015)》解读[J].营养学报,2016,38(6):525-529.
- [9] 孙斌栋,刘嘉航,尹春.高密度建成环境与成人肥胖关系的研究现状、启示与展望[J].西北大学学报(自然科学版),2023,53(5):672-683.
- [10] QIN X, PAN J. The medical cost attributable to obesity and overweight in China: estimation based on longitudinal surveys [J]. Health Economics, 2016, 25(10): 1291-1311.
- [11] ZHANG W, WANG S, LAN M. Comparison of physicochemical properties of three types of bamboo shoot powders [J]. Food Science and Technology, 2023, 43: e119522.
- [12] DONG J, WANG L, LU J, et al. Structural, antioxidant and adsorption properties of dietary fiber from foxtail millet (*Setaria italica*) bran [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019, 99(8): 3886-3894.
- [13] 唐昊,李沅秋,甘晓凤,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(6):304-311.
- [14] YANG J L, WU L R, YANG H M, et al. Using the major components (Cellulose, Hemicellulose, and Lignin) of *Phyllostachys praecox* bamboo shoot as dietary fiber [J]. Frontiers of Bioengineering and Biotechnology, 2021, 31(9): 669136.
- [15] KAHN T S, SHAO Q. *In vitro* binding of bile acids by soy bean (*glycine max*), black eye bean (*Vigna unguiculata*), garbanzo (*Cicer arietinum*) and lima bean (*Phaseolus lunatus*) [J]. Food Chemistry, 2004, 86(3): 435-440.
- [16] 刘丽宅.马铃薯面条的研制与品质改良研究[D].哈尔滨:哈尔滨商业大学,2017.
- [17] WU W, HU J, GAO H, et al. The potential cholesterol-lowering and prebiotic effects of bamboo shoot dietary fibers and their structural characteristics [J]. Food Chemistry, 2020, 332: 127372.
- [18] 李荷.不同粒度老化雷竹笋粉体特性及在饼干制作中应用的研究[D].杭州:浙江工商大学,2015.
- [19] 孙维思,张仁堂,乔旭光.不同品种马铃薯混配粉面团流变学特性及对馒头品质的影响[J].食品与发酵工

- 业,2017,43(2):95-100.
- [20] 陈洁,陈玲,郭娟娟,等.紫薯薄脆饼干制作配方[J].食品与机械,2013,29(6):224-228.
- [21] 王璧莹,白莉,李湘鑫,等.不同竹笋粉添加量的面团特性及面包品质的变化[J].现代食品科技,2023,39(6):195-203.
- [22] 陶春生,陈存社,王克俭.挤压改性麦麸膳食纤维对面条品质的影响[J].食品科技,2017,42(9):132-136.
- [23] QI Y J, CHENG J H, CHEN Y, et al. Effect of sodium carbonate on the properties of seventy percent of tartary buckwheat composite flour-based doughs and noodles and the underlying mechanism [J]. Journal of Texture Studies, 2023, 54(6): 947-957.
- [24] 王乐.马铃薯面团特性及面条品质研究[D].西安:陕西科技大学,2017.
- [25] OBADI M, CHEN Y, QI Y, et al. Effects of different pre-gelatinized starch on the processing quality of high value-added tartary buckwheat noodles [J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2020, 14(6): 3462-3472.
- [26] ZHENG Y, LI Y, XU J, et al. Adsorption activity of coconut (*Cocos nucifera* L.) cake dietary fibers: effect of acidic treatment, cellulase hydrolysis, particle size and pH [J]. RSC Advances, 2018, 8(6): 2844-2850.
- [27] ZHENG Y, WANG X, TIAN H, et al. Effect of four modification methods on adsorption capacities and *in vitro* hypoglycemic properties of millet bran dietary fiber [J]. Food Research International, 2021, 147: 110565.