DOI:10. 16433/j. 1673-2383. 202511240001
马小萌,贺芮,陈菊,等. 低聚异麦芽糖对油炸方便面加工品质的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版),2026,47(3):52-60.
MA X M, HE R, CHEN J, et al. Influence of isomaltooligosaccharides on the processing quality of fried instant noodles[J]. Journal of Henan university of technology(natural science edition),2026,47(3):52-60.

低聚异麦芽糖对油炸方便面加工品质的影响

马小萌,贺　芮,陈　菊,刘　翀*,洪　静,孙冰华,刘　玫,尚加英,刘紫鹏,郑学玲
河南工业大学 粮油食品学院,河南 郑州 450001

摘要:低聚糖因其甜味不明显、防龋齿、低热量、不升糖及调节肠道菌群等特性,已广泛应用于低热值饼干、面包等烘焙食品。然而,低聚糖尚未用于油炸方便面的加工。将低聚异麦芽糖 90 型(IMO-90)按不同比例(5%、10%、15%)添加到小麦粉中,探究其对油炸方便面加工品质的影响。采用动态流变学试验、单轴拉伸试验,扫描电子显微镜(SEM),低场核磁共振仪(LF-NMR)等方法分析面团变化,并对方便面的蒸煮特性、质构特性、色泽、含油量及感官品质进行测定。结果表明:IMO-90 可降低面团强度、提升延展性,作用效果随添加量升高而增强;IMO-90 会降低面筋网络的连续性,形成更多孔隙结构,改变面团水分分布,使部分结合水向半结合水转化;同时,IMO-90 不会显著降低油炸方便面的蒸煮损失率,可缩短复水时间,在 10%添加量下成品吸水率最高;IMO-90 可显著降低产品含油量,在 15% 添加量下含油量降至 12.4%,并通过促进美拉德反应改善产品的色泽与风味。本研究为低聚糖在低含油率、低热量油炸方便面产品开发中的应用提供了理论依据。

关键词:低聚异麦芽糖;油炸方便面;品质改良;含油量
中图分类号:TS217　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1673-2383(2026)03-0052-09

Influence of isomaltooligosaccharides on the processing quality of fried instant noodles

MA Xiaomeng, HE Rui, CHEN Ju, LIU Chong*, HONG Jing, SUN Binghua, LIU Mei, SHANG Jiaying, LIU Zipeng, ZHENG Xueling
College of Food Science and Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China

Abstract: Aiming at the industry bottleneck of high oil content and high calorie of fried instant noodles, as well as the research gap on the application of functional oligosaccharides in fried instant noodles, this study aimed to investigate the effects of different addition levels of isomaltooligosaccharides 90 (IMO-90) on the processing characteristics and final product quality of fried instant noodles. In this experiment, fried instant noodles were prepared by replacing wheat flour with IMO-90 at the ratios of 5%, 10% and 15%, respectively. The rheological properties and tensile properties of dough were analyzed by dynamic rheological test and uniaxial tensile test, the microstructure of dough was observed by scanning electron microscope (SEM), the water distribution state of dough was analyzed by low-field nuclear magnetic resonance (LF-

收稿日期: 2025-11-24
基金项目: 国家小麦产业技术体系专项资金资助项目(CARS-03-38);河南省科技攻关项目(262102111060);河南省博士后科研启动基金(HN2025025);横向科研课题(51100219)
作者简介: 马小萌(2001—),男,硕士研究生,研究方向为谷物精深加工与品质调控。
*通信作者: 刘翀,博士,教授,E-mail:liuachong@haut. edu. cn。

NMR), and the cooking properties, texture properties, color, oil content and sensory quality of the final instant noodles were systematically determined. The results showed that the addition of IMO-90 reduced the dough strength and deformation resistance, improved the dough extensibility, and the effect showed an increasing trend with the increase of addition level. IMO-90 destroyed the continuity of gluten network, promoted the formation of more porous structure in dough system, changed the water distribution of dough, and converted part of bound water to loosely bound water. The addition of IMO-90 did not significantly reduce the cooking quality of fried instant noodles, and shortened the rehydration time of the product, with the water absorption of the final product reaching the peak at 10% addition level. IMO-90 significantly reduced the oil content of the product, which decreased to 12.4% at 15% addition level, and improved the color and flavor of the product by promoting the Maillard reaction. The results of this study provide a systematic theoretical basis for the application of oligosaccharides in the development of fried instant noodles with low oil content and low calorie.

Key words: isomaltooligosaccharides; fried instant noodles; quality improvement; oil content

油炸方便面因高含油率、高热量问题,在营养健康领域备受关注,降低含油率与热量已成为行业发展的关键瓶颈。近年来,国内外学者从工艺改进、设备革新及配方调整等方面开展大量降油研究,虽取得一定进展,但现有方法降油效果有限,产品热量仍偏高,难以满足消费者对健康面制品的需求。

低聚糖是一类由 2~10 个单糖通过糖苷键连接而成的功能性碳水化合物,具有甜度较低、热值低、不易被人体消化吸收等特点;同时,部分低聚糖还可作为膳食纤维,发挥益生元功能,这对于解决方便面行业在降油降热方面的瓶颈问题具有重要的理论与实际意义。现有研究证实,低聚糖可调控面团流变特性与面筋网络结构[1-2],延缓淀粉回生、调节水分迁移[3],还可调控风味物质形成[4],在面制品品质改良中展现出良好应用潜力。近年来,低聚糖作为蔗糖替代品,被广泛应用于饼干和面包加工中,在降低产品热量的同时兼具益生元功能,因而受到消费者和市场的青睐[5-6]。

尽管低聚糖在食品领域已展现出广泛的应用潜力,但在油炸方便面中的系统研究仍较为缺乏。本研究选取低聚异麦芽糖 90 型(IMO-90),系统探究不同添加量的低聚异麦芽糖对油炸方便面加工特性(如面团的流变学特性、蒸煮特性)、微观结构、最终产品的含油量、质构特性及感官品质的影响,并深入阐明低聚糖降低油炸方便面含油量的作用机制。旨在为开发兼具低脂健康与良好食用品质的新型油炸方便面产品提供理论依据和技术方案。

1　材料与方法

1.1　材料

小麦粉:陕西省天山西瑞有限公司;谷朊粉:封丘县华丰粉业有限公司;食用盐:中盐河南盐业物流配送有限公司;食用碱:天津渤化永利化工股份有限公司;棕榈油:深泽县伟佳油坊;低聚异麦芽糖 90 型(IMO-90):山东百龙创园生物科技股份有限公司。

1.2　主要仪器与设备

JHMZ 针式和面机:北京东孚久恒仪器技术有限公司;TA.XT plus 质构仪:英国 Stable Micro Systems 公司;HAKKE RS6000 流变仪:美国赛默飞世尔科技公司;HM780 和面锅(海氏):青岛汉尚电器有限公司;便携测色仪:日本佐竹公司;JMTD166/182 实验面条机:北京东方孚德技术发展中心;150 面条试验机组:河南东方面机集团有限公司;MesoMR23-060-I 核磁共振分析仪:苏州纽迈分析仪器股份有限公司;Sigma 300 扫描电子显微镜:德国蔡司科技公司。

1.3　试验方法

1.3.1　面片制备

称取 100 g 混粉(IMO-90 按 5%、10%、15% 梯度取代小麦粉),随后以 100 g 上述原料为基准,加入 3 g 谷朊粉,混匀后加入 32 g 水溶液(含 1 g 盐、0.1 g 碱),使用针式和面机混合 6 min 后室温醒发 20 min。将压面机压辊间距调至 3 mm,对面絮进行两次复合压延后,以每次 0.5 mm 缩短压辊间距,并经 4 次单向压延至 1 mm,得到面片。

1.3.2 面片动态频率扫描的测定

将面片样品用环形刀具(φ=38 mm)剪切后,参照尚加英[7]使用的方法采用 HAKKE 流变仪进行动态频率扫描测定。测试结果用幂函数拟合后表征面片的结合强度及稳定性。

$$G' = kf^2, \tag{1}$$

式中:G'为弹性模量,Pa;f 为频率,Hz;k 为面片弹性结构强度系数,Pa·s^2。

1.3.3 面片蠕变恢复的测定

参照左丹等[5]使用的方法,利用 HAAKE Data Manager 软件中的 Burgers 4 元素模型对面片的蠕变恢复过程进行参数化分析。

$$J(t) = J_0 + J_{\max}\left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)\right) + \frac{t}{\eta_0}, \tag{2}$$

式中:$J(t)$为蠕变恢复过程中的柔量,Pa^{-1};J_0为初始柔量,Pa^{-1};$J_{\max}$ 为最大蠕变柔量,Pa^{-1};τ 为迟滞时间,s;η_0 为零剪切黏度,Pa·s;t 为恢复时间,s。

1.3.4 面片单轴拉伸的测定

采用 TA. XT plus 质构仪测定面片单轴拉伸特性,搭配 A/KIE 型探头及配套工具。将制备好的面片(长度 250 mm、宽度 80 mm、厚度 1 mm)放入模具中压制成长条(长度 52 mm,宽度和厚度均为 0.35 mm)。测试前、中、后的速度分别为 2.0、3.3、10.0 mm/s;拉伸距离为 50 mm,触发力为 5 g。

1.3.5 面片微观结构的测定

将 1.3.1 中制备的面片冷冻干燥后掰断,采用扫描电子显微镜观察其横截面微观结构。经喷金处理后,将样品完整截面朝上固定于观察台,放大 200 倍进行观察。

1.3.6 面片水分分布的测定

采用低场核磁共振分析仪对样品的水分分布进行分析。先用油样校正仪器,再称取 1 g 面片,用聚四氟乙烯薄膜包裹后置于试管底部,参照王静[8]的测试条件,将试管放入仪器中分析约 5 min,捕获样品中水分子信号并绘制弛豫曲线。

1.3.7 油炸方便面的制备

称取 300 g 面粉和 IMO-90 的混合粉(IMO-90 按照混合粉质量的 5%、10%、15%梯度取代)、9 g 谷朊粉混匀后,加入水 96 g、盐 3 g 及食用碱 0.3 g,于和面锅中先低速搅拌 2 min,再高速搅拌 4 min,形成质地均匀的面絮,室温醒发 20 min。将面絮用 150 型面条试验机组依次压延成厚 3.0、2.5、2.0、1.5、1.0 mm 的面片,随后通过 2 mm 切刀成型为波纹面带,并经蒸煮机(99 ℃、0.02 MPa)熟化 5 min。将熟化后的面带过冷水进行水分平衡,以防止油炸过程中因面条内外水分不均导致表面起泡;称取 90 g 面带并均匀铺满炸盒(105 cm×105 cm×28 cm),随后在 150 ℃的炸锅中油炸 2 min,捞出控油 30 s,冷却至室温后密封保存。

1.3.8 方便面尺寸、色泽、含油量的测定

方便面尺寸测定:选取每组样品中面条分布均匀、外观完整且边角无磕碰的面饼,使用游标卡尺测量其宽度和厚度。

方便面色泽测定:将每组面饼粉碎后过 60 目筛网,使用测色仪对均匀平铺的面饼粉末进行测定,测定前先用测色仪内置白板配件进行校正。记录各样品的 L^*(亮度值)、a^*(红绿值)、b^*(黄蓝值)及 ΔE(总色差),其中 ΔE 根据公式(3)计算。

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L_s^*)^2 + (a_0^* - a_s^*)^2 + (b_0^* - b_s^*)^2}, \tag{3}$$

式中:L_0^*、a_0^*、b_0^* 分别表示空白组的亮度值、红绿值和黄蓝值;L_s^*、a_s^* 和 b_s^* 分别表示样品的亮度值、红绿值和黄蓝值。

方便面含油量测定:按照 GB 5009.6—2006 中第一法进行测定。将面饼粉碎并过 40 目筛网后,采用索氏抽提法,使用石油醚提取 8 h,随后取出底部圆底烧瓶并称量,利用公式(4)计算含油量(F)。

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

式中:m_1、m_2 和 m_3 分别表示试验前面饼粉末的质量、试验后圆底烧瓶的质量以及试验前圆底烧瓶的质量,g。

1.3.9 方便面蒸煮特性的测定

按照 GB/T 40772—2021 测定方便面的最佳复水时间。将 25 g 面饼放入盛有 100 ℃水的容器中,加盖后开始计时;3 min 后,每隔 10 s 捞出一根面条,用两片载玻片挤压观察,直至面条无白芯,记录所需时间。

方便面蒸煮损失率与吸水率的测定:称取 10 g 面饼,置于 500 mL 100 ℃水中,浸泡至最佳复水时间后捞出,用冷水冲洗 30 s,随后在室温下用滤纸包裹静置 5 min 后称量。将面汤转移至 500 mL 容量瓶中定容,取 50 mL 置于干燥铝盒内,放入 105 ℃烘箱中烘干至恒重。吸水率(W)和蒸煮损失率(C)分别按公式(5)和(6)计算。

$$W = \frac{m_1 - m}{m} \times 100\%, \tag{5}$$

$$C = \frac{10 \times (m_3 - m_2)}{m} \times 100\%, \quad (6)$$

式中:m 为方便面的质量,g;m_1为煮熟后方便面的质量,g;m_2为空铝盒的质量,g;m_3为铝盒烘干后的质量,g。

1.3.10　方便面质构特性的测定

将面饼置于 500 mL 沸水中浸泡至最佳复水时间后捞出,过 30 s 冷水,随后置于铺有湿纱布的盘中。采用 TA.XT plus 质构仪的 TPA 程序测定面条的质构特性,每个样品进行 10 次平行测定。探头型号为 HDP/PFS,参数设定如下:测前速度 2.0 mm/s,测中速度 0.8 mm/s,测后速度 2.0 mm/s,下压程度 70%,起点感应力 5 g,两次压缩之间的时间间隔为 2 s。

1.3.11　方便面感官特性的测定

感官评价小组由 12 人(6 男、6 女)组成,依据表 1 进行感官评价。

表 1　方便面感官评价标准

Table 1　Sensory evaluation standard of instant noodles

项目	满分	评价标准
色泽和表观状态	20	色泽均匀,光滑为 16~20 分;色泽较均匀,亮度一般为 10~15 分;色泽不均匀,亮度差为 1~9 分
适口性	20	咬断力适中,无白芯为 16~20 分;偏软或偏硬为 10~15 分;太软或太硬为 1~9 分
风味	20	正常油炸风味,无异味为 16~20 分;基本无异味为 10~15 分;异味明显为 1~9 分
甜度	20	甜味相较于其他风味平衡为 16~20 分;甜味适中为 10~15 分;过甜,盖过其他风味为 1~9 分
韧性	10	富有弹性和嚼劲为 8~10 分;弹性较好,嚼劲一般为 5~7 分;弹性不足,嚼劲差为 1~4 分
光滑性	10	光滑为 8~10 分;较光滑为 5~7 分;不光滑为 1~4 分

1.4　数据分析

试验结果均以平均值±标准偏差表示。采用 SPSS 25.0 软件对试验进行单因素方差分析和皮尔逊相关性分析,并使用 Origin 2021 软件制图。

2　结果与分析

2.1　IMO-90 对面片流变学特性的影响

通过动态频率扫描和蠕变恢复试验,系统研究了 IMO-90 不同添加量对面片黏弹性的影响。由图 1 可知,随着 IMO-90 添加量从 5% 增至 15%,G'和 G''均低于对照组且呈逐渐下降趋势,损耗正切值($\tan\delta = G''/G'$)上升表明面片强度减弱。由表 2 可知,R^2均大于 0.998,表明模型拟合良好;k 从 5.64 降至 4.94,表明 IMO-90 降低了面片强度;面片黏性指数(z)上升反映面片对频率的依赖性增强。在蠕变恢复试验中,柔量随 IMO-90 添加量增加而上升(图 1(d)),添加量 5%时弹性柔量占比最高(71.62%),随添加量增加先降低后略有回升,说明低用量 IMO-90 干扰了面筋网络的形成,而高用量可能因分子链间相互作用增强而部分恢复弹性。类似地,Liu 等[9]研究指出,低聚糖通过竞争水分和干扰蛋白质交联,削弱了面团的网络结构,与本研究中 IMO-90 梯度取代对 G'、G'' 的影响趋势一致。

2.2　IMO-90 对面片单轴拉伸特性的影响

由表 3 可知,随着 IMO-90 添加量的增加,断裂力逐渐下降,15%添加组较对照组降低 42.5%;拉伸距离与拉伸面积则持续上升,15%添加量时分别提升 303.46%、131.37%,表明面团的塑性变形能力与韧性均显著增强。上述变化主要源于两方面机制:一方面,低聚糖部分替代面粉,导致单位体积内面筋蛋白浓度降低,减少了有效交联点,从而弱化了面筋网络强度;另一方面,低聚糖分子富含羟基,与面筋蛋白竞争水分,影响其充分水合,进而改变面团的流变特性,且该效应随添加量增加而增强。Savitha 等[10]在研究麦芽糊精等糖类替代物时亦观察到类似的水分竞争效应及其对延展性的影响。Pareyt 等[11]指出,糖类物质会抑制面筋交联,降低其抗变形能力,与本研究中断裂力下降的结果一致。

2.3　IMO-90 对面片微观结构的影响

由图 2 可知,IMO-90(5%、10%、15%)样品与对照组相比,随添加量的增加,面筋网络的连续性降低,结构变得更加破碎、松散且多孔。这主要归因于低聚糖分子富含羟基,与面筋蛋白竞争水分,抑制了蛋白质的充分水化及二硫键的交联,从而阻碍蛋白纤维的延伸与交联[3];此外,低聚糖分子可插入蛋白质链之间,通过氢键与蛋白的极性基团相互作用,部分替代原有的蛋白-蛋

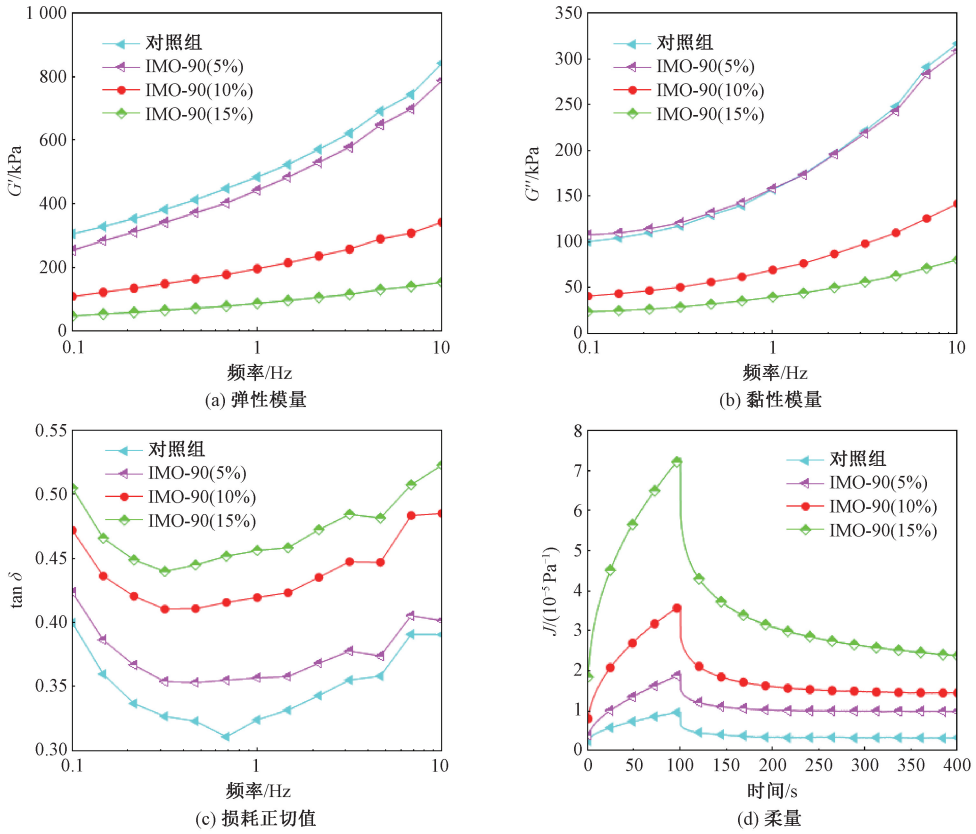


图 1 IMO-90 对面片流变学特性的影响

Fig. 1 Effect of IMO-90 on dynamic rheological properties of dough sheets

表 2 IMO-90 对面片流变学参数的影响

Table 2 Effect of IMO-90 on rheological parameters of dough sheets

添加量/%	频率扫描			蠕变恢复			
	k/(Pa·s^2)	z	R^2	J_{max}/(10^{-5} Pa^{-1})	η_0/(10^7 Pa·s)	(J_e/J_{max})/%	(J_v/J_{max})/%
0	5.69±0.00^a	0.21±0.00^h	0.998 6	0.97±0.01^i	2.57±0.00^a	65.08±0.02^d	34.91±0.02^f
5	5.64±0.00^b	0.23±0.00^e	0.999 5	1.37±0.00^h	1.71±0.00^b	71.62±0.01^a	28.38±0.01^i
10	5.29±0.00^e	0.24±0.00^c	0.999 6	3.63±0.00^d	0.66±0.00^e	59.84±0.01^g	40.15±0.01^c
15	4.94±0.00^i	0.25±0.00^a	0.999 6	7.32±0.00^a	0.36±0.00^i	67.41±0.01^b	32.59±0.01^h

注:J_e/J_{max} 为弹性柔量占比,J_v/J_{max} 为黏性柔量占比,z 为黏性指数。同一列中不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

表 3 IMO-90 对面片单轴拉伸特性的影响

Table 3 Influence of IMO-90 on the uniaxial tensile properties of noodle dough sheets

添加量/%	拉伸断裂力/N	拉伸距离/mm	拉伸面积/(g·mm)
0	0.80±0.01^a	11.55±0.05^d	940.13±6.33^b
5	0.77±0.01^a	24.00±0.10^c	1 888.71±13.73^a
10	0.62±0.00^d	33.05±4.75^b	2 079.31±290.75^a
15	0.46±0.02^e	46.60±1.90^a	2 175.17±177.08^a

注:同一列中不同字母表示差异显著($P<0.05$)。表 4—表 6 同。

白相互作用,进而降低网络的交联密度。Li 等[12]在研究 β-葡聚糖对青稞面团的影响时,也观察到类似现象,即高分子多糖干扰面筋网络的交联。同时,未被完全包裹的淀粉颗粒暴露于断裂面中,表明面筋对淀粉的包裹能力有所下降,这与 Xiao 等[13]的研究结果一致。

2.4 IMO-90 对面片水分分布的影响

由表 4 可知,随着 IMO-90 添加量从 5%增至 15%,水分分布呈现规律性变化:T_{21} 从 0.11 ms 持续降至 0.08 ms,表明水分子与基质的结合强度进一步增强,这归因于低聚糖分子中的羟基通过氢键作用竞争性结合水分子,从而强化了水与基质的结合,该现象与 Jødal 等[14]关于环状寡糖增强水合作用的研究结果一致。T_{22} 从 5.51 ms 显著延长至 10.34 ms,反映出半结合水的流动性明显提高,这与 Courtin 等[15]报道的亲水性多糖可提高水分活动性的结论相符。T_{23} 基本保持稳

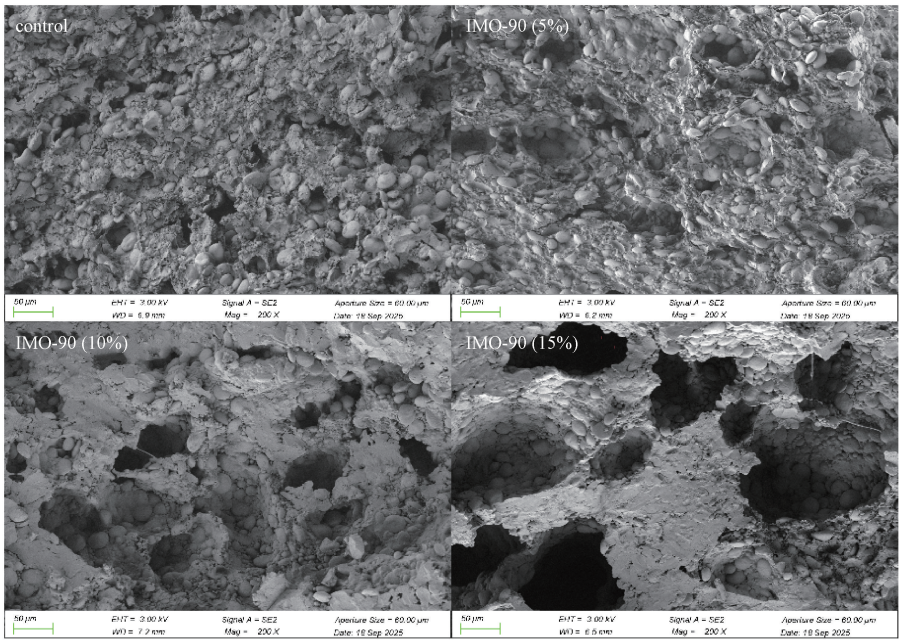


图 2　IMO-90 对面片微观结构的影响

Fig. 2　The influence of IMO-90 on the microstructure of dough sheets

表 4　IMO-90 对面片水分分布的影响

Table 4　Influence of IMO-90 on the moisture distribution of noodle dough sheets

添加量/%	T_{21}/ms	T_{22}/ms	T_{23}/ms	A_{21}/%	A_{22}/%	A_{23}/%
0	0.23±0.00^{a}	5.55±0.01^{e}	95.47±0.01^{b}	16.02±0.00^{a}	83.13±0.01^{h}	0.85±0.01^{g}
5	0.11±0.00^{cd}	5.51±0.03^{e}	89.09±0.02^{c}	9.55±0.05^{d}	89.26±0.04^{e}	1.19±0.01^{c}
10	0.09±0.00^{ef}	8.42±0.01^{b}	102.33±0.02^{a}	8.05±0.05^{e}	90.90±0.09^{d}	1.02±0.00^{f}
15	0.08±0.00^{f}	10.34±0.02^{a}	102.32±0.01^{a}	6.18±0.01^{h}	92.60±0.10^{b}	1.23±0.01^{b}

注:T_{21}、T_{22}、T_{23} 为横向弛豫时间,A_{21}、A_{22}、A_{23} 为对应弛豫峰的积分面积占比。

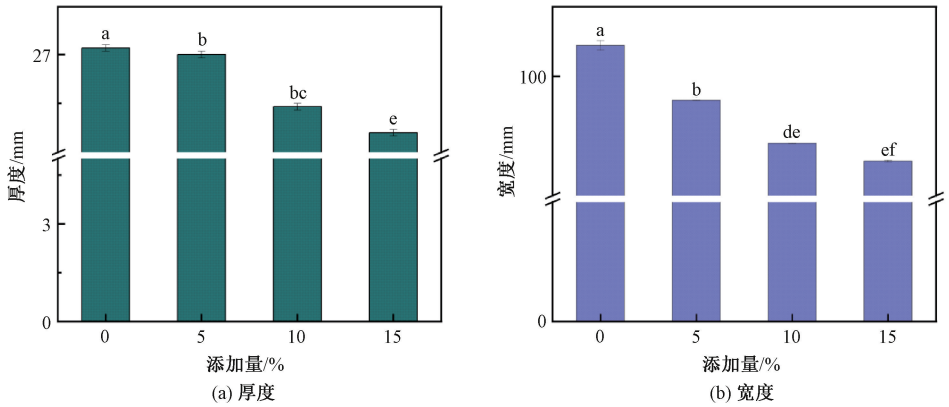
定(89.09~102.33 ms)。同时,A_{21} 从 9.55%持续降至 6.18%,A_{22} 从 89.26%显著增至 92.60%,A_{23} 仅从 1.19%微升至 1.23%。上述结果表明,随着 IMO-90 添加量的增加,体系中水分发生再分布,强结合水持续向半结合水转化,而自由水比例基本保持稳定。

2.5　IMO-90 对方便面尺寸、色泽和含油量的影响

面饼的尺寸可反映方便面的膨化程度。由图 3 可知,添加低聚糖后,面饼的厚度与宽度均有所减小。随着 IMO-90 添加量从 5%增至 15%,面饼尺寸进一步减小,厚度和宽度分别下降 9.56%和 4.83%。研究表明,面筋网络强度与淀粉糊化程度共同影响油炸过程中蒸汽的保持与膨胀行为,低聚糖的加入可能弱化了面筋结构,从而抑制膨化[16-17]。

在色泽方面,低聚糖的添加使面饼颜色加深。由表 5 可知,随着 IMO-90 添加量从 5%增至 15%,各组亮度(L)逐步降低,红绿度(a^{*})和黄蓝度(b^{*})显著升高,表明颜色变化在视觉上较为明显。这些变化与美拉德反应及焦糖化反应生成的深色物质有关,且随取代量增加而加剧[16]。

由图 4 可知,随 IMO-90 添加量增加,面饼含油量呈下降趋势,并在添加量为 15%时降至最小值(12.4%)。油脂主要通过孔隙和基质渗透进入面条内部。低聚糖添加后与淀粉竞争水分,抑制了淀粉的糊化进程,使未充分吸水的淀粉在面筋网络中形成更坚实的填充结构,从而增强面条内部基质的致密性。此外,低聚糖的表面活性作用有助于在炸制过程中减少内部水分的蒸发,进而降低因水分逃逸所形成的孔隙数量。在冷却阶段,油脂的吸附主要依赖毛细管作用;当孔隙尺寸减小至一定程度时,表面张力效应占主导地位,阻碍高黏度油脂完全渗入微小孔洞。综上,低聚糖可能通过竞争水分抑制淀粉糊化以增强基质紧实度,同时其亲水性有助于维持内部水分,二者协同限制油脂的渗入。



注:不同小写字母表示存在显著性差异(P<0.05)。图 4 同。

图 3 IMO-90 对方便面尺寸的影响

Fig. 3 Size of fried instant noodles added with IMO-90

表 5 IMO-90 对方便面色度的影响

Table 5 Influence of IMO-90 on color and cooking properties of instant noodles

添加量/%	L	a^*	b^*	ΔE
0	78.96±0.23^{a}	0.04±0.01^{i}	16.03±0.07^{g}	9.94±0.17^{g}
5	78.89±0.18^{a}	0.11±0.02^{h}	17.33±0.08^{f}	11.10±0.06^{f}
10	76.27±0.46^{b}	1.48±0.02^{e}	20.20±0.12^{c}	14.89±0.15^{d}
15	74.49±0.22^{d}	2.87±0.02^{a}	22.83±0.12^{a}	18.15±0.04^{a}

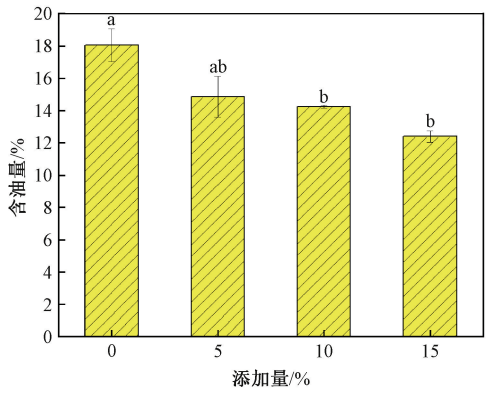


图 4 IMO-90 对方便面含油量的影响

Fig. 4 Influence of IMO-90 on oil content properties of instant noodles

2.6 IMO-90 对方便面蒸煮特性的影响

由表 6 可知,在 IMO-90 梯度试验中,复水时间随添加量增加而进一步缩短,15%时较对照组减少 10.86%。这表明低聚糖的加入有助于提升复水效率,可能与其富含羟基而增强亲水性,以及弱化面筋-淀粉网络结构、促进水分渗透有关。在吸水率方面,梯度试验显示,IMO-90 在 10%添加量时吸水率最高,说明存在一个利于形成高持水网络结构的适宜添加比例。低聚糖可能通过氢键与蛋白质、淀粉相互作用,增强整体持水能力[18]。IMO-90 在添加量 5%时蒸煮损失率低,随添加量增加略有上升,但仍与对照组无显著差异。这可能是由于低聚糖与淀粉、蛋白质相互作用,抑制了溶出物的流失;但过量添加也可能弱化网络结构,导致固形物渗出增加[19]。总体而言,在所研究范围内,低聚糖的添加不会显著降低方便面的蒸煮品质,同时可实现更快复水与更强吸水性。

2.7 IMO-90 对方便面质构特性的影响

低聚糖的添加对方便面的质构特性产生了显著影响。由表 6 可知,随着 IMO-90 添加量从 5%增至 15%,硬度也显著上升,其中 5%时与对照组无显著差异。该现象可能与低聚糖竞争水分、抑制淀粉充分糊化有关,导致未完全糊化的淀粉颗粒硬度增加。Zhou 等[20]在研究中发现,淀粉与糖类的相互作用会显著影响面条的硬度;糖类物质的存在可通过竞争水分和抑制淀粉颗粒溶胀,进而改变体系的质构特性。类似地,李彦龙等[21]研究发现中等吸水能力的淀粉对面条质构特性具有优化作用。在弹性方面,除 IMO-90 在 15%高添加量下出现显著降低外,其余各组与对照组均无显著差异。高添加量下弹性的下降,可能与面筋蛋白网络被稀释有关。随着低聚糖添加量的增加,面粉中面筋

表 6　IMO-90 对方便面蒸煮特性和质构特性的影响

Table 6　The influence of IMO-90 on the cooking characteristics and texture characteristics of instant noodles

添加量/%	复水时间/min	吸水率/%	蒸煮损失率/%	硬度/g
0	4.51±0.01^{a}	119.62±0.95^{bcd}	7.41±1.25^{bc}	3 014.22±57.03^{c}
5	4.24±0.02^{d}	112.32±1.19^{ef}	4.09±0.99^{c}	3 091.67±66.99^{c}
10	4.12±0.01^{e}	130.97±2.56^{a}	6.43±0.73^{bc}	3 354.11±31.54^{ab}
15	4.02±0.01^{bc}	118.80±3.36^{cd}	7.59±1.48^{b}	3 555.61±35.06^{a}
添加量/%	弹性	黏聚性/(g·s)	咀嚼性/mJ	回复性
0	0.97±0.01^{ab}	0.44±0.00^{b}	2 533.42±32.73^{ab}	0.69±0.01^{b}
5	0.96±0.01^{ab}	0.44±0.00^{b}	2 500.53±49.83^{b}	0.75±0.01^{a}
10	0.97±0.00^{ab}	0.41±0.00^{c}	2 430.36±29.79^{b}	0.72±0.02^{ab}
15	0.92±0.01^{c}	0.40±0.01^{c}	2 533.32±32.83^{ab}	0.69±0.01^{bc}

蛋白的相对含量降低,从而削弱了面筋网络的整体结构强度。总体而言,在所研究范围内,低聚糖主要增加了方便面的硬度,对其他质构特性的影响相对较小。

2.8　IMO-90 对方便面感官特性的影响

由图 5 可知,当 IMO-90 添加量为 5%时,甜味与对照组无显著差异,未引入明显甜感。在添加量为 10%时,虽可感知轻微甜味,但对整体风味影响较小。当添加量增至 15%时,甜味提升并不明显。随着低聚糖添加比例的增加,面筋含量被稀释,面团强度下降,导致面饼的糊化度和膨化度降低,结构更为致密。复水后方便面的硬度和韧性增加,适口性有所改善。然而,当添加量达到 15%时,色泽和表观状态出现下降,与色度分析中 IMO-90 梯度添加结果一致。同时,韧性随添加量提高而降低,面筋网络结构被削弱。低聚糖与淀粉竞争水分,抑制了淀粉的充分糊化,将未完全膨胀的淀粉颗粒嵌入面筋网络中,致使方便面质地偏脆。

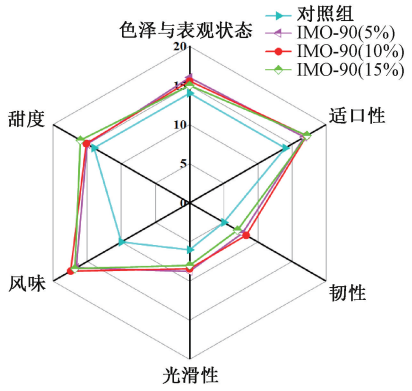


图 5　IMO-90 对方便面感官特性的影响

Fig. 5　Influence of IMO-90 on the sensory properties of instant noodles

3　结论

本研究通过流变特性与单轴拉伸试验表明,低聚糖凭借其多羟基结构及强亲水性,与面筋蛋白竞争水分,干扰面筋网络的形成,从而对面团产生显著的增塑作用。随着 IMO-90 添加量的增加,面团的延展性与韧性增强,但网络结构强度下降。微观结构进一步证实,低聚糖降低了面筋蛋白的交联密度,导致网络连续性变差、结构更为松散。在油炸过程中,低聚糖的添加限制了面饼的膨胀,使其尺寸缩小,但内部结构更为致密,从而显著降低含油量并缩短复水时间;在适量添加时(如 10% IMO-90),吸水率明显提升。此外,低聚糖作为还原糖可参与美拉德反应,发挥替代橘子黄等色素添加剂的着色作用,在不显著降低食用品质的同时,有效提升风味特性与整体食用品质。

参考文献:

[1] ANGIOLONI A, COLLAR C. Functional response of diluted dough matrixes in high-fibre systems: a viscometric and rheological approach [J]. Food research international, 2008, 41(8): 803-812.

[2] SUN X Y, LIU Q Y, WU S M. Effects of wheat cultivar, oligosaccharide, inulin, Arabinoxylan and endoxylanase on the large- and small-strain rheological properties and microstructure of dietary fibre enriched dough [J]. International journal of biological macromole-

cules, 2025, 308: 142443.

[3] SUDHA M L, SOUMYA C, SARAVANAN M, et al. Influence of short chain fructo-oligosaccharide (SC-FOS) on the dough rheological, microstructural properties and, bread quality during storage [J]. LWT-food science and technogly, 2022, 158: 113102.

[4] ZHAO Q Z, YAO S W, OU S Y. Maillard volatiles in baked products as affected by feruloylated oligosaccharides from maize bran [J]. International journal of food properties, 2017, 20(12): 3266-3273.

[5] 左丹,赵开飞.功能性成分在烘焙制品中的应用与研究进展[J].食品工业,2024,45(7):229-234.

[6] 梅媛,双媛,柯媛,等.低聚糖对小麦粉及辣条坯体品质的影响[J].食品与发酵工业,2023,49(1):230-237.

[7] 尚加英. 小麦淀粉颗粒大小对挂面品质影响及机理研究 [D]. 郑州: 河南工业大学, 2022.

[8] 王静. 不同系统粉对油条加工适应性和含油量的影响研究 [D]. 郑州: 河南工业大学, 2023.

[9] LIU Y N, LIU K W, ZHANG T R, et al. Inhibition of physicochemical and structural alterations of gluten proteins by fructo-oligosaccharides on frozen mixed cereal dough [J]. Food chemistry, 2025, 491: 145279.

[10] SAVITHA Y S, INDRANI D, PRAKASH J. Effect of replacement of sugar with sucralose and maltodextrin on rheological characteristics of wheat flour dough and quality of soft dough biscuits [J]. Journal of texture studies, 2008, 39(6): 605-616.

[11] PAREYT B, BRIJS K, DELCOUR J A. Sugar-snap cookie dough setting: the impact of sucrose on gluten functionality [J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2009, 57(17): 7814-7818.

[12] LI Z, DONG Y, XIAO X, et al. Mechanism by which β-glucanase improves the quality of fermented barley flour-based food products [J]. Food chemistry, 2020, 311: 126026.

[13] XIAO Z R, WU S, LIANG H S, et al. Effects of oligosaccharides, sodium carboxymethyl cellulose and D-allulose on thermomechanical, rheological, fermentation properties of sugar-reduced dough [J]. Food research international, 2025, 208: 116163.

[14] JØDAL A S, CZAJA T P, VAN DEN BERG F W J, et al. The effect of α-, β- and γ-cyclodextrin on wheat dough and bread properties [J]. Molecules, 2021, 26(8): 2242.

[15] COURTIN C M, DELCOUR J A. Arabinoxylans and endoxylanases in wheat flour breadmaking [J]. Journal of cereal science, 2002, 35(3): 225-243.

[16] ZIOBRO R, JUSZCZAK L, WITCZAK M, et al. Non-gluten proteins as structure forming agents in gluten free bread [J]. Journal of food science and technology, 2016, 53(1): 571-580.

[17] BAEK J J, LEE S. Functional characterization of brown rice flour in an extruded noodle system [J]. Journal of the Korean society for applied biological chemistry, 2014, 57(4): 435-440.

[18] STAROWICZ M, ZIELIŃSKI H. How Maillard reaction influences sensorial properties (color, flavor and texture) of food products? [J]. Food reviews international, 2019, 35(8): 707-725.

[19] PARK C S, BAIK B K. Significance of amylose content of wheat starch on processing and textural properties of instant noodles [J]. Cereal chemistry, 2004, 81(4): 521-526.

[20] ZHOU M, XIONG Z Y, CAI J, et al. Effect of cross-linked waxy maize starch on the quality of non-fried instant noodles [J]. Starch - stärke, 2015, 67(11/12): 1035-1043.

[21] 李彦龙,郑学玲,尚加英,等.典型优质小麦淀粉对新疆拉条质构特性的影响[J].河南工业大学学报(自然科学版),2025,46(6):22-30.

(责任编辑 周凤航)