金银花多糖对冷冻面团特性及馒头食用品质的影响

曹蒙[1]，靳羽慧[1]，黄卉卉[1]，周舟[1]，曾洁[2*]，李建芳[1*]

（1.信阳农林学院食品科学与工程学院，河南信阳 464000）（2.河南科技学院食品学院，河南新乡 453000）

摘要：为改善冷冻面团及馒头的品质劣变问题，该实验探究了不同质量分数（0%、0.4%、0.8%、1.2%、1.6%、2.0%）金银花多糖对冷冻面团的流变学特性、质构特性、水分分布、蛋白质二级结构、馒头的质构特性、水分迁移及食用品质的影响。结果表明：金银花多糖质量分数可改善冷冻面团的黏弹性，其储能模量 G' 和损耗模量 G'' 先升后降，1.6% 质量分数时 G' 达 34 608 Pa，显著高于空白组，有效减缓面筋网络破坏；金银花多糖质量分数为 1.6% 时面团总峰面积较大，持水性增强，且可维持面筋蛋白二级结构的有序稳定性。对冷冻面团馒头而言，金银花多糖质量分数 1.2% 时，比容最高为 2.333 $mL\cdot g^{-1}$、感官评分最高 90.1 分，硬度和咀嚼性等质构特性最优；质量分数为 1.6% 时馒头水分含量达 47.23%，持水性较好，馒头白度为 55.97。因此，金银花多糖质量分数为 1.2%~1.6% 时，可有效改善冷冻面团的稳定性，提升冷冻馒头的品质。该研究为金银花多糖在冷冻面制品中品质提升方面的应用奠定了理论基础。

关键词：金银花多糖；冷冻面团；馒头；水分迁移；蛋白质二级结构

文章编号：1673-9078(2026)10-272-280 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2026.10.1022

Effect of Honeysuckle Polysaccharides on the Properties of Frozen Dough and the Eating Quality of Steamed Buns

CAO Meng[1], JIN Yuhui[1], HUANG Huihui[1], ZHOU Zhou[1], ZENG Jie[2*], LI Jianfang[1*]

(1.College of Food Science and Engineering, Xinyang Agriculture and Forestry University, Xinyang 464000, China)

(2.School of Food Science, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453000, China)

Abstract: To address the quality deterioration of frozen dough and steamed bun, the effects of different mass fractions (0%, 0.4%, 0.8%, 1.2%, 1.6%, and 2.0%) of honeysuckle polysaccharides (HSP) on the rheological properties, textural properties, moisture distribution and protein secondary structure of frozen dough, as well as the textural properties, moisture migration and eating quality of steamed bread were investigated. The results showed that the mass fraction of HSP improved the viscoelasticity of frozen dough, with its storage modulus (G') and loss modulus (G'') increasing initially and then decreasing. When the mass fraction of HSP was 1.6%, G' reached 34 608 Pa, which was significantly higher than that of the blank group, and effectively alleviated the destruction of the gluten network. At a HSP mass fraction of 1.6%, the total peak area of the dough was larger, its water-holding capacity was enhanced, and the ordered stability of gluten protein secondary structure could be maintained. For steamed buns prepared using frozen dough, when the mass fraction of HSP was 1.2%, the specific volume peaked at 2.333 $mL\cdot g^{-1}$, the sensory score peaked at 90.1 points, and textural properties such as hardness and chewiness were optimal. At a mass fraction of 1.6%, the moisture content of the steamed bun reached 47.23%, indicating good water-holding capacity, and its whiteness was 55.97. Therefore, within the mass fraction range of 1.2%~1.6%, HSP could effectively improve the stability of frozen dough and enhance

收稿日期：2025-07-22；修回日期：2025-09-28；接受日期：2025-10-15

基金项目：河南省科技攻关项目（252102110108）；河南省高等学校重点科研项目（22B550015）；河南省教育厅项目（25B550012）；大别山实验室重点课题研发项目（DMLPO03）

作者简介：曹蒙（1994-），男，硕士，讲师，研究方向：粮食深加工及转化，E-mail：caom8977@163.com

通讯作者：李建芳（1979-），女，硕士，教授，研究方向：食品微生物与生物保鲜，E-mail：ljf002@163.com；共同通讯作者：曾洁（1973-），女，博士，教授，研究方向：农产品深加工与转化，E-mail：zengjie623@163.com

the quality of frozen steamed buns. This study provides a theoretical foundation for the application of HSP to improve the quality of frozen wheat-based products.

Key words: honeysuckle polysaccharides; frozen dough; steamed bun; water migration; secondary protein structure

引文格式：

曹蒙,靳羽慧,黄卉卉,等.金银花多糖对冷冻面团特性及馒头食用品质的影响[J].现代食品科技,2026,42(10):272-280.

CAO Meng, JIN Yuhui, HUANG Huihui, et al. Effect of honeysuckle polysaccharides on the properties of frozen dough and the eating quality of steamed buns [J]. Modern Food Science and Technology, 2026, 42(10): 272-280.

随着现代生活方式的改变，冷冻面团凭借操作简单、贮藏时间长、可连续性生产及成本节约等优势，成为面制品工业化领域的研究焦点，广泛用于制作面包、馒头、手抓饼等面制品[1]。冷冻馒头是将馒头坯在 −18 ℃冷冻贮藏，需要时经解冻、醒发和蒸制而成，便于销售、运输和贮藏，具有即时、高效的特点[2]。然而、低温环境会导致冷冻面团在贮藏、运输及加工中发生“水－冰”相态转变，会使冻藏时面团内部水晶形成与重结晶，破坏面筋网络结构，使面团的产气能力、持水能力、酵母活性等减弱，最终导致馒头的比容降低、口感变差，影响馒头的食用品质[3,4]。因此，针对冷冻面团的品质提高和改善馒头品质的问题是目前冷冻面制品研究的重点。近年来，国内外学者研究了将多糖、乳化剂、抗冻蛋白等新型添加剂用来改善冷冻面团的品质，能够减少冷藏中冰晶对面筋蛋白的损伤，增强冷冻面团的贮藏稳定性[5]。其中，多糖因亲水性强，可限制面团的水分和蛋白结构聚集[6]。

金银花（*Lonicera japonica* Thunb.）又名忍冬花、金银藤，主要分布在山东、河南、河北等地[7]。金银花多糖具有抗氧化、抑制淀粉样蛋白聚集活性、可以代替部分乳化剂、增稠剂等食品添加剂应用于面制品中。研究发现，金银花多糖作为优质亲水胶体，含有大量亲水基团（-OH、-COOH），能结合面团中的自由水，减少冻藏时冰晶形成对面筋网络结构的破坏，防止面制品解冻后出水、变形，保持口感柔软[8,9]。多糖能够降低馒头的硬度、提升面团的弹性和咀嚼性，避免馒头冷却后快速变硬，同时能够减少水分蒸发和微生物滋生。刘科文[10]研究发现，秋葵多糖能增强面团的贮藏稳定性，小麦粉中添加 0.5% ~1.0% 的秋葵多糖，馒头的品质最佳。彭瑞芳等[11]研究发现，海藻糖能够改善冷冻馒头的硬度和咀嚼性，当添加 2% 的海藻糖会使馒头的面筋结构更紧密，馒头的品质最佳。金银花多糖是一种新型的冷冻食品稳定剂，但其对改善冷冻面团和馒头品质的作用尚未进行研究，因此，将金银花多糖用于冷冻面团和馒头中，对其抗冻的研究具有重要意义。

本文将金银花多糖添加小麦粉中，重点探索了金银花多糖对冷冻面团的质构特性、流变学特性、水分迁移、蛋白二级结构及馒头的质构特性、水分迁移、比容、高径比、色泽、水分含量、感官评分的变化影响，为金银花多糖改善冷冻面团稳定性提供理论依据，拓展其在冷冻馒头中的应用前景。

1 材料与方法

1.1 原料与试剂

五得利超精小麦粉（蛋白质 9.6 wt.%、脂肪 1.6 wt.%、碳水化合物 73 wt.%），五得利面粉集团有限公司；金银花多糖（多糖纯度 80% 食品级），杨凌慈缘生物技术有限公司提供；耐高糖高活性干酵母，安琪酵母股份有限公司。

1.2 仪器与设备

SJJ-E08G1 打面机，广东小熊电器股份有限公司；WFFD-26D 发酵箱，广东省泓锋烘焙设备有限公司；HD-4 水分活度仪，无锡市华科仪器仪表有限公司；DW-60L328 超低温冰箱，浙江捷盛低温设备有限公司；MC-26GD 蒸箱，裕富宝厨具设备（深圳）有限公司；LS175 色差仪，上海劲天仪器设备有限公司；101-3AS 烘干箱，上海新诺仪器集团有限公司；CP214 电子天平，奥豪斯仪器（上海）有限公司；C21S-C3150 电磁炉，九阳股份（山东）有限公司；TMS-PRO 质构仪，北京盈盛恒泰科技有限责任公司；MCR 102e 流变仪，安东帕（上海）商贸有限公司；FD-1A-50 冷冻干燥机，上海比朗仪器制造有限公司；NMI20-040V-I 核磁共振成像分析仪，苏州纽迈分析仪器股份有限公司；Thermo Scientific ™ Nicolet ™ iS50 FT-IR 光谱仪，赛默飞世尔（美国）科技公司。

1.3 实验方法

1.3.1 冷冻面团的制备

称取 500 g 混合粉，分别添加 0%、0.4%、0.8%、1.2%、1.6%、2.0% 多糖（质量分数），置于和面机中

搅拌2 min后，加入250 mL的蒸馏水和5 g活性干酵母，先以低速搅拌3 min，再高速搅拌4 min，至面团表面光滑。将面团延压8~10次后，搓成每个80 g的馒头坯，用保鲜膜密封，在−30 ℃下速冻2 h，转至−18 ℃冷冻贮藏48 h，备用。

1.3.2 馒头的制备

将冷冻馒头坯置于恒温恒湿箱中（温度25 ℃、相对湿度80%）解冻1 h，醒发（38 ℃，相对湿度80%）40 min，然后放入蒸锅中蒸制25 min，焖5 min后取出，静置30 min后备用[12]。

1.3.3 冷冻面团流变学特性测定

取2 g解冻后的面团放置于旋转流变仪帕尔贴平板上，静置5 min后测的流变特性。采用平板夹具直径为25 mm，温度为25 ℃，间隙1.0 mm，应变1%，频率扫描范围为0.1~80 Hz，将其表面的多余面团刮掉，再用硅油密封缝隙，避免水分蒸发，测定面团的弹性模量（G'）和粘性模量（G''）[13]。

1.3.4 冷冻面团、馒头水分迁移的测定

将解冻面团和馒头切成20 mm×20 mm×40 mm大小，放置18 mm的核磁共振管内，然后用探头密封。在32 ℃的条件下，测定其横向弛豫时间。参数设置如下：检测样品点数TD=80 010，采样点数回波个数NECH为2 000，样品检测时间TW=4 000 ms；重复次数NS=64，每个样品测定三次[14]。

1.3.5 冷冻面团、馒头质构的测定

将样品放于质构仪的载物台上，75%的压缩比，0.8 mm·s^{-1}的测试速度，5 g的触发力，压缩的时间间隔为2 s。测定馒头的硬度、弹性、胶黏性、咀嚼性，每个样品测五次，取平均值[15]。

1.3.6 冷冻面团二级结构测定

将冷冻面团冻干后，在玛瑙研钵中研成粉末，与KBr按1:100比例混合后烘干，压成20 mg薄片待测。扫描范围400~4 000 cm^{-1}，分辨率4 cm^{-1}，扫描64次。使用Omnic 8.0和PeakFit 4.12解析傅里叶红外光谱，每个样品测定三次。

1.3.7 馒头比容测定

采用小米置换法测得馒头体积，三次平行实验。比容计算见公式（1）。

$$S=\frac{V}{\mathrm{m}} \tag{1}$$

式中：

S——比容；

V——体积，mL；

m——质量，g。

1.3.8 馒头高径比测定

将蒸熟的馒头盖上纱布放在室温下冷却1 h，用游标卡尺测量馒头直径D，测量馒头高度H，根据公式（2）计算，三次平行试验：

$$R=\frac{H}{D} \tag{2}$$

式中：

R——样品高度与直径的比值；

H——样品的高度，cm；

D——样品的直径，cm。

1.3.9 馒头色泽测定

将蒸熟的馒头放在室温下，切成5 cm厚片，选择不同部位进行色泽测定，根据公式（3）计算馒头白度，三次平行试验。

$$W=100-\sqrt{(100-L^*)^2+(a^*)^2+(b^*)^2} \tag{3}$$

式中：

W——白度；

L^*——明度；

a^*——红绿值；

b^*——黄蓝值。

1.3.10 馒头水分含量测定

称取2 g馒头，在105 ℃下烘4 h，放入干燥器内冷却。在105 ℃再次干燥1 h左右，将其取出，冷却0.5 h，称量。重复两次上述步骤，即为恒重，每个样品测定三次。根据公式（4）计算水分含量。

$$X=\frac{m_1-m_2}{m_1-m_3}\times 100\% \tag{4}$$

式中：

X——水分含量，%；

m_1——称量瓶和式样的质量，g；

m_2——称量瓶和式样烘烤后的质量，g；

m_3——称量瓶的质量，g。

1.3.11 馒头感官评定

馒头随机编号，选取10人（男生5人、女生5人）组成的评价小组，从表观状态、气味、黏性、滋味和组织结构五个方面对馒头进行综合评价，取三次平均值[16]。

1.4 数据统计分析

每组实验结果取平均值 ± 标准偏差。使用SPSS 23.0软件进行数据处理以及显著性分析，$P<0.05$为差异显著，采用Origin 2021软件进行绘图。

表 1 金银花多糖馒头的感官评分标准

Table 1 Sensory scoring criteria for honeysuckle polysaccharide steamed buns

项目	评分标准	评分
表观状态（20 分）	对称性好，无裂纹，平滑	13~20
	对称性一般，表皮粗糙，不平滑	7~12
	对称性不好，塌陷	0~6
气味（20 分）	麦香浓郁，无杂味	13~20
	气味平淡，有点麦香味	7~12
	有酸败等异味	0~6
黏性（20 分）	口感细腻，完全不黏牙	13~20
	口感细腻，轻微黏牙	7~12
	口感粗糙，黏牙严重	0~6
滋味（20 分）	风味纯正，自然微甜，回甘持久	13~20
	无异味，有小麦香味	7~12
	有轻度酸味或异味	0~6
组织结构（20 分）	气孔细密、均匀	13~20
	气孔大、不均匀	7~12
	气孔大小不均	0~6

2 结果与讨论

2.1 金银花多糖对冷冻面团流变学特性的影响

由图 1 可知，随着角频率的增加，添加和未添加金银花多糖的面团，其黏弹性模量变化趋势一致，G' 与 G'' 也表现增加的趋势，表明金银花多糖未改变频率对面团粘弹性的影响。金银花多糖质量分数为 0% 时，冷冻面团的 G' 和 G'' 最低，这是因为冷冻时水分结冰形成冰晶，融化后水分重新分布，破坏面筋网络，减低面团弹性和黏性[17,18]。添加金银花多糖后，冷冻面团的弹性和黏性有所改善，当频率为 62.8 Hz 时，空白面团的 G' 为 23 020 Pa、G'' 为 14 553 Pa，添加金银花多糖质量分数为 1.6% 时，冷冻面团的 G' 为 34 608 Pa、G'' 为 17 161 Pa；质量分数为 2.0% 的 G' 为 27 445 Pa、G'' 为 13 528 Pa。这是由于金银花多糖亲水性强，可以减少冰晶生成的体积，提高面团的品质。适量添加可以增加面团黏度，使面筋蛋白网络更均匀稳定，提高弹性[19]。当金银花多糖质量分数低于为 1.6% 时，多糖对面筋网络强化作用较弱，无法有效抵消冷冻冰晶对面筋破坏，面团黏弹性较低；当多糖质量分数高于 1.6% 时，会过度降解淀粉，使面团黏弹性降低。金银花多糖冷冻面团的 G' 均高于 G''，tanδ 都小于 1，说明面团的弹性大于黏性，具有类固体的性质，tanδ 值越小，面团组分中聚合度越高[20]。质量分数为 0.4%~2.0% 金银花多糖面团 tanδ 均低于添加 0% 的金银花多糖冷冻面团，质量分数为 2.0% 金银花多糖的面团 tanδ 最低，说明 2.0% 金银花多糖冷冻面团的聚合度最高，这是因为面团形成过程中，金银花多糖和面筋结构中的二硫键产生了很强的结合力，从而获得更高的模量。

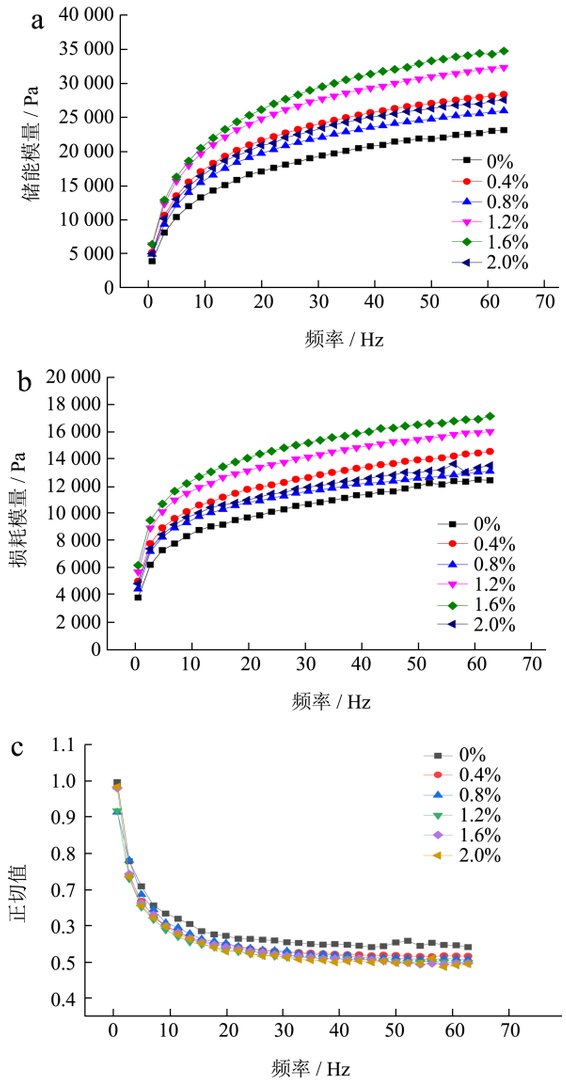


图 1 金银花多糖对冷冻面团流变学特性的影响

Fig.1 Shows the effect of honeysuckle polysaccharides on the rheological properties of frozen dough

2.2 金银花多糖对冷冻面团水分分布的影响

由图 2 可知，金银花多糖冷冻面团中存在两种显著的峰型，分别代表了面团中水分分布的两种不同形式，即中间态水和自由流动水。T_{21} 整体小于 T_{22}，T_{21} 的峰为主峰（A_{21}），A_{21} 的结果约占总信号的 99%，表明在多糖面团中的水分形态以深结合水为主。随着金银花多糖质量分数的增加，T_{22} 呈先降低后增高的趋势，当金银花多糖质量分数为 0% 时，T_{22} 为 55.908 ms；当质量分数为 0.4% 时，T_{22} 为 40.370 ms，当质量分数为

0.8% 时维持在 47.508 ms，这表明金银花多糖未显著改变结合水状态。金银花多糖面团在冷冻条件下，多糖可能通过抑制冰晶生长，改变结合水的微环境，使弛豫时间缩短。A_{21} 随着多糖质量分数的增加呈先下降后上升的趋势，当质量分数为 0.8% 时，A_{21} 最小值为 97.921%，A_{22} 达到最大值 2.079%，随着质量分数增加，A_{21} 上升，A_{22} 下降，但整体结合水比例高于未添加组，说明多糖面团在冷冻过程中，金银花多糖能够更有效地束缚水分，减少自由水含量，从而减轻冷冻对面团结构的破坏。当金银花质量分数为 1.6% 时，冷冻面团总峰面积为 20 163.527，说明适量的金银花多糖可以锁住面团中的水分，更好的使面筋网络保持弹性[21]。

表 2 金银花添加量对面团水分迁移的影响

Table 2 The Effect of the addition amount of Honeysuckle on water Migration in Dough

多糖添加量/%	T_{21}/ms	T_{22}/ms	A_{21}/%	A_{22}/%
0	0.081 ± 0.001^{a}	55.908 ± 0.321^{a}	98.489 ± 1.063^{a}	1.502 ± 0.096^{c}
0.4	0.012 ± 0.001^{b}	40.370 ± 0.198^{c}	97.896 ± 0.965^{b}	2.104 ± 0.836^{a}
0.8	0.011 ± 0.002^{b}	47.508 ± 0.246^{b}	97.921 ± 2.265^{b}	2.079 ± 0.216^{ab}
1.2	0.010 ± 0.001^{b}	47.508 ± 0.125^{b}	98.122 ± 2.161^{ab}	1.878 ± 0.468^{b}
1.6	0.012 ± 0.001^{b}	47.508 ± 0.224^{b}	98.044 ± 0.968^{ab}	1.956 ± 0.712^{b}
2.0	0.011 ± 0.001^{b}	47.508 ± 0.186^{b}	98.086 ± 1.655^{b}	1.914 ± 0.136^{b}

注：不同小写字母的数值表示不同质量分数金银花多糖之间存在显著差异（$P<0.05$）。

2.3 金银花多糖对冷冻面团二级结构的影响

α-螺旋和 β-折叠代表了面筋蛋白的有序结构，无规卷曲及 β-转角代表无序结构。由图 3 显示，金银花多糖质量分数 0% 的冷冻面团面筋结构是由 27.679% β- 折叠、18.86% α- 螺旋、37.20% β- 转角以及 16.256% 无规则卷曲构成。金银花多糖使冷冻面团中的 β-折叠的相对含量呈先降低后升高的趋势，当金银花多糖质量分数为 2.0% 时，β-折叠相对含量最高为 27.83%，这可能因为金银花多糖强化了面筋蛋白的水化作用，促使蛋白质间氢键向蛋白质 - 水氢键转化，增加多肽链的流动性，延长 β-折叠结构[22]。当金银花多糖质量分数为 0.8% 时，面团的 α-螺旋最高为 20.06，与空白冷冻面团相比，增加了 1.27%，这是由于使冷冻面团面筋结构形成连续的三维立体结构[23]。这表明金银花多糖可维持面筋蛋白二级结构的有序稳定，增强内部稳定性，抑制水分迁移。

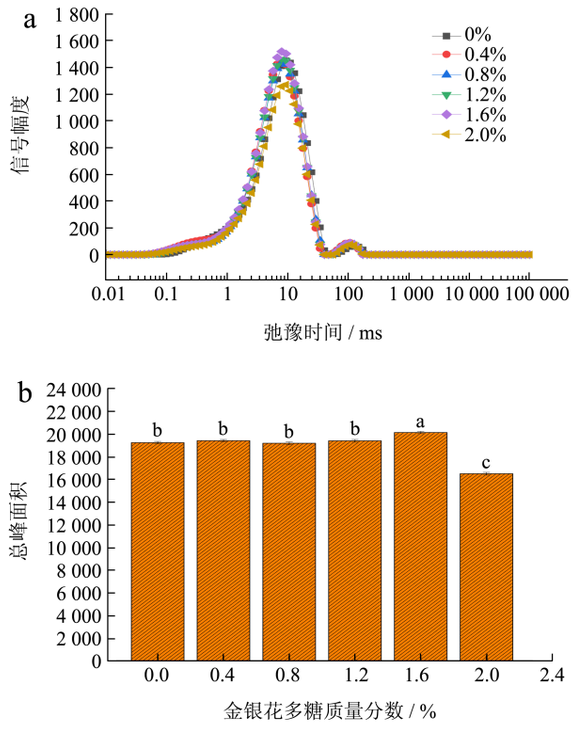


图 2 金银花多糖对冷冻面团水分分布的影响

Fig.2The influence of honeysuckle polysaccharides on the moisture distribution of frozen dough

注：不同小写字母的数值表示不同质量分数金银花多糖之间存在显著差异（$P<0.05$）。下同。

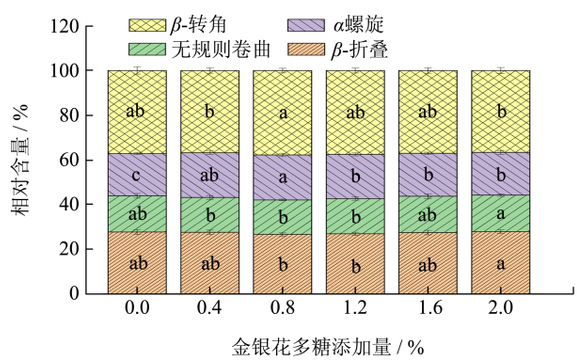


图 3 金银花多糖对冷冻面团二级结构的影响

Fig.3 The influence of honeysuckle polysaccharides on the disciplinary structure of frozen dough

2.4 金银花多糖对冷冻面团质构特性的影响

面团的质构特性对面制品最终品质有重要影响，通过质构测定能够反应出金银花多糖可以强化蛋白质网络，增加淀粉颗粒的黏性，从而提高面团的硬度[24]。不同质量分数金银花多糖对面团质构的影响如图 4 所示，随着金银花多糖质量分数的增加，冷冻面团的硬度呈先增加后降低的趋势，差异显著（$P<0.05$）。当

多糖质量分数为 1.2% 时，硬度最高为 5.1 N，显著高于空白面团 4.0 N，这是由于金银花多糖是一种高分子碳水化合物，能与淀粉和面筋等组分协同作用，形成更稳定的网络结构。金银花多糖质量分数增加对面团的弹性没有明显差异（P＜0.05），空白面团的弹性为 6.17 mm，当质量分数为 1.2% 和 1.6% 时，弹性均为 12.01 mm，说明金银花多糖能够增加冷冻面团的弹性。当金银花多糖质量分数 2.0% 时，咀嚼性最高为 25.02 mJ，胶黏性为 2.1 N，可能是由于金银花多糖能够与面团中的自由水相互作用，减少了可冷冻水的数量，从而降低了冰晶的形成，进一步减少了对面团质地的破坏。综合说明，金银花多糖可以在一定程度上减少冷冻过程中的不良影响，增强食品的稳定性，并改善冰晶对冷冻面团面筋网络结构的影响[25]。

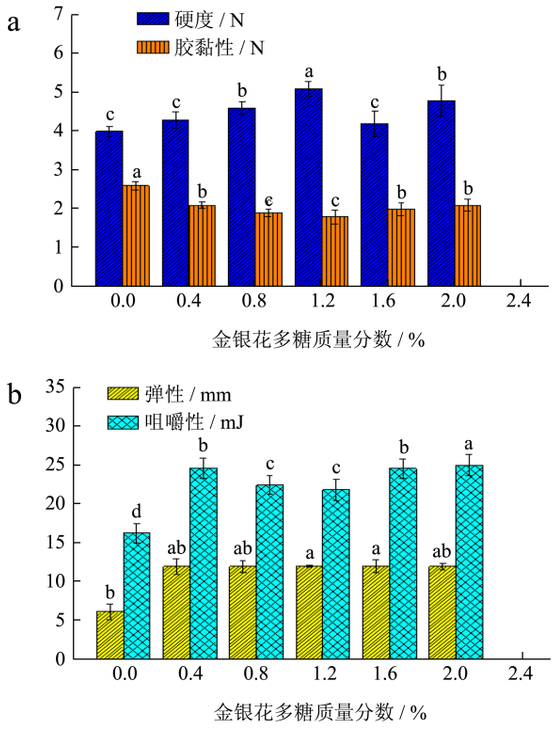


图 4 金银花多糖对冷冻面团质构特性的影响

Fig.4 The influence of honeysuckle polysaccharides on the texture characteristics of frozen dough

2.5 金银花多糖对冷冻面团馒头比容和高径比的影响

比容是反映馒头品质的重要指标，最佳范围为 2.3~2.6 mL·g^{-1}。由图 5 可知，随着金银花多糖质量分数增加，馒头的比容先升后降，显著高于空白组（P＜0.05）。当金银花多糖质量分数为 0% 时，馒头因低温贮藏导致冰晶对面筋结构破坏较大，导致比容较低，仅为 1.727 mL·g^{-1}。当金银花多糖质量分数为 1.2% 时，馒头的比容最高为 2.333 mL·g^{-1}，当金银花多糖质量分数为 2.0% 时，比容为 2.164 mL·g^{-1}，这是因为适量金银花多糖可以增加面筋骨架，改善延伸性和持气率，利于发酵膨胀；但过量会使面团弹性过大、延伸性差，阻止面团发酵，导致馒头体积小、内芯干硬[26]。

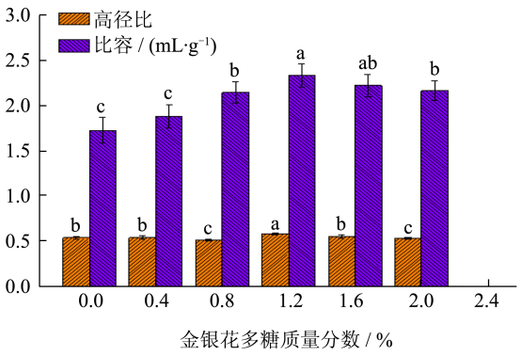


图 5 金银花多糖对冷冻面团馒头比容和高径比的影响

Fig.5 The influence of honeysuckle polysaccharides on the specific volume and height-to-diameter ratio of frozen dough steamed buns

高径比随着金银花质量分数的增加呈先降低后增加的趋势，整体无显著差异（P＜0.05）。当金银花多糖质量分数为 1.2% 时，馒头的高径比最高为 0.58，这是由于适当的金银花多糖能够较好地保护面筋网络的完整性，促进酵母产气能力，提高馒头的高径比，与比容结果一致。当金银花多糖质量分数为 2.0% 时，馒头的高径比为 0.529，说明过高的金银花多糖会抑制酵母的活性，导致产气不足，进一步削弱面团膨胀动力，最终使高径比下降。金银花多糖可通过调控面筋网络状态，在提升馒头蓬松度的同时优化外观形态，为冷冻馒头的工业化提供保障。

2.6 金银花多糖对冷冻面团馒头水分迁移的影响

金银花冷冻面团馒头的品质在很大程度上受到水分分布的影响，由图 6 可知，金银花多糖馒头中有两种主要的峰型，说明存在 2 种不同形式的水。金银花多糖的添加致使冷冻面团馒头的水分重新分布，尤其是 T_{22} 呈现不规则的变化，T_{21} 整体无明显变化，而总峰面积呈上升趋势，说明多糖的添加使面团冷冻后制成馒头其水分保持仍然很强，馒头品质提高。随着金银花多糖质量分数的增加，横向弛豫时间 T_{22} 呈先增加后降低再增加的趋势，当多糖质量分数为 0% 时，T_{22} 为 47.508 ms，当质量分数为 2.0% 时，T_{22} 为 55.908 ms，说明金银花多糖使馒头中的半结合水流动性增加。总峰面积随着金银花多糖质量分数的增加整

体呈上升趋势，差异显著（$P<0.05$）。当金银花多糖质量分数为 2.0% 时，总峰面积为 21 001.51，表明金银花多糖可减缓水分迁移，提高持水性。金银花多糖的羟基与面筋蛋白形成氢键，构建致密网络结构，增强馒头的保水能力，使之具有较高的水合作用[27]。

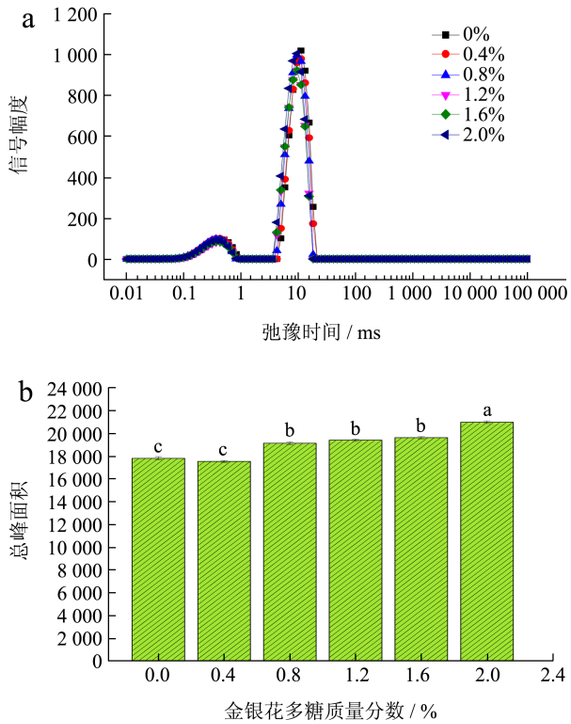


图 6 金银花多糖对冷冻面团馒头水分迁移的影响

Fig.6 The influence of honeysuckle polysaccharides on water migration in frozen dough steamed buns

2.7 金银花多糖对冷冻面团馒头质构的影响

面团的质构是影响馒头品质的重要指标，也是影响其温度性的重要因素，而多糖能够有效防止冷冻面团的损伤，从而弥补冷冻食品的品质劣变[28]。由图 7 可知，面团在冷冻后，会使馒头的硬度先增大后降低，当质量分数为 0%~0.4% 时，馒头的硬度上升，当质量分数为 0.4% 时，馒头硬度最高为 12 N，这可能因为多糖具有较强的亲水性，适当多糖与面筋吸水性达到最强，面筋网络紧实度最高，导致馒头硬度最大。当金银花多糖质量分数为 1.2% 时，硬度最低为 6.1 N，这表明，说明金银花多糖的馒头在冻藏过程中劣变较少，由于其具有的保水作用，使馒头在蒸制时不容易失水，具有较好的保湿力，延缓了馒头的老化[29]。冷冻馒头的弹性和咀嚼性呈先升高后降低的趋势，当多糖质量分数为 1.6% 时，弹性为 12.01 mm，咀嚼性为 102.22 mJ，这可能是因为金银花多糖影响了面筋网络结构，改善了馒头的弹性和咀嚼性。

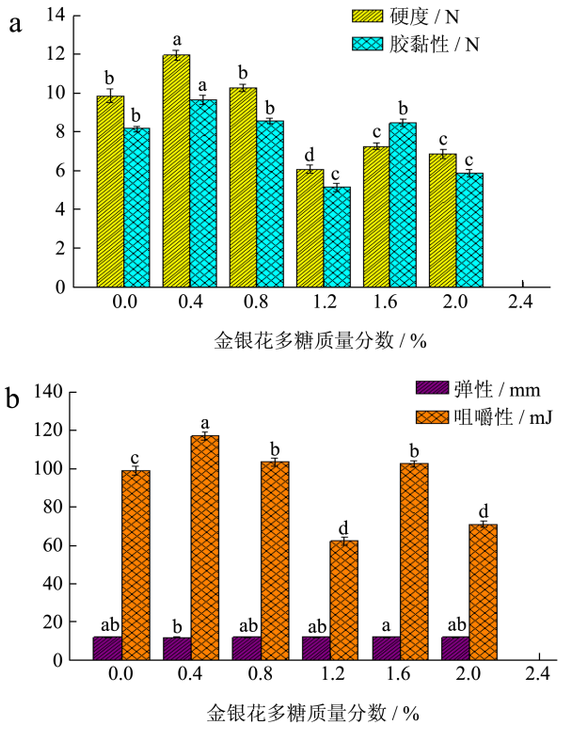


图 7 金银花多糖对冷冻面团馒头质构的影响

Fig.7 The influence of honeysuckle polysaccharides on the texture of frozen dough steamed buns

表 3 金银花多糖对冷冻面团馒头色泽的影响

Table 3 The influence of honeysuckle polysaccharides on the color of frozen dough steamed buns

金银花多糖质量分数/%	指标			
	*L**	*a**	*b**	白度
0	84.93 ± 1.23^{a}	0.12 ± 0.02^{e}	21.31 ± 1.25^{c}	73.90 ± 2.14^{a}
0.4	78.40 ± 2.14^{b}	1.81 ± 0.04^{d}	25.60 ± 0.98^{b}	66.46 ± 1.36^{b}
0.8	71.04 ± 0.09^{b}	2.34 ± 0.01^{c}	25.04 ± 1.09^{b}	61.64 ± 2.01^{b}
1.2	71.14 ± 1.36^{b}	4.87 ± 0.02^{b}	29.91 ± 1.31^{b}	58.15 ± 1.58^{c}
1.6	65.53 ± 0.45^{c}	4.38 ± 0.01^{b}	27.05 ± 1.19^{b}	55.97 ± 1.09^{c}
2.0	64.56 ± 2.02^{c}	6.93 ± 0.01^{a}	32.06 ± 2.04^{a}	51.71 ± 1.24^{c}

注：*L** 为亮度，*a** 为红绿值，*b** 为黄蓝值。同一列中不同上标小写字母的数值表示不同质量分数金银花多糖之间存在显著差异（$P<0.05$）。

2.8 金银花多糖对冷冻面团馒头色泽的影响

色泽是影响馒头感官接受度的一项重要参考指标，直接影响了消费者对馒头品的喜爱度。面团在冷冻贮藏过程中，多酚氧化酶发生的酶促褐变及氨基羰基发生的美拉德反应都会引馒头变色，水分的流失也会使面团光泽度下降[30]。由表 3 可知，随着金银花多糖质量分数的增加，馒头的 *L** 和 *a** 值呈下降的趋势，差

异显著（$P<0.05$），b^* 显著增大。L^* 值从 84.93 持续降至 64.56，a^* 值从 0.12 增至 6.93，b^* 值从 21.31 增至 32.06，最终导致白度从 73.90 降至 51.71。这主要是由于金银花多糖属于棕色粉末状，在蒸制的过程中，高温会加深多糖的色泽，引起了馒头白度的下降。当金银花多糖质量分数在 0.8%~1.2% 之间时，馒头的 L^* 和白度值变化不大，这对消费者来说可能是容易接受的。

2.9 金银花多糖对冷冻面团馒头水分含量的影响

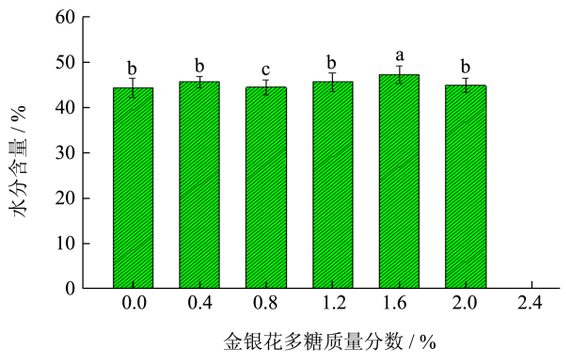


图 8 金银花多糖对冷冻面团馒头水分含量的影响

Fig.8 The effect of honeysuckle polysaccharides on the moisture content of frozen dough steamed buns

水分含量对冷冻面团的质构、口感、体积和比容具有重要的影响。冷冻面团在冷冻贮藏过程中，面团中的水和冰逐渐转化为霜，失水主要是由于馒头与空气之间的水蒸气压力差所造成的。随着金银花多糖质量分数的增加，馒头的水分含量呈先上升后下降的趋势，差异不显著（$P>0.05$）。添加金银花多糖馒头的水分含量高于未添加的馒头，水分含量为 44.32%，这是由于冷冻过程中的冰晶会破坏面筋网络，导致面筋部分的氢键和离子键解离，机械损伤也会导致与淀粉结合的水被释放出来，面筋和淀粉的持水能力下降也会引起水分的迁移和失水[31]。当金银花多糖质量分数为 1.6% 时，水分含量为 47.23%，说明金银花多糖馒头在面团冷冻贮藏期间的劣变程度更小，保护作用更强，使馒头蒸制过程中，金银花多糖的高保水性导致馒头不易丢失水分，减缓馒头发生老化。

2.10 金银花多糖对冷冻面团馒头感官评分的影响

馒头的感官评定是衡量其品质的一个重要指标，也是衡量消费者对馒头是否满意的依据。金银花多糖冷冻馒头的感官评分结果如图 9 所示，冷冻面团馒头的感官评分随着金银花多糖质量分数的增加而升高，金银花多糖的冷冻面团馒头的总体感官评分高于对照组，当金银花多糖质量分数为 1.2% 时，感官评分最高为 90.1 分，当多糖质量分数超过 1.2% 时，感官评分下降，这表明适量地添加金银花多糖可以提高馒头的感官评分总分。其中，当金银花多糖质量分数为 1.2%~1.6% 之间时，优化了冷冻馒头的气味、黏度和滋味，提高了冷冻馒头的表观状态和组织结构。通过对冷冻面团的流变学、质构特性、水分迁移与蛋白质二级结构的分析，结合馒头的比容、高径比、质构和色泽、感官评分等指标的综合分析，揭示了普通面团在没有金银花多糖的保护下，存在面筋网络结构塌陷、酵母活性下降、水分散失、褐变等问题，导致馒头品质劣变。当添加适量的金银花多糖能够改变冷冻面团馒头的面筋网络结构，提高冷冻馒头的品质[32]。

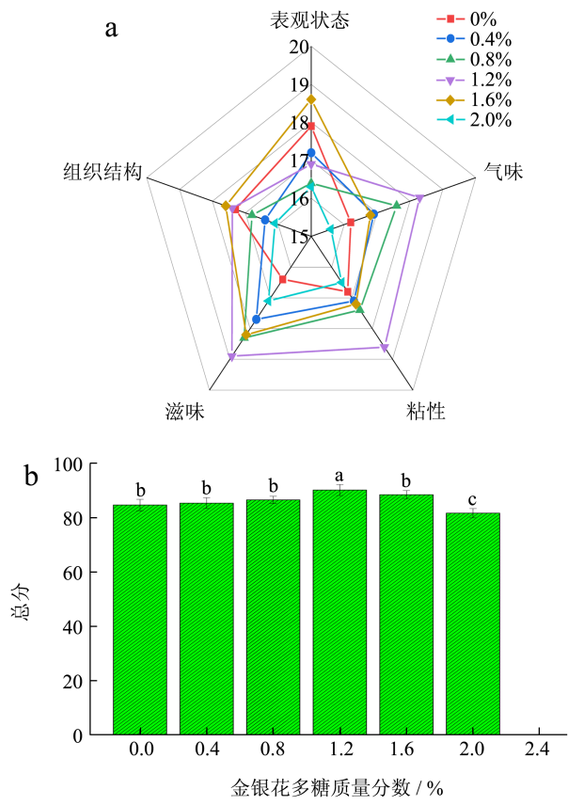


图 9 金银花多糖对冷冻面团馒头感官评分的影响

Fig.9 The influence of honeysuckle polysaccharides on the sensory score of frozen dough steamed buns

3 结论

本实验探究了金银花多糖对冷冻面团及馒头品质的改善作用，揭示了其在冷冻面制品加工中的应用机制与适宜条件。金银花多糖通过羟基、羧基等亲水基团与水分子形成氢键，能够有效束缚面团中的自由水，减少冷冻贮藏过程中冰晶的形成与重结晶，从而减轻冰晶对面筋网络的机械损伤。同时，金银花多糖可调

节面筋蛋白二级结构，维持 α-螺旋、β-折叠等有序结构的相对稳定，增强面团的黏弹特性与持气能力，为改善馒头的品质奠定基础。综合各项指标数据分析，当金银花多糖质量分数为 1.2% 时，冷冻面团的储能模量 G'、损耗模量 G'' 显著提高，面团弹性与黏性达到最优，冷冻面团馒头的比容为 2.333 $mL \cdot g^{-1}$，高径比为 0.58，硬度为 6.1 N，感官评分最高 90.1 分，且水分含量保持良好，馒头组织结构细密均匀。当金银花多糖质量分数过大，会使面筋结构稳定性下降，反而使面团黏弹特性减弱、馒头比容降低、口感变差。综上所述，金银花多糖作为天然亲水胶体，能通过调控水分迁移与蛋白结构改善冷冻面团及馒头的品质，为冷冻面制品工业化生产中的品质改良提供了新型天然添加剂选择，也为植物多糖在食品加工中的应用拓展了思路。

参考文献

[1] LIU Y Q, ZHANG M, JIANG Q Y, et al. Improvement in the quality of frozen dough for fried flour products by electrostatic field assisted freezing [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2024, 104(2): 620-628.

[2] ZHAO B B, FU S J, LI H, et al. Quality evaluation of steam reheated frozen steamed bread [J]. LWT, 2021, 150: 112074.

[3] 刘姁,吴玥琦,张小薇,等.不同结构的非离子型乳化剂对冷冻面团及其面包品质的变化[J].现代食品科技,2022,38(12):281-289.

[4] YANG Z X, JIN Y M, XU X M. Mechanism of frozen dough deterioration and the behavior of different wheat starch types during storage [J]. Journal of Cereal Science, 2024, 116: 103843.

[5] LU L, XING J J, YANG Z, et al. Influence of ε-poly-l-lysine treated yeast on gluten polymerization and freeze-thaw tolerance of frozen Dough [J]. Food Chemistry, 2021, 343: 28440.

[6] JIANG Z J, GUO X N, XING J J, et al. Alleviative effects of chitooligosaccharides on the quality deterioration of frozen dough subjected to freeze-thaw cycles [J]. Food Hydrocolloids, 2023, 144: 109016.

[7] 王国霞,牛富婷,牛祎琳,等.不同产地金银花多糖理化性质及抗氧化活性分析[J].食品研究与开发,2025,46(8):39-46.

[8] YAO Y Y, JIA Y M, LU X R, et al. Release and conformational changes in allergenic proteins from wheat gluten induced by high hydrostatic pressure [J]. Food Chemistry, 2022, 368: 130805.

[9] 罗进,黄成,周静仪,等.金银花的功能活性及其健康产品开发研究进展[J].现代食品,2022,28(17):73-76,87.

[10] 刘科文.微波-水浸提秋葵多糖及其对冷冻馒头面团品质的影响[D].郑州:河南工业大学,2022.

[11] 彭瑞芳,张霞,田郁,等.海藻糖对冷冻馒头质构特性及水分状态的影响[J].食品与发酵工业,2025,51(10):243-249.

[12] 沈东强,王兴奔,赵雯静,等.冷冻面团对面团特性及冷冻生坯馒头品质的影响[J].美食研究,2025,42(1):38-43.

[13] 周明,朱晓娟,尧梅香,等.猴头菇-低筋小麦混合面团流变学特性及猴头菇酥性饼干挥发性风味成分的分析[J].现代食品科技,2025,41(2):192-203.

[14] YANG Y X, XU H M, TANG S, et al. Study on the thermal and water migration of Chinese steamed buns during cooling process after steam cooking [J]. LWT, 2021, 145: 111377.

[15] 陈彬云.亚麻籽胶和沙蒿胶对冷冻面团品质的影响研究[D].郑州:郑州轻工业大学,2023.

[16] 王宏伟,聂溱乐,乔靖玥,等.酶制剂对冷冻面团加工特性及馒头品质的影响[J].食品工业科技,2025,6(14):299-309.

[17] QIAN X, GU Y, SUN B, et al. Changes of aggregation and structural properties of heat-denatured gluten proteins in fast-frozen steamed bread during frozen storage [J]. Food Chemistry, 2021, 365: 130492.

[18] XIN C, NIE L J, CHEN H L, et al. Effect of degree of substitution of carboxymethyl cellulose sodium on the state of water, rheological and baking performance of frozen bread dough [J]. Food Hydrocolloids, 2018, 80: 8-14.

[19] MAD I B, GHRIBI A M, BOUASSIDA M, et al. Combined effects of α-amylase, xylanase, and cellulase coproduced by stachybotrys microspora on dough properties and bread quality as a bread improver [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2024, 277(3): 134391.

[20] SHI MIAOMIAO, CHENG YANQIU, WANG FEI, et al. Rheological properties of wheat flour modified by plasma-activated water and heat moisture treatment and *in vitro* digestibility of steamed bread [J]. Frontiers in Nutrition, 2022, 9: 850227.

[21] YU W J, XU D, LI D D, et al. Effect of pigskin-originated gelatin on properties of wheat flour dough and bread [J]. Food Hydrocolloids, 2019, 94: 183-190.

[22] 刘炳莉,樊红秀,邵添,等.银耳多糖抑制鲜湿面水分迁移及改善黏连的作用[J].食品科学,2023,44(2):79-86.

[23] LABAT E, ROUAU X, MOREL M H. Effect of flour water extractable pentosans on molecular associations in gluten during mixing[J]. LWT-Food Science and Technology, 2002, 35(2): 185-189.

[24] Al-WRAIKAT M, HOU C, ZHAO G, et al. Degraded polysaccharide from *Lycium barbarum* L. leaves improve wheat dough structure and rheology [J]. LWT, 2021, 145: 111372.

[25] 李婧炜.燕麦β-葡聚糖对中筋小麦粉冷冻面团和馒头加工品质的影响和机制研究[D].沈阳:辽宁大学,2024.

[26] LI Y, LI C, BAN X, et al. New insights into the alleviating role of starch derivatives on dough quality deterioration caused by freeze [J]. Food Chemistry, 2021, 362: 130240.

[27] DARIKVAND F, GHAVAMI M, HONARVAR M. An extensive study on the cake containing trehalose: Physiochemical, textural, Sensory, microbial and morphological properties [J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2023, 17(3): 2107-2118.

[28] KONDAKCI T, ANG A M Y, ZHOU W. Impact of sodium alginate and Xanthan Gum on the quality of steamed bread made from frozen dough [J]. Cereal Chemistry, 2015, 92(3): 236-245.

[29] 张紫怡,魏冠棉,乞萌,等.红枣粗多糖对面团发酵特性及馒头品质的影响[J].食品与发酵工业,2025,51(7):327-334.

[30] 张良华,张国东,孙丛丛,等.改良剂对速冻水饺冻裂率及褐变的影响研究[J].食品研究与开发,2010,31(1):24-26.

[31] GUO W T, YANG X F, JI Y S, et al. Effects of transglutaminase and glucose oxidase on the properties of frozen dough: Water distribution, rheological properties, and microstructure [J]. Journal of Cereal Science, 2023, 111: 103689.

[32] SAMMALISTO S, MAKELA-SALMI N, WANG Y, et al. Potential of microbial and cereal β-glucans as hydrocolloids in gluten-free oat baking [J]. LWT, 2024, 191: 115678.