

葡萄籽原花青素对小麦面团流变特性及面条品质的影响

王金晶, 冯乐乐, 沈思宇, 张佳伦, 王志伟, 张 晔, 王田心, 王 浩

Effect of Grape Seed Procyanidins on Rheological Properties of Wheat Dough and Noodles Quality

WANG Jinjing, FENG Lele, SHEN Siyu, ZHANG Jialun, WANG Zhiwei, ZHANG Ye, WANG Tianxin, and WANG Hao

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023120024>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

玉米-小麦混合粉面团流变学特性、面条品质及两者相关性

The Rheological Properties of Dough, the Quality of Noodles of Corn-wheat Blended Flour and Their Correlation

食品工业科技. 2019, 40(22): 73-76, 81 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.22.013>

黍子粉对小麦面团流变特性和面条品质的影响

Effects of Millet Flour on Rheological Characteristics of Wheat Dough and Noodle Quality

食品工业科技. 2022, 43(19): 69-75 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021120207>

宾川葡萄籽原花青素纯化及对HepG2细胞增殖的影响

Purification of Proanthocyanidins from Binchuan Grape Seed and Its Effects on Proliferation of HepG2 Cells

食品工业科技. 2022, 43(5): 230-236 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021070177>

淀粉酶、谷氨酰胺转氨酶及黄原胶对燕麦-小麦混合粉面团流变特性的影响

Effect of Amylase, Glutamine Aminotransferase and Xanthan Gum on Rheological Properties of Oat-Wheat Mixed Flour Dough

食品工业科技. 2021, 42(2): 52-57 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020040167>

⁶⁰Co- γ 辐照对小麦加工品质及终产品质构特性的影响

Effects of ⁶⁰Co-Gamma Irradiation on Wheat Processing Quality and Final Product Texture Properties

食品工业科技. 2022, 43(11): 74-82 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021090092>

挤压改性绿豆粉对小麦粉加工及其面条品质特性的影响

Effects of Mung Bean Flour Modified by Extrusion on Characteristics of Flour Processing and Quality of Noodles

食品工业科技. 2019, 40(20): 36-41 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.20.006>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

王金晶, 冯乐乐, 沈思宇, 等. 葡萄籽原花青素对小麦面团流变特性及面条品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(21): 85–92.
doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023120024

WANG Jinjing, FENG Lele, SHEN Siyu, et al. Effect of Grape Seed Procyanidins on Rheological Properties of Wheat Dough and Noodles Quality[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(21): 85–92. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023120024

· 研究与探讨 ·

葡萄籽原花青素对小麦面团流变特性及 面条品质的影响

王金晶¹, 冯乐乐¹, 沈思宇¹, 张佳伦², 王志伟¹, 张 晔^{1,*}, 王田心^{1,*}, 王 浩^{1,*}

(1. 天津科技大学食品营养与安全国家重点实验室, 食品科学与工程学院, 天津 300457;

2. 河北玉桥食品有限公司, 河北石家庄 051530)

摘 要:为扩大小麦粉的应用范围和改善面条品质, 本研究在小麦粉中添加 0.25%、0.50%、0.75%、1.00% (w/w) 的葡萄籽原花青素 (GSP), 测定了面团的流变特性、水分分布、质构特性, 以及面条的蒸煮特性、消化特性和感官特性, 使用扫描电子显微镜 (SEM) 观察了添加原花青素后面条的微观结构, 分析了原花青素对小麦面筋蛋白结构特性的影响。结果表明, 随原花青素添加量 (0~0.75%, w/w) 的增大, 面团的弹性模量 (G') 和粘性模量 (G'') ($G' > G''$)、硬度、弹性、粘附性上升, 最大拉伸阻力和拉伸距离分别增大了 7.22 g 和 11.16 mm, 面团的流变特性和质构特性有所改善; 横向弛豫时间 T_2 左移, 自由水含量下降, 说明面团的持水性增强。面条的耐煮性提高, 水解率与血糖生成指数 (GI) 明显下降, 从未添加 GSP 时的 68.45 降低到 61.73 (添加量为 1.00%); 在 GSP 添加量为 0.75% 时面筋蛋白中二硫键含量最高, 游离巯基含量最低, 感官评分最高, 面条具有软弹、劲道、口感爽滑的特点。综上, GSP 可以通过改善面筋蛋白网络结构和降低面条的 GI 值, 提高产品食用品质, 可作为一种潜在的天然面粉改良剂。

关键词:小麦粉, 葡萄籽原花青素 (GSP), 质构特性, 蒸煮特性, 消化特性, 感官品质

中图分类号: TS213.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)21-0085-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023120024



本文网刊:

Effect of Grape Seed Procyanidins on Rheological Properties of Wheat Dough and Noodles Quality

WANG Jinjing¹, FENG Lele¹, SHEN Siyu¹, ZHANG Jialun², WANG Zhiwei¹, ZHANG Ye^{1,*},
WANG Tianxin^{1,*}, WANG Hao^{1,*}

(1. State Key Laboratory of Food Nutrition and Safety, College of Food Science and Engineering,

Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China;

2. Hebei Yuqiao Food Co., Ltd., Shijiazhuang 051530, China)

Abstract: To improve the application of wheat flour and the quality of noodles, in this study, 0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.00% (w/w) grape seed proanthocyanins (GSP) were added to wheat flour. Rheology, moisture distribution and texture quality of the dough, as well as the cooking, digestive and sensory properties of the noodles were determined. The microstructure of the noodles added GSP was observed by scanning electron microscopy (SEM) to analyze the effect of GSP on the structure of wheat gluten proteins. As the results shown, with the addition of GSP rising (0~0.75%, w/w), the modulus of elasticity (G'), viscosity (G'') ($G' > G''$), hardness, springiness and adhesiveness of the dough increased, The maximum tensile resistance and stretching distance increased by 7.22 g and 11.16 mm, respectively. It demonstrated that the rheology and

收稿日期: 2023-12-08

作者简介: 王金晶 (1999-), 女, 硕士, 研究方向: 粮油科学与工程, E-mail: un0007@mail.tust.edu.cn。

* 通信作者: 张晔 (1989-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 食品添加剂与功能配料, E-mail: tyouyou@tust.edu.cn。

王田心 (1985-), 男, 博士, 讲师, 研究方向: 食品添加剂与功能配料, E-mail: wtxwang@tust.edu.cn。

王浩 (1979-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品添加剂与功能配料, E-mail: wanghao@tust.edu.cn。

texture quality were improved. The lateral relaxation time T_2 shifted to the lower and the free water content declined, which exhibited the water-holding capability was enhanced. The cooking resistance of the noodles was improved, and the hydrolysis rate and glycemic index (GI) were obviously decreased which reduced from 68.45 with no additional GSP to 61.73 (1.00% addition). At the addition of GSP of 0.75%, the highest disulfide bond content and the lowest free thiol group content occurred, moreover, the score of sensory quality was the highest. The noodles exhibited the soft, chewy, and smooth mouthfeel. In conclusion, GSP could enhance the edible quality of the product by improving the structure of the gluten protein network and lowering the glycemic index (GI) value of noodles, which illustrated GSP could be used as a potential natural flour improver.

Key words: wheat flour; grape seed proanthocyanins (GSP); textural properties; cooking properties; digestive properties; sensory quality

小麦是世界各地广泛种植的重要谷类作物,以其为基础的面制品因具有营养美味、制作方便等特点而广受欢迎,其中富含蛋白质、维生素、膳食纤维等多种营养物质^[1]。随着社会经济的发展以及人民生活水平的提高,消费者对面条从品质提升逐步转向营养健康的需求。一方面通过提升面团的质构和流变特性,使面条的嚼劲、弹性、口感等有所提升;另一方面通过对面条消化特性的改善可以达到降糖、保健、对慢性病起到预防和辅助食疗的作用^[2]。面粉改良剂是可以起到营养强化主食作用,不仅可以提高面团品质,还能增强产品的稳定性,延长食品货架期^[3]。目前市面上的改良剂主要可分为人工改良剂和天然改良剂,随着人民对食品健康和安全的追求,天然且安全的面粉改良剂研发和生产在未来有较大的发展前景。

多酚作为一种天然改良剂,常添加到面粉中开发强化小麦产品,如茶多酚面包,紫薯粉强化馒头等^[4]。研究表明,多酚可与蛋白相互作用并影响面团中面筋网络的形成^[5]。其中原花青素因其天然、安全且生物兼容性好,可作为增筋剂应用于食品领域^[6],主要分布在银杏、葡萄等植物的皮、壳、籽、核中。葡萄籽原花青素(GSP)由不同数量儿茶素、表儿茶素和表儿茶素没食子酸酯 C_4-C_8 或 C_4-C_6 键聚集而成的多聚体,具有降低血糖、降脂、抗氧化的生物活性^[7]。在面团体系中,由于葡萄籽原花青素的相对分子质量相较于茶多酚、表儿茶素等其他酚类物质更大,拥有更多的结合位点,通过二硫键、氢键、疏水相互作用等方式,更容易与面筋蛋白及其他成分发生交联结合^[8]。适量添加 GSP 对面团以及面条的最终品质有显著影响,这与胡思^[9]关于茶多酚应用到生鲜面条的结果是一致的。

目前,在面制品中多酚的应用大多集中在茶多酚和单宁酸等物质,Tian 等^[10]研究了茶多酚中典型儿茶素单体对面筋及其结构和理化性质的影响,表明儿茶素单体在提高面筋强度方面发挥关键的作用,加强了谷蛋白以及富含醇溶蛋白面筋网络结构的紧凑程度。魏建林等^[11]研究了单宁酸对小麦粉面筋的改善效果,得出单宁酸可以起到增筋作用,能够改善面团的加工特性。现有文献大多仅研究多酚对小麦面

筋蛋白网络结构的影响,缺少其对面条血糖生成指数(Glycemic index, GI)调控、改善消化性能的数据,同时,以葡萄籽原花青素作为面粉改良剂的研究较少。因此,本研究通过从面团的流变特性、水分分布、质构特性,面条的蒸煮特性、消化特性和感官特性等方面进行分析,综合评估原花青素对面条食用品质特性的影响,为葡萄籽原花青素成为潜在的面粉改良剂,提供一定的理论依据和技术参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

小麦粉 中粮利金(天津)粮油股份有限公司;葡萄籽原花青素(95%) 天津市尖峰天然产物研究开发有限公司;白面包 市售;猪胰腺 α -淀粉酶(50 U/mg) Sigma 化学有限公司;糖化酶(100 U/mg)、DNS 试剂 北京索莱宝生物科技有限公司;其余化学试剂均为分析级 上海麦克林生化科技股份有限公司。

HMJ-D4 型和面机 北京利仁科技股份有限公司;UVmini-1240 型紫外可见分光光度计 日本岛津有限公司;FD-1-50 真空冷冻干燥机 北京博医实验仪器有限公司;TA-XT Plus 质构仪 英国 Stable Micro System 公司;Rotational Rheometer MARS 60 型动态流变仪 德国哈克公司;MicroMR-25 型低场核磁共振仪(Low Field-Nuclear Magnetic Resonance, LF-NMR) 上海纽迈电子科技有限公司;SU151 型扫描电子显微镜(SEM) 日本日立高新技术公司等。

1.2 实验方法

1.2.1 样品制备 面团样品的制备:将葡萄籽原花青素(GSP)分别以 0.25%、0.50%、0.75%、1.00% 的质量比例添加至 100 g 小麦粉中作为实验组,以不添加 GSP 的小麦粉作为空白组,将面粉样品放进和面机中,接着加入 45 mL 蒸馏水,30 °C 搅拌 6 min,得到的面团在 25 °C 下静置 15 min^[12]。

面条样品的制备:将面团在面条机滚轴重复通过 5 次(先在 1 档 2 mm 辊轴压碾 2 次,再在 2 档 1.5 mm 辊轴压碾 1 次,最后在 3 档 1 mm 辊轴压碾 2 次),将得到的面皮通过细面刀,得到宽度为 3 mm,厚度为 1 mm 的实验组及空白组面条,将面条装于

PE 自封袋,并放在 4 ℃ 冰箱中备用。

1.2.2 流变特性 采用动态流变仪对面团样品的流变学特性进行表征^[13]。将 2.0 g 面团放置在 MARS 60 型流变仪上间距 3 mm、直径 20 mm 的平行板上,在 0.02% 的恒定剪切应变(线性粘弹性范围内)条件下,以 0.01~10 Hz 的频率范围内进行扫频,测定了面团样品的储能模量(G')和损耗模量(G'')。

1.2.3 水分分布 使用低场核磁共振仪(LF-NMR)中的 CPMG 脉冲序列,测定面团样品的横向弛豫时间(T_2)^[14]。实验中的测量参数为:TW(ms)=2000.00,TE(ms)=0.1,SW(kHz)=333.33,NS=8,NECH=12000。

1.2.4 质构特性

1.2.4.1 TPA 特性 使用 TA-XT Plus 仪器的 P/100 探头对面团的应力松弛进行测定。当面团变形度达到 75% 时,应变保持 60 s。利用 Maxwell-Kelvin 三元模型进行拟合面团应力松弛曲线,测试的前、中、后速度分别为 1、1、10 mm/s^[15]。

1.2.4.2 单轴拉伸特性 面团的单轴拉伸特性使用 TA-XT Plus 仪器的 A/KIE 探头进行测定^[14]。试验中的触发力为 5 g,距离为 50.0 mm,前、中、后速度分别为 2.0、0.08、10.0 mm/s,得到最大拉伸阻力和拉伸距离。每个样品至少进行 7 次测量。

1.2.5 蒸煮特性

1.2.5.1 最佳蒸煮时间 参照钱晶晶^[16]的方法并稍作修改,在锅中加入 500 mL 蒸馏水,将面条计时用小火烹煮 2 min 后,每隔 10 s 捞出一根面条,观察用小刀切开的面条截面是否有白芯,当白芯刚好消失时,即刻记录为最佳蒸煮时间。

1.2.5.2 断条率 断条率是指煮熟后断裂的面条数量与总面条数的比值,是反映面条蒸煮之后品质特性的重要指标,断条率较低,则说明该面条耐煮,并且口感较好。取 40 根面条在水持续沸腾的情况下,至最佳蒸煮时间捞出。断条率计算公式如下^[17]。

$$\text{断条率}(\%) = \frac{N}{40} \times 100$$

式中: N 为煮断的面条根数。

1.2.6 消化特性 根据 Englyst 等^[18]的方法进行修改,测定面条样品的体外消化特性,以白面包作为对照组,绘制淀粉水解曲线并计算血糖生成指数。

1.2.6.1 熟面条粉末的制备 将制备好的生面条在最佳蒸煮时间下煮熟, -50 ℃ 条件下冻干 24 h、研磨后过 120 目筛,空白组和样品组如 1.2.1 设定。

1.2.6.2 葡萄糖含量的测定 按照任婧等^[19]的 DNS 法测定,制备梯度浓度葡萄糖标液(0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7 mg/mL),在 540 nm 波长处测定吸光度,绘制标准曲线。

1.2.6.3 总淀粉含量的测定 根据 GB/T 20378-2006 测定。

1.2.6.4 糊化处理 称取 200 mg 熟面条粉末于 50 mL 离心管中,溶解于 5 mL 醋酸钠缓冲溶液(0.2 mol/L, pH5.2),于 95 ℃ 糊化 20 min 后置于 37 ℃ 水浴恒温振荡器中冷却保温。

1.2.6.5 淀粉水解率和血糖生成指数的测定 将 16 mL α -淀粉酶溶液(40 mg/mL)和 4 mL 糖化酶溶液(5 mg/mL)充分混合,并置于 37 ℃ 水浴恒温振荡器中保温,待混酶溶液温度为 37 ℃ 时,即将其加入到上一步处理好的淀粉糊化溶液中。混酶溶液添加完后即刻开始计时,取不同时间点(10、20、30、40、60、90、120、180 min)的反应液各 1 mL,置于装有 4 mL 无水乙醇的离心管(10 mL)中灭活,于 4000 r/min 离心 20 min 后取上清液,煮沸 5 min 后立即冰浴,计算水解率并绘制曲线。公式如下:

$$\text{水解率}(\%) = \frac{Gt \times 25 \times 0.9}{TS}$$

$$GI = 39.71 + 0.549 \times HI$$

式中, Gt 为 t 时间后淀粉水解产生的葡萄糖含量(mg); TS 为样品中的总淀粉含量(mg); 酶解指数 HI 是淀粉水解曲线下面积与白面包水解曲线下面积之比(%); GI 为血糖生成指数。

1.2.7 二硫键和游离巯基含量的测定 将制备好的面团放入温水中搓洗,得到的面筋蛋白在 -50 ℃ 冻干 24 h,研磨并过 100 目筛。参照 Zhang 等^[20]的方法测定面筋蛋白样品中二硫键和游离巯基的水平。称取样品(2 mg/mL)悬浮于 10.0 mL Tris-甘氨酸缓冲液(pH8.0)中,其中含有盐酸胍(5.0 mol/L)、尿素(8.0 mol/L)和乙二胺四乙酸二钠(EDTA, 1.5% w/v),将三氯乙酸溶液(TCA, 12% w/v)添加至样品缓冲液中,静置 60 min 使其充分反应。随后取 200 μ L 的 5,5'-二硫代-(2-硝基)苯甲酸(DTNB, 0.1% w/w)与 5 mL 的样品溶液混合,静置 30 min, 5000 r/min 离心 10 min,在 412 nm 处测定上清液的吸光度,用该缓冲液作为空白,计算游离巯基含量。总巯基含量与游离巯基含量的测定方法一致,在缓冲液中额外添加二硫苏糖醇(DTT, 0.5% w/v)。二硫键含量由总巯基和游离巯基计算所得,公式如下:

$$SH(\mu\text{mol/g}) = \frac{A_{412} \times D}{\epsilon \times b \times C}$$

$$SS(\mu\text{mol/g}) = \frac{N_2 - N_1}{2}$$

式中, SH 表示巯基含量($\mu\text{mol/g}$); SS 表示二硫键含量($\mu\text{mol/g}$); ϵ 为 DTNB 的摩尔吸光系数($1.36 \times 10^4 \text{ L/mol} \cdot \text{cm}$); b 是光池路径长度(cm); A_{412} 是样品在 412 nm 处的吸光度; D 是稀释倍数; C 为样品浓度(mg/mL); N_1 是游离巯基含量(mol/g); N_2 是总巯基含量(mol/g)。

1.2.8 扫描电子显微镜(SEM) 将制备好的生面条在 -50 ℃ 冻干 24 h,备用。使用 SU151 扫描电子显

表 1 感官评价标准
Table 1 Sensory evaluation criteria

评价指标	满分	评分标准
色泽	20分	面条光亮(16~20分);亮度一般(11~15分);亮度差(1~10分)
表观状态	20分	表面光滑、有明显透明质感(16~20分);表面较光滑、透明质感不明显(11~15分);表面粗糙、明显膨胀(1~10分)
适口性	20分	软硬适中得分为(16~20分);稍偏硬或软(11~15分);太硬或太软(1~10分)
韧性	20分	韧性好(16~20分);韧性一般(11~15分);韧性差(1~10分)
食味	20分	具有小麦香味(16~20分);基本无异味(11~15分);有异味(1~10分)

显微镜(SEM)观察其横断面的微观结构。将冻干的生面条自然掰断,粘在导电胶上,镀一层导电金膜后进行观察。电镜测定条件:在 15 kV 加速电压下喷金处理 30 s,在 300×放大倍数下观察^[21]。

1.2.9 感官评价 根据 GB/T 35875-2018 对最佳蒸煮条件下的面条进行感官评分^[22],由 20 名经过培训的评价人员(男、女各 10 名,年龄组成为 20~40 岁),对各组面条进行品尝,评价过程均独立完成、互不交流,从色泽、表观状态、适口性、韧性、食味等面条的 5 个方面(表 1)进行评估打分。

1.3 数据处理

除另有说明,所有实验至少重复 3 次,结果以平均值±标准偏差表示,数据使用 Origin 作图及 SPSS 进行显著性分析($P<0.05$),采用 Duncan 模型进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 葡萄籽原花青素对面团流变特性的影响

由图 1 可知,面团的弹性模量(G')和粘性模量

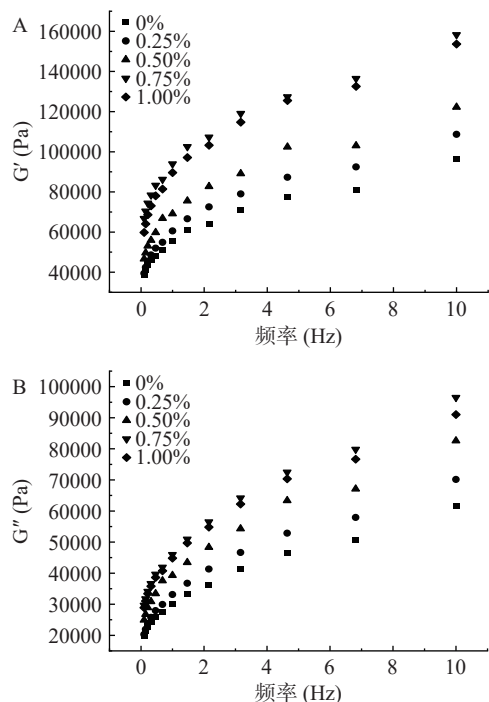


图 1 不同 GSP 添加量对面团流变特性的影响

Fig.1 Effect of different GSP addition on rheological properties of dough

注: A 为添加 GSP 面团的弹性模量 G' ; B 为添加 GSP 面团的粘性模量 G'' 。

(G'')随着 GSP 添加量的增大而增大,且在频率测定范围内, G' 始终高于 G'' ,表明面团体系具有典型的粘弹特性^[23]。与空白组相比, G' 和 G'' 均随 GSP 添加量的增加而增加,当 GSP 添加量为 0.75% 时, G' 和 G'' 达到最大值,继续添加 GSP 后 G' 和 G'' 又有所降低,这与 Hayta 等^[24]研究结果保持一致。面筋网络主要是由大分子的麦谷蛋白通过非共价作用而形成^[25],在小麦粉中添加 GSP 后,与面筋蛋白发生交联结合,多个基团被激活,导致相邻蛋白质之间相互作用增强,形成的三维网络结构连续且更加致密,面团的延伸性能得到提升。但在过量添加 GSP 后面团 G' 和 G'' 下降,粘弹性降低是因为 GSP 在面团的形成过程中与水分竞争面筋蛋白的结合位点,结合水的能力下降所导致的^[26]。GSP 的添加能改善面筋蛋白的流变特性,对面筋蛋白网络结构的形成起促进作用,从而增强面团的粘弹性。

2.2 葡萄籽原花青素对面团水分分布的影响

小麦粉中的主要成分与水之间的相互作用会影响面团的可塑性和功能性,且与面团的结构特性密切相关。利用 LF-NMR 检测出新鲜面团样品中的水分状态主要有三类:结合水、半结合水和自由水,如图 2 所示,峰值 T_{21} 、 T_{22} 和 T_{23} 分别是它们的横向弛豫时间^[27](见表 2)。添加 GSP 的面团中的主要水分状态是半结合水。添加 GSP 的样品与空白组相比横向弛豫时间 T_2 显著降低($P<0.05$), T_2 值越小,表明面团中水与大分子结合越紧密,结合水和半结合水较多,自由水较少;反之,表明面团中水与大分子结合松散,自由水含量较多^[28]。由表 2 可知, T_{22} 随 GSP 添加量的增加而减小, T_{22} 时峰值面积占总面积的比例

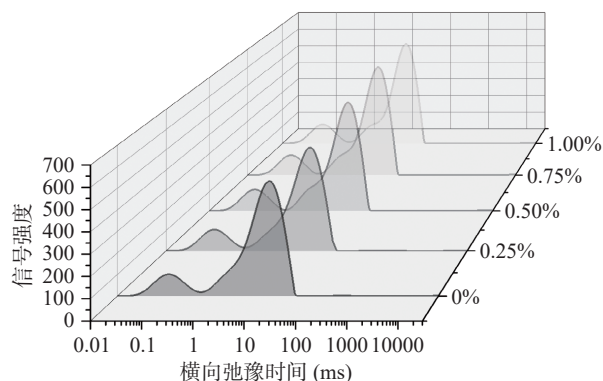


图 2 不同 GSP 添加量面团的水分分布

Fig.2 Water distribution of dough with different GSP addition

表 2 不同 GSP 添加量对面团水分分布的影响
Table 2 Effects of different GSP addition on water distribution of dough

GSP添加量(%)	T ₂₁ (ms)	T ₂₂ (ms)	T ₂₃ (ms)	A ₂₁ (%)	A ₂₂ (%)	A ₂₃ (%)
0	0.14±0.02 ^a	15.11±0.53 ^a	370.76±1.83 ^a	14.15±0.69 ^b	84.51±0.24 ^c	0.34±0.06 ^a
0.25	0.14±0.01 ^a	14.36±0.07 ^b	368.97±1.15 ^b	14.99±0.65 ^a	84.67±0.39 ^b	0.34±0.04 ^a
0.50	0.13±0.01 ^a	14.36±0.10 ^b	366.11±3.17 ^c	14.75±0.31 ^a	85.02±0.36 ^b	0.24±0.05 ^b
0.75	0.12±0.00 ^a	12.92±0.45 ^c	365.94±2.28 ^{bc}	14.18±0.15 ^b	85.65±0.16 ^a	0.17±0.01 ^c
1.00	0.11±0.01 ^a	13.51±0.89 ^c	364.44±2.10 ^c	14.73±0.26 ^a	85.11±0.26 ^b	0.17±0.00 ^c

注: 表中数据为平均值±标准差, 同列肩标字母不同表示数值之间具有显著性差异($P<0.05$); 表3~表5同。

表 3 不同 GSP 添加量对面团 TPA 特性的影响
Table 3 Effects of different GSP addition on TPA characteristics of dough

添加量(%)	硬度(g)	弹性	粘附性(g·s)	咀嚼性	回复性
0	4823.20±69.17 ^d	0.27±0.01 ^c	-30.00±3.01 ^c	551.33±1.32 ^a	0.16±0.01 ^a
0.25	5377.36±92.85 ^c	0.29±0.01 ^b	-26.32±5.72 ^c	549.46±2.15 ^{ab}	0.16±0.02 ^a
0.50	5615.39±28.19 ^{bc}	0.30±0.02 ^b	-21.38±2.28 ^{bc}	548.00±1.07 ^b	0.15±0.01 ^a
0.75	5817.17±40.41 ^b	0.34±0.01 ^a	-16.54±2.99 ^{ab}	552.61±1.36 ^a	0.15±0.01 ^a
1.00	6198.86±176.04 ^a	0.33±0.02 ^{ab}	-11.83±1.59 ^a	547.39±2.67 ^b	0.14±0.01 ^b

A₂₂ 增大, 表明 GSP 增强了水与非水基质的相互作用, 影响面团中水分分布, 且提高了面条的保水性。推测 GSP 可能嵌入到淀粉-蛋白质面筋网络中, 形成相对稳定的三维结构, 更有效地限制水分子的运动, 缩短弛豫时间, 因此添加 GSP 更有利于面条质量的稳定性, 这与 Han 等^[29]的研究结果一致。

2.3 葡萄籽原花青素对面团质构特性的影响

2.3.1 原花青素对面团 TPA 特性的影响 如表 3 所示, 随着 GSP 添加量从 0.25% 增加到 1.00%, 与空白组相比, 添加 GSP 后面团的硬度、弹性、粘附性均显著提高($P<0.05$), 说明 GSP 明显增强了面团的凝胶强度; 回复性仅在 1.00% GSP 添加量时显著降低($P<0.05$), 咀嚼性的变化与 GSP 添加量相关性不高。上述结果可能是由于 GSP 与蛋白质和淀粉发生共价和非共价相互作用, 形成较强的疏水作用力和氢键, 使面团形成了较强的凝胶网络^[30-31]。这表明适当添加 GSP 能够改善面团的硬度、弹性和咀嚼性, 总体上改善了面团的 TPA 特性。

2.3.2 葡萄籽原花青素对面团拉伸特性的影响 拉伸特性的测定结果见表 4。与空白组相比, 随着 GSP 添加量从 0.25% 上升到 1.00%, 面团的最大拉伸阻力、拉伸距离都有显著增大($P<0.05$); 当添加量为 0.75% 时, 其最大拉伸阻力和拉伸距离均达到最大值。拉伸阻力越大说明面团需要更大的力来拉伸, 说

表 4 不同 GSP 添加量对面团拉伸特性的影响

Table 4 Effect of different GSP addition on tensile properties of dough

添加量(%)	最大拉伸阻力(g)	拉伸距离(mm)
0	38.60±0.31 ^c	19.71±0.08 ^c
0.25	40.60±0.07 ^{bc}	20.87±0.17 ^c
0.50	41.87±0.97 ^{bc}	26.88±0.69 ^b
0.75	45.82±2.08 ^a	30.87±1.12 ^a
1.00	44.10±2.31 ^{ab}	27.46±1.32 ^b

明适量添加 GSP 对面团的拉伸性能有提升的作用, 添加量为 0.75% 时效果最好, 更加利于面条制品的制作, 这与李华等^[32]的研究结果一致。当 GSP 添加量为 1.00% 时, 跟 0.75% 相比有所下降, 可能是因为 GSP 添加量过高抑制了二硫键的形成, 对面筋网络结构反而造成一定程度的破坏^[31]。

2.4 葡萄籽原花青素对面条蒸煮特性的影响

GSP 对面条蒸煮特性的影响见表 5。随着面条中 GSP 添加量的增大, 其最佳蒸煮时间有明显增长, 这表明 GSP 的加入增强了与面粉中成分之间的相互作用, 可提高葡萄籽原花青素面条的耐煮性。断条率仅在添加量为 1.00% 时与空白组相比有显著升高($P<0.05$), 造成这一结果的主要原因是添加量过高之后反而减弱了 GSP 与面筋蛋白和二硫键的相互作用, 因此, GSP 添加量过多会导致面筋网络结构的相互作用减弱, 从而降低面筋的筋力, 使得面条在蒸煮过程中断条率增大, 这一结果与刘孙鹏^[33]的结果是一致的, 但仍满足面条制作标准断条率 $\leq 5\%$ 的要求。

表 5 不同 GSP 添加量对面条蒸煮特性的影响

Table 5 Effect of different GSP addition on cooking characteristics of noodles

添加量(%)	最佳蒸煮时间(min)	断条率(%)
0	3.86±0.10 ^d	0.00±0.00 ^b
0.25	4.33±0.18 ^c	0.83±1.43 ^{ab}
0.50	4.54±0.10 ^{bc}	1.67±1.43 ^{ab}
0.75	4.67±0.13 ^{ab}	2.50±0.00 ^{ab}
1.00	4.78±0.08 ^a	3.33±1.43 ^a

2.5 葡萄籽原花青素对面条消化特性的影响

GSP 对面条淀粉水解率的影响及面条的血糖生成指数分别见图 3 和表 6。由图 3 可看出, 在面粉中添加 GSP 制成面条后, 面条的淀粉水解率明显低于空白组, 且随 GSP 添加量的增加而减小。水解率降低一是由于 GSP 通过改变面筋蛋白的网络结构来抑

制淀粉的消化,二是 GSP 与淀粉发生相互作用,占据了淀粉和消化酶的结合位点,阻碍淀粉的水解,进而降低淀粉的消化率^[34]。由表 6 可知,随 GSP 添加量的增多,GI 值显著降低($P<0.05$),空白组 GI 值为 68.45,当 GSP 添加量达到 1.00% 时,面条的 GI 值最低,为 61.73。这是因为淀粉的低水解率导致面条在体内不易被消化,从而降低了 GI 值。

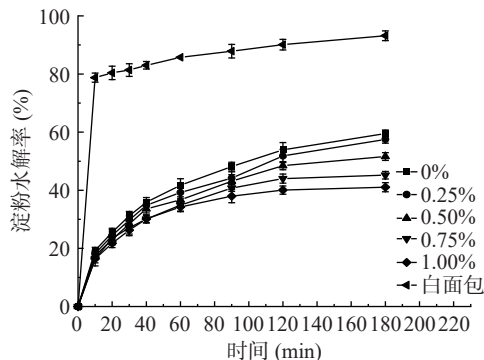


图 3 不同 GSP 添加量对面条消化特性的影响
Fig.3 Effect of different GSP addition on digestion characteristics of noodles

表 6 不同 GSP 添加量对面条血糖生成指数的影响
Table 6 Effect of different GSP addition on glycemic index of noodles

添加量 (%)	0	0.25	0.50	0.75	1.00
GI	68.45±0.05 ^a	67.06±0.04 ^b	65.35±0.13 ^c	63.25±0.05 ^d	61.73±0.11 ^e

注:表中数据为平均值±标准差,同行肩标字母不同表示数值之间具有显著性差异($P<0.05$)。

2.6 葡萄籽原花青素对游离巯基和二硫键含量的影响

由图 4 可知,随着 GSP 添加量的增加,面筋蛋白中二硫键的含量先增大后减小,游离巯基的变化趋势与之相反。当原花青素添加量为 0.75% 时,二硫

键含量最高,游离巯基含量最低,与空白组相比有显著差异($P<0.05$),说明 GSP 的添加促进了面筋蛋白分子中的游离巯基向二硫键的转化,然而 GSP 添加量为 1.00% 时,二硫键含量下降,游离巯基含量增多,表明 GSP 通过游离巯基和二硫键的交换反应,促进面筋蛋白网络的形成,使得面筋蛋白结构更紧密,但过量添加时,GSP 因通过竞争结合位点而抑制两者间的相互转化^[7]。

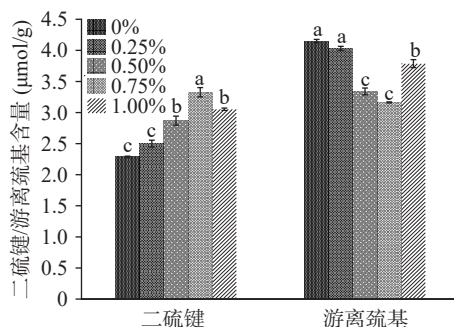


图 4 不同 GSP 添加量对二硫键和游离巯基含量的影响
Fig.4 Effect of different GSP addition on disulfide bond (SS) and the free thiol group (-SH)

注:图中字母不同表示数值之间具有显著性差异($P<0.05$);图 6 同。

2.7 葡萄籽原花青素对生面条微观结构的影响

麦谷蛋白作为整个面筋网络的坚实骨架支撑起整个结构,呈现连续的纤维状,而醇溶蛋白穿插在麦谷蛋白中,当淀粉颗粒浸入一个发达的面筋网络中,淀粉颗粒嵌入其中填充面筋网络,以维持面筋蛋白质结构的稳定性^[35]。从图 5 中可以看出,由于 GSP 添加量比例的提高,面筋蛋白的网络结构越来越致密,孔洞也相应减少;当 GSP 添加量为 0.75% 时,面筋蛋白的结构最为致密,这可能是因为 GSP 中的多酚类物质可以通过羟基、氢键、疏水作用力等方式与

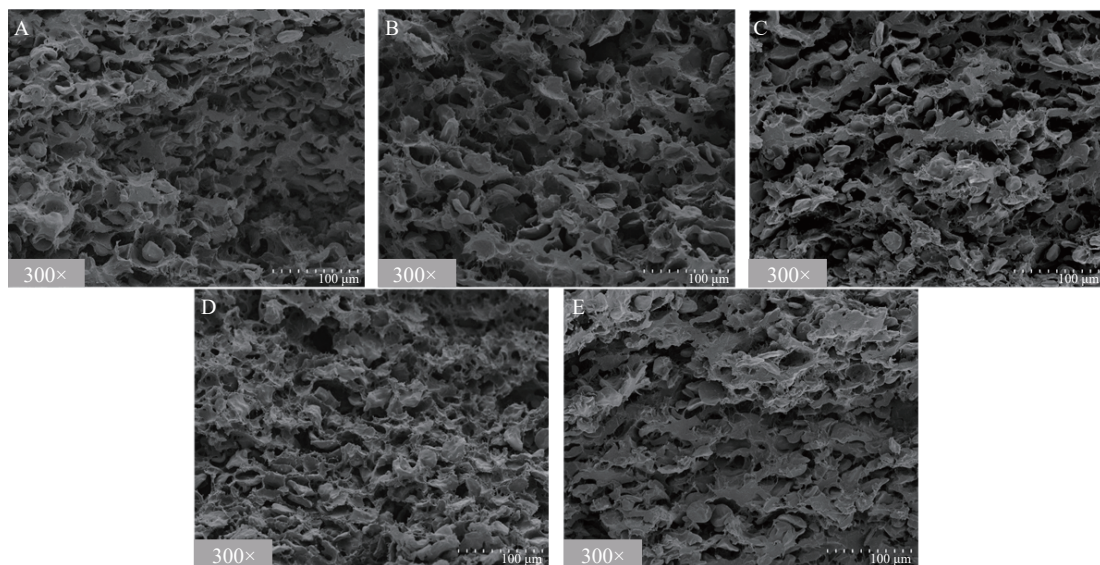


图 5 不同 GSP 添加量对面条微观结构的影响(300×)

Fig.5 Effect of microstructure on noodles with different GSP addition (300×)

注: A 为空白组; B~E 分别为 GSP 添加量 0.25%、0.50%、0.75%、1.00%。

面筋蛋白交联,较小的球状醇溶蛋白通过非共价键嵌入到麦谷蛋白形成的面筋骨架中,对面筋蛋白网络的形成起到了促进作用^[30]。这与之之前一项研究的结果相似,绿茶中的多酚和其他物质可以促进面筋网络结构的形成^[29]。然而当添加量达到 1.00% 时,其结构又变得相对疏松,表明过量添加 GSP 会抑制面筋网络的形成,这与二硫键含量逐渐降低的结果相吻合。

2.8 葡萄籽原花青素对面条感官评价的影响

如图 6 所示, GSP 添加到小麦粉中,对面条的感官特性都产生了影响,除了韧性以外其他的指标都随添加量的增大先升高后降低,尤其是当 GSP 添加量为 0.75% 时,面条的感官评价总分最高为 92.30 分,相比其他组有显著差异($P<0.05$),面条口感顺滑且软弹劲道,而添加量为 1.00% 时,面条的感官评价分反而降低,说明适量添加 GSP 可以有效提升面条的食用品质,添加量在 0.75% 时品质最佳。

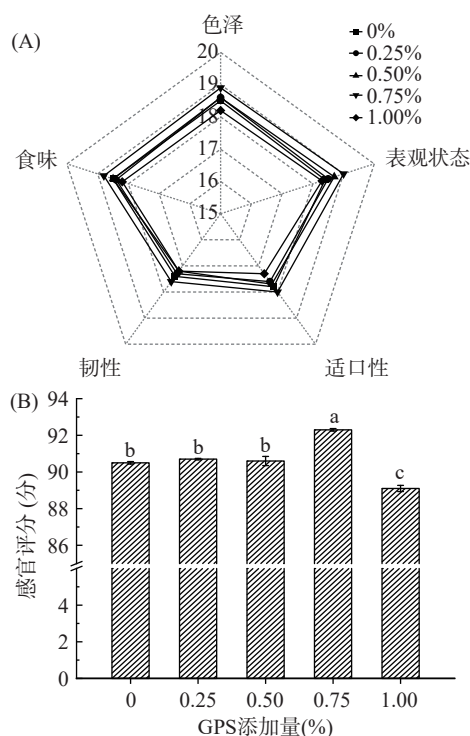


图 6 不同 GSP 添加量的面条感官评分雷达图(A)和感官评分(B)

Fig.6 Sensory rating radar (A) and sensory rating (B) on noodles with different GSP addition

3 结论

本文通过在小麦粉中添加 GSP 改善了面条的品质特性。面团的流变特性在随 GSP 添加量(0~0.75%)的增加而上升;面团水分分布的横向弛豫时间左移说明 GSP 的添加有利于面条质量的稳定性;面条的最佳蒸煮时间延长,即 GSP 的加入能够提高面条耐煮性,断条率只有在 1.00% 时有显著升高,但仍符合面条标准;硬度、弹性、粘附性、最大拉伸阻力和拉伸距离有所增大。随 GSP 添加量增加,面条 GI 从 68.45(添加量为 0)降到了 61.73(添加量为 1.00%),并且面条的淀粉水解率明显低于空白组,且

随 GSP 添加量增加而下降;感官特性在 GSP 添加量为 0.75% 时,对面条食用品质特性的改善效果最佳,面条感官评分最高为 92.30 分。综上所述,适量添加 GSP 可以促进面筋网络的形成,同时降低面条的血糖生成指数,从而提升面条的食用品质,表明 GSP 作为具有潜质的面粉改良剂,可应用于面条生产和面制品行业。

© The Author(s) 2024. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

- [1] GRAZYNA C, DARIUSZ D, URSZULA G, et al. Dandelion flowers as an additive to wheat bread: Physical properties of dough and bread quality[J]. *Applied Sciences*, 2022, 13(1): 477–477.
- [2] 刘爱红, 李晓云, 陈洁. 魔芋保健面条的配方探究[J]. *湖北农业科学*, 2021, 60(22): 139–142. [LIU A H, LI X Y, CHEN J. Konjac care formula of noodles to explore[J]. *Journal of Hubei Agricultural Science*, 2021, 60(22): 139–142.]
- [3] 苏坤明. 营养强化米粉的制备及其品质评价[D]. 南昌: 南昌大学, 2012. [SU K M. Preparation and quality evaluation of nutritionally fortified rice flour[D]. Nanchang: Nanchang University, 2012.]
- [4] 赵时珊, 蔡芳, 隋勇, 等. 紫薯-中筋复配粉的理化特性及其馒头制品品质分析[J]. *现代食品科技*, 2023, 39(7): 209–217. [ZHAO S S, CAI F, SUI Y, et al. Physicochemical properties of purple sweet potato and middle gluten compound powder and analysis on quality of steamed bun products[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2023, 39(7): 209–217.]
- [5] GIRARD A L, AWIKA J M. Effects of edible plant polyphenols on gluten protein functionality and potential applications of polyphenol-gluten interactions[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2020, 19(4): 2164–2199.
- [6] ROOPCHAND D E, GRACE M H, KUHN P, et al. Efficient sorption of polyphenols to soybean flour enables natural fortification of foods[J]. *Food Chemistry*, 2012, 131(4): 1193–1200.
- [7] 李瑞丽, 张玘婕, 赵琪, 等. 响应面法优化超声辅助浸提葡萄籽原花青素[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(15): 53–60. [LI R L, ZHANG D J, ZHAO Q, et al. Optimization of ultrasonic assisted extraction of grape seed proanthocyanidins by response surface method[J]. *Food Research and Development*, 2021, 42(15): 53–60.]
- [8] 陈圣雄. 葡萄籽粉对面条品质的影响及其机理的研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2022. [CHEN S X. Study on effect of grape seed powder on noodle quality and its mechanism[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2022.]
- [9] 胡思. 茶多酚与面筋蛋白相互作用对生鲜面品质影响的研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2016. [HU S. Effect of interaction between tea polyphenols and gluten protein on quality of fresh noodles[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2016.]
- [10] TIAN C, ZHEN T Y, MA M, et al. Contribution of catechin monomers in tea polyphenols to the structure and physicochemical properties of wheat gluten and its sub-fractions[J]. *Journal of Cereal Science*, 2021, 101: 103306.
- [11] 魏建林, 左文杰, 姚望. 单宁酸对小麦粉面筋改良效果的研究与优化[J]. *粮食科技与经济*, 2018, 43(6): 70–72. [WEI J L, ZUO W J, YAO W. Tannins to wheat flour gluten effect of improve-

- ment and optimization[J]. *Journal of Food Science and Technology and Economy*, 2018, 43(6): 70–72.]
- [12] CHEN J R, XIAO J H, TU J, et al. The alleviative effect of sweet potato protein hydrolysates on the quality deterioration of frozen dough bread in comparison to trehalose[J]. *LWT*, 2023, 175: 114505.
- [13] ZHU J C, LIU Z P, CHEN L. Impact of protein network restructured with soy protein and transglutaminase on the structural and functional characteristics of whole-grain highland barley noodle[J]. *Food Hydrocolloids*, 2022, 133: 107909.
- [14] YANG Y L, GUAN E Q, ZHANG T J, et al. Behavior of wheat flour dough at different pretreated temperatures through rheological characteristics and molecular interactions of proteins[J]. *Food Chemistry*, 2023(404): 134188.
- [15] GU Y J, QIAN X J, SUN B H, et al. Effects of gelatinization degree and boiling water kneading on the rheology characteristics of gluten-free oat dough[J]. *Food Chemistry*, 2023, 404: 134715.
- [16] 钱晶晶. 添加剂对速冻熟面品质影响及其流变学特性研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2011. [QIAN J J. Effect of additives on quality and rheological properties of quick-frozen cooked noodles [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2011.]
- [17] 李刚凤, 田亚容, 李瑞琳, 等. 天麻面条抗氧化品质及体外淀粉消化性研究[J]. *粮食与油脂*, 2022, 35(8): 121–125. [LI G F, TIAN Y R, LI R L, et al. Study on antioxidant quality and starch digestibility of *Gastonia* noodles *in vitro* [J]. *Food and Oil*, 2022, 35(8): 121–125.]
- [18] ENGLYST H N N, KINGMAN S M M, CUMMINGS J H H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions[J]. *European Journal of Clinical Nutrition*, 1992, 46(Suppl 2): S33–50.
- [19] 任婧, 李景富, 张佳, 等. 基于3,5-二硝基水杨酸比色法建立一种快速测定总糖含量的方法[J]. *黑龙江科学*, 2017, 8(10): 66–69. [REN J, LI J F, ZHANG J, et al. A rapid method for the determination of total sugar content based on 3,5-dinitrosalicylic acid colorimetry[J]. *Heilongjiang Science*, 2017, 8(10): 66–69.]
- [20] ZHANG M L, MA M, YANG T B, et al. Dynamic distribution and transition of gluten proteins during noodle processing[J]. *Food Hydrocolloids*, 2022, 123: 107114.
- [21] HONG T T, ZHANG Y, XU D, et al. Effect of sodium alginate on the quality of highland barley fortified wheat noodles[J]. *LWT*, 2021, 140: 110719.
- [22] 张林华, 张红玉, 谢凯文, 等. 探究后处理工艺对藜麦挤压面条品质的影响[J]. *中国粮油学报*, 2024, 39(4): 110–118. [ZHANG L H, ZHANG H Y, XIE K W, et al. Explore post-treatment technology impact on quinoa extrusion noodle quality[J]. *Chinese Journal of Grain and Oil*, 2024, 39(4): 110–118.]
- [23] KUANG J W, MA W H, PU H Y, et al. Control of wheat starch rheological properties and gel structure through modulating granule structure change by reconstituted gluten fractions[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2021, 193(Pt B): 1707–1715.
- [24] HAYTA M, SCHOFIELD J D. Dynamic rheological behavior of wheat glutes during heating[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2005, 85(12): 1992–1998.
- [25] 汲言山, 赵友梅, 秦礼谦. 小麦蛋白质的加热效应[J]. *郑州粮食学院学报*, 1993(1): 15–20. [JI Y S, ZHAO Y M, QIN L Q. Heating effect of wheat protein[J]. *Journal of Zhengzhou Grain University*, 1993(1): 15–20.]
- [26] 皮俊翔. 茶多酚对面筋蛋白网络结构影响机制的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2021. [PI J X. Tea polyphenols of gluten network structure influence mechanism research[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2021.]
- [27] YU X L, WANG Z H, ZHANG Y Q, et al. Study on the water state and distribution of Chinese dried noodles during the drying process[J]. *Journal of Food Engineering*, 2018, 233: 81–87.
- [28] LI M, LUO L J, ZHU K X, et al. Effect of vacuum mixing on the quality characteristics of fresh noodles[J]. *Journal of Food Engineering*, 2012, 110(4): 525–531.
- [29] HAN C W, MA M, ZHANG H H, et al. Progressive study of the effect of superfine green tea, soluble tea, and tea polyphenols on the physico-chemical and structural properties of wheat gluten in noodle system[J]. *Food Chemistry*, 2020(308): 125676.
- [30] JIANG T, WANG H, XU P H, et al. Effect of grape seed proanthocyanidin on the structural and physicochemical properties of bread during bread fermentation stage[J]. *Current Research in Food Science*, 2023, 7: 100559.
- [31] LI Y Q, LI X, JIANG X T, et al. Effect of anthocyanins on mechanical and physicochemical properties of wheat dough[J]. *Journal of Cereal Science*, 2023, 110: 103652.
- [32] 李华, 张珂. 茶多酚 EGCG 对面条面团流变学特性的影响研究[J]. *中国食品添加剂*, 2017(6): 133–137. [LI H, ZHANG K. Effect of tea polyphenol EGCG on rheological properties of noodle dough[J]. *Chinese Food Additives*, 2017(6): 133–137.]
- [33] 刘孙鹏. 添加多酚提取物对传统发酵拉制挂面品质的影响研究[D]. 成都: 成都大学, 2022: 21–23. [LIU S P. Study on the effect of polyphenol extract on the quality of traditional fermented pulled noodles[D]. Chengdu: Chengdu University, 2022: 21–23.]
- [34] 李驰, 姚佳, 韩乔, 等. 马铃薯淀粉消化特性及多酚对其影响研究进展[J]. *食品科技*, 2022, 47(12): 221–227. [LI C, YAO J, HAN Q, et al. Potato starch digestibility and the influence of polyphenols research progress[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2022, 47(12): 221–227.]
- [35] HAN C W, MA M, LI M, et al. Further interpretation of the underlying causes of the strengthening effect of alkali on gluten and noodle quality: Studies on gluten, gliadin, and glutenin[J]. *Food Hydrocolloids*, 2020, 103: 105661.