

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2025.81147

咸蛋清添加量对绿豆鲜湿面条品质的影响

田彩芸^{1,2,3,4,5} 陈雷^{1,2,3,4,5} 黄群⁶ 李文俊^{1,2,3,4,5}

(1. 广东海洋大学食品科技学院, 广东 湛江 524088; 2. 广东省水产品加工与安全重点实验室, 广东 湛江 524088; 3. 广东省海洋生物制品工程实验室, 广东 湛江 524088; 4. 广东省海洋食品工程技术研究中心, 广东 湛江 524088; 5. 广东省水产预制食品加工与品质控制工程技术研究中心, 广东 湛江 524088; 6. 贵州医科大学公共卫生与健康学院, 贵州 贵阳 550025)

摘要: [目的] 为高效利用咸蛋清丰富的蛋白质资源, 研究咸蛋清添加量对面条品质和感官的影响。[方法] 以面粉质量为基准, 添加 0, 10%, 20%, 30%, 40% 的咸蛋清制作面条, 测定其蛋白质含量、色差、流变性能、质构、断条率及感官品质。[结果] 添加咸蛋清显著提高了体系的蛋白质含量, 当添加量为 20% 时, 面条综合品质最优, 其蒸煮断条率最低 (6.7%), 质构特性 (硬度、弹性、咀嚼性) 与流变性能 (储能模量最高) 最佳, 感官评分最高 (88.6 分)。继续增加添加量则导致色泽变暗、质构劣化。[结论] 适量 (20%) 添加咸蛋清可优化面筋网络结构, 提升绿豆鲜湿面条的食用品质与营养价值, 拓展咸蛋清的资源化利用途径。

关键词: 咸蛋清; 绿豆鲜湿面条; 综合品质; 流变特性; 质构特性

Effect of addition amounts of salted egg white on the quality of fresh wet mung bean noodles

TIAN Caiyun^{1,2,3,4,5} CHEN Lei^{1,2,3,4,5} HUANG Qun⁶ LI Wenjun^{1,2,3,4,5}

(1. College of Food Science and Technology, Guangdong Ocean University, Zhanjiang, Guangdong 524088, China; 2. Guangdong Key Laboratory of Aquatic Products Processing and Safety, Zhanjiang, Guangdong 524088, China; 3. Guangdong Province Engineering Laboratory for Marine Biological Products, Zhanjiang, Guangdong 524088, China; 4. Guangdong Provincial Engineering Technology Research Center of Seafood, Zhanjiang, Guangdong 524088, China; 5. Guangdong Provincial Engineering Technology Research Center of Prefabricated Seafood Processing and Quality Control, Zhanjiang, Guangdong 524088, China; 6. School of Public Health, Guizhou Medical University, Guiyang, Guizhou 550025, China)

Abstract: [Objective] To explore the effect of different addition amounts of salted egg white on the quality and sensory characteristics of noodles, thereby utilizing the rich protein resource in salted egg white. [Methods] Noodles are prepared by incorporating salted egg white at levels of 0, 10%, 20%, 30%, and 40% (w/w, based on flour weight). Then, the noodles are evaluated by protein content, color, rheological properties, texture properties, broken rate, and sensory characteristics. [Results] Salted egg white addition significantly increases the system's protein content. At 20% addition, noodles exhibit optimal comprehensive quality: lowest cooking broken rate (6.7%), best textural properties (hardness, elasticity, and chewiness), optimum rheological performance (highest storage modulus G'), and highest sensory score (88.6 points). When the addition exceeds 20%, the noodles demonstrate darker color and deteriorated texture. [Conclusion] Moderate salted egg white addition (20%) optimizes gluten network structure, thereby enhancing the eating quality and nutritional value of fresh wet

基金项目: 国家重点研发计划 (编号: 2022YFD2101001); 国家自然科学基金地区基金 (编号: 32260597); 贵州省自然科学基金重点项目 (编号: KY [2022] 重点 036)

通信作者: 陈雷 (1984—), 男, 广东海洋大学教授, 博士。E-mail: lchen@gdou.edu.cn

收稿日期: 2025-11-12 **改回日期:** 2026-01-19

引用格式: 田彩芸, 陈雷, 黄群, 等. 咸蛋清添加量对绿豆鲜湿面条品质的影响[J]. 食品与机械, 2026, 42(3): 176-182.

Citation: TIAN Caiyun, CHEN Lei, HUANG Qun, et al. Effect of addition amounts of salted egg white on the quality of fresh wet mung bean noodles[J]. Food & Machinery, 2026, 42(3): 176-182.

mung bean noodles. This approach promotes the resource utilization of salted egg white.

Keywords: salted egg white; fresh wet mung bean noodle; comprehensive quality; rheological property; texture characteristic

中国农产品资源丰富,将杂粮与小麦粉复合开发新型面食,是提升面条营养与风味品质的有效途径之一^[1]。绿豆作为粗粮,兼具食用与药用价值,但因缺乏面筋蛋白,使其在面条中添加量受限^[2]。咸蛋清是咸蛋加工的主要副产物,每年产量约1万t^[3],大多被用作饲料或直接废弃,造成资源浪费和环境污染。咸蛋清中氯化钠可通过调节蛋白质表面电荷影响其结构与功能,目前咸蛋清在面制品中的应用研究多集中于营养强化或风味改良,对其在面团形成中的作用机理尚未揭示。有研究^[4]指出,咸蛋清的添加不仅未对面条品质产生负面影响,反而有助于提高其内聚性与咀嚼性。

国内对咸蛋清的利用主要集中在3个方面:①脱盐技术应用,针对咸蛋清含盐量高的问题,开发了电渗析脱盐^[5]、超声波/微波辅助真空渗透超滤^[6]等多种脱盐技术,以提高其在食品加工中的应用价值;②蛋白质回收与功能特性改善,脱盐处理可提高蛋白质回收率^[7],通过控制酶解法^[8]、多酚调控^[9]等方法,能改善咸蛋清蛋白的功能特性,如提高起泡性^[10]、乳化活性等;③功能性食品开发,脱盐后的咸蛋清可用于开发肠内营养制剂^[11]、改善冻藏虾仁品质、香干^[12]以及作为食品的原料等,其提取纯化后的蛋白质还可用于生产营养保健品、食品添加剂等高附加值产品。国外学者主要在蛋糕、面包与面条等淀粉基食品中利用蛋清,Pernell等^[13]研究发现,蛋清蛋白具有良好的起泡性,能够有效增大蛋糕体积并改善其品质。Tang等^[14]进一步指出,经大豆肽改性的蛋清粉所制蛋糕体积更大、气泡分布更为均匀。在无麸质面包中,Pico等^[15]通过添加蛋清蛋白和乳清分离蛋白等手段,显著提升了面包皮的品质。此外,蛋清粉也被应用于多种面条制品中,如绿豆面条^[16]、小麦面条^[17]、大麦面条及燕麦面条^[18],其添加可改变面团流变特性与黏度,促进蛋清蛋白与面筋蛋白之间形成更加致密的网络结构,从而增强面条的硬度、嚼劲、拉伸性与弹性等质构特性。

尽管已有研究表明蛋清蛋白可增强面团弹性,但咸蛋清因腌制工艺可能导致其功能特性与鲜蛋清存在差异。为此,研究运用流变学技术,探讨添加量对绿豆鲜湿面条综合品质的影响,阐明咸蛋清对绿豆鲜湿面条品质的调控机制,旨在为咸蛋清的高值化利用与主食工业发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 主要原料与试剂

高筋小麦粉(特精高筋小麦粉):食品级,博州金沙河

面业有限公司;

生咸鸭蛋:食品级,咸蛋中钠含量为1 856 mg/100 g,南京富邮食品有限公司;

小麦谷朊粉:食品级,佳禾食品工业股份有限公司;

原味生绿豆粉:食品级,商丘马培中食品有限公司;

硫酸铜、硫酸钾、硫酸、硼酸、氢氧化钠、95%乙醇等:分析纯,上海麦克林生化科技股份有限公司;

试验用水为超纯水。

1.1.2 仪器与设备

质构仪:TA New Plus型,上海瑞玢智能科技有限公司;

流变仪:HAAKE MARS III型,柜谷科技发展(上海)有限公司;

色差仪:3NH型,深圳市超频三科技股份有限公司;

低频核磁共振仪:NMI20-025V-1型,苏州纽迈分析仪器股份有限公司;

压面机:FK150-2型,浙江俊媳妇厨具有限公司。

1.2 方法

1.2.1 面条的制作 以高筋面粉为基准,分别用0,10%,20%,30%,40%的咸蛋清替代部分原料,同时保持绿豆粉添加量为30%,将咸蛋清、绿豆粉与高筋面粉混合均匀后制备面团^[19]。每份称取50 g,置于不锈钢盆中,加入适量水和面5 min形成雪花状面絮,用保鲜膜覆盖后于室温醒发15 min,经压面机于3.5 mm辊间距折叠复合压面3次,再将压成片的材料揉合成光滑的面团,用保鲜膜密封后在室温醒发30 min。随后用压面机将辊间距依次调至3.5,2.8,2.1,1.4 mm各压延2次,最后切成宽4 mm的面条备用。

1.2.2 面条粗蛋白含量测定 按GB 5009.5—2025中的凯氏定氮法执行。

1.2.3 面条色差测定 参照Ning等^[20]的方法并适当修改。在样品表面上随机选取3个采样点进行测定,测定结果用 L^* 、 a^* 、 b^* 表示。

1.2.4 面团流变测定 参照Li等^[21]的流变检测方法,取静置30 min后的面团2 g置于流变仪圆形平台的中心,测量温度25 °C,平板直径40 mm,夹缝间距2 mm,在动态测量模式下先进行应力扫描确定面团的线性黏弹区,随后进行频率扫描测定面团的流变学特性,设定频率范围为0.1~100.0 Hz,依据线性黏弹区间扫描结果选择测试应变为1%。并记录储能模量(G')、损耗模量(G'')和损耗角正切值($\tan \delta$)随频率变化的曲线。

1.2.5 面条质构测定 参照张乐道等^[22]的方法,稍作修改。将2 cm×2 cm×2 cm的面条放在测试台上,用P/36

探头在 TPA 模式下测定。设置测前速率 2.0 mm/s, 测中速率 0.8 mm/s, 测后速率 1.0 mm/s, 压缩程度 50%, 停留时间 5 s, 触发力 49.03 N。每组样品进行 3 次平行试验, 测定硬度、弹性、黏聚性、咀嚼性、回复性 5 项质构数据指标。

1.2.6 面条蒸煮断条率测定 参照孟秀梅等^[23]的方法, 将 40 根鲜面条放入盛有 100 mL 沸水的烧杯中煮制 3 min 后捞出, 记录完整面条的根数, 根据式(1)计算面条的蒸煮断条率。

$$S = \frac{40 - N}{N} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

S——熟断条率, %;

N——完整面条根数。

1.2.7 感官评价 取制备好的咸蛋清绿豆鲜湿面条 25 根, 用 1 000 mL 沸水分别煮至最佳烹煮时间, 捞出后浸入冷水中散开, 放置 60 s, 然后分装, 再由 10 位专业人士(男女各 5 位)进行感官评定。感官评价得分表见表 1。

表 1 感官评价得分表

Table 1 Sensory evaluation scores

项目	标准	感官评价
色泽(15分)	晶莹剔透,有光泽	10~15
	亮度一般	5~9
	发暗,无光泽	0~4
表现状态(15分)	表面结构致密、光滑	10~15
	表面较致密、较光滑	5~9
	表面粗糙、有裂痕	0~4
适口性(20分)	软硬适中,不粘牙	12~20
	稍软,基本不粘	6~11
	过硬,粘牙	0~5
咀嚼性(25分)	口感好,弹性高,有嚼劲	18~25
	口感、嚼劲、弹性都一般	12~17
	口感差,弹性特别低,嚼劲差	0~11
风味(25分)	咸鸭蛋特有的咸味,绿豆味	15~25
	基本无异味	9~14
	有异味	0~8

1.3 统计分析

所有数据均为 3 次平行试验的平均值。采用 IBM SPSS Statistics 27 软件进行统计分析, 显著性分析使用邓肯法, 显著性差异为 $P < 0.05$, 并利用 OriginPro2024、Graphpad Prism 10.1.2 软件处理分析并作图。

2 结果与分析

2.1 对面条粗蛋白含量的影响

如图 1 所示, 随着咸蛋清添加量的增加, 面条的粗蛋白含量呈显著线性上升趋势($P < 0.05$)。当添加量从 0 增至 40% 时, 蛋白质含量由 0.16% 提升至 5.10%, 增幅达

4.93%, 表明其可作为有效的蛋白质补充来源。咸蛋清蛋白的主要组分为卵白蛋白、卵黏蛋白及溶菌酶等。腌渍工艺使其发生部分变性, 暴露出更多疏水基团, 从而增强了蛋白质的表面活性与界面性质^[24], 这为在复合面团体系中发挥功能性作用奠定了基础。

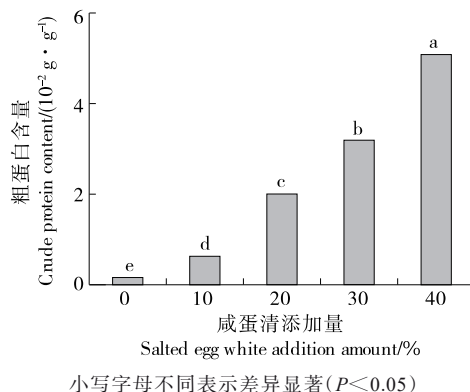


图 1 蛋清对面条粗蛋白含量的影响

Figure 1 Effect of egg white on crude protein content in noodles

在谷物食品体系中, 蛋白质网络是决定产品质构、流变及加工稳定性的核心^[24]。理论上, 外源蛋白(咸蛋清蛋白)的引入可能通过以下机制调控面条品质: ① 咸蛋清蛋白与小麦面筋蛋白发生共价(如二硫键)与非共价交互, 参与并重塑面筋-淀粉三维网络; ② 竞争性结合水分, 改变自由水与结合水的分布, 影响面团稠度与淀粉糊化; ③ 增强网络对热与机械应力的耐受性, 从而降低蒸煮断条率并改善面条嚼劲^[25]。

2.2 对面条色泽的影响

由表 2 可知, 咸蛋清对面条的 L^* (亮度)、 a^* (红绿度)、 b^* (黄蓝度)值均产生显著影响($P < 0.05$)。与对照组相比, a^* 值随添加量增加而上升, L^* 与 b^* 值则呈先增后降趋势。具体而言, L^* 值由 63.5(0%)升至 65.3(20%)后回落至 63.4(40%); b^* 值在 20% 添加量时达峰值 27.8, 表明黄色调加深; a^* 值在 10%~30% 范围内显著上升, 至 40% 时达 3.6。

表 2 咸蛋清对面条色泽的影响[†]

Table 2 Effect of salted egg white on color of noodles

咸蛋清添加量/%	L^*	a^*	b^*
0	64.4 ± 2.06	3.2 ± 0.10 ^{bc}	25.1 ± 0.17 ^c
10	63.5 ± 0.91	3.1 ± 0.17 ^c	26.3 ± 0.36 ^b
20	65.3 ± 1.26	3.2 ± 0.10 ^{bc}	27.8 ± 0.62 ^a
30	63.5 ± 0.77	3.4 ± 0.05 ^b	26.9 ± 0.31 ^b
40	63.4 ± 0.21	3.6 ± 0.06 ^a	26.6 ± 0.44 ^b

[†] 同列字母不同表示存在显著性差异($P < 0.05$)。

表明适量添加($\leq 20\%$)能在一定程度上提升面条的亮度与黄色饱和度,而超过此量则导致色泽转向红褐并变暗。然而闫铭欢等^[26]观察到随着甜荞全谷物粉添加量的增加,面条 L^* 值下降, a^* 、 b^* 值上升。该差异主要源于原料组成不同,试验所用绿豆粉本身色泽偏黄,且咸蛋清的象牙白底色在低添加量($\leq 20\%$)时可提升整体亮度;但随着添加量增加,咸蛋清蛋白凝聚及表面淀粉附着增多,导致光线散射增强, L^* 与 b^* 值转而下降。此外,咸蛋清中的盐分可能促进美拉德反应,进一步影响 a^* 值上升。

2.3 对面团流变学的影响

流变学特性结果(图2)显示,所有面团的 G' 均高于 G'' ,且 $\tan \delta < 1$,表明体系以弹性行为为主导,呈现典型固态特性^[27]。随着频率增加, G' 与 G'' 均先升后降,但20%添加组在整个频率范围内保持最高模量值。在100 Hz时,20%添加组的 G' 显著高于其他组($P < 0.05$),说明其面筋网络结构最为致密。此外,该组的 $\tan \delta$ 最低,反映其内部

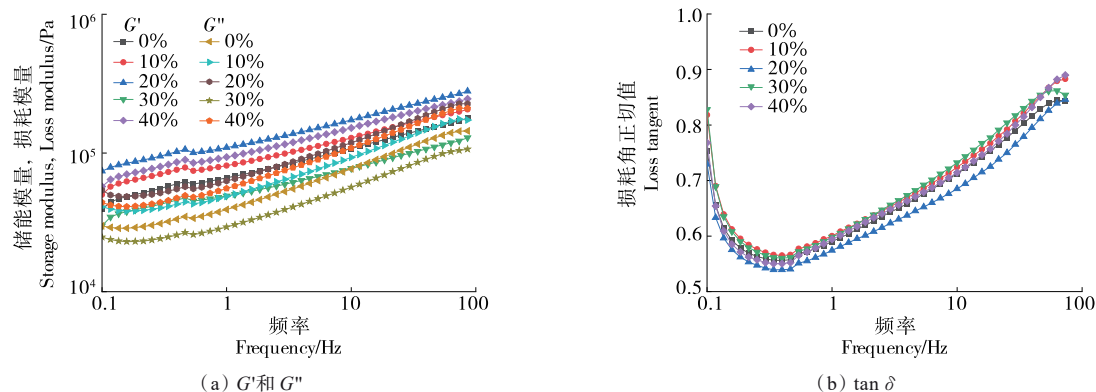


图2 咸蛋清对面团 G' 、 G'' 和 $\tan \delta$ 的影响

Figure 2 Effect of salted egg white on G' , G'' , and $\tan \delta$ of dough

然而,当添加量超过20%时,过高盐分导致蛋白过度交联与网络松弛,弹性与回复性随之下降;尽管黏聚性因蛋白聚集而持续增强,但整体品质劣化。研究结果与敬思群等^[28]报道的粉葛全粉对面团硬度影响规律相符,即随添加量增加,硬度、弹性与回复性均先升后降。在咸蛋清体系中,该现象主要受蛋白质与盐分浓度调控,适量添加时,蛋白交联主导质构强化;过量添加则因盐析效应导致网络松弛,硬度与弹性下降^[29]。

2.5 对面条断条率的影响

如图4所示,咸蛋清的添加对面条断条率有显著影响($P < 0.05$)。整体而言,随着添加量增加,断条率呈下降趋势。当添加量达到20%时,断条率降至最低值(6.7%);继续增加至30%和40%,断条率未进一步显著改善($P > 0.05$),表明20%为优化面条耐煮性的饱和点。

值得指出的是,在10%的低添加量下,断条率出现了一个短暂的升高。这可能是因为在在此阶段,外源的咸

蛋清中的 Na^+ (占比93%)通过促进蛋白间静电交联与二硫键形成,优化了网络结构;但过量添加($> 20\%$)因非蛋白组分稀释效应与盐析作用,反而削弱黏弹性。

当盐分浓度适中(咸蛋清添加量20%)时, G' 与 G'' 显著上升,浓度进一步提高(咸蛋清添加量30%~40%)则导致模量下降。

2.4 对面条质构的影响

质构分析结果(图3)表明,咸蛋清的添加显著影响面条的硬度、弹性、回复性、咀嚼性与黏聚性($P < 0.05$)。随着添加量从0增至40%,硬度、弹性与回复性均呈先升后降趋势,并在20%添加量时达到峰值。这主要归因于咸蛋清中蛋白质与盐分的双重作用,在低添加量($\leq 20\%$)下,咸蛋清蛋白中的硫氢基团有助于二硫键形成,提高面团的咀嚼度与弹性;适量 Na^+ 通过电荷屏蔽效应促进麦谷蛋白与醇溶蛋白交互,强化网络结构。

蛋清蛋白与盐分尚未与面筋形成协同强化的均匀网络,反而在一定程度上干扰了原有面筋的连续性,同时其引入的水分与离子对初始面筋水合产生了竞争效应,导致网络结构在蒸煮初期的稳定性暂时下降^[30]。随着添加量增至20%,咸蛋清中蛋白质与盐分的正面结构强化作用(如促进二硫键交联与电荷屏蔽效应)成为主导,从而构建出连续致密的面筋-淀粉三维网络^[31]。该网络能有效包埋淀粉颗粒,限制其在蒸煮过程中的过度溶胀和溶出,这是断条率得以显著降低的根本原因。这一变化规律与张小芳等^[32]关于面团网络强化的研究结论相一致。

2.6 对面条感官品质的影响

由表3可知,咸蛋清的添加显著影响面条的感官特性。当添加量为20%时,面条弹性与回复性最佳,适口性(17.4分)与咀嚼性(23.0分)得分最高,结合其特有的咸味与绿豆风味(22.1分),感官总分达88.6,显著高于其他组

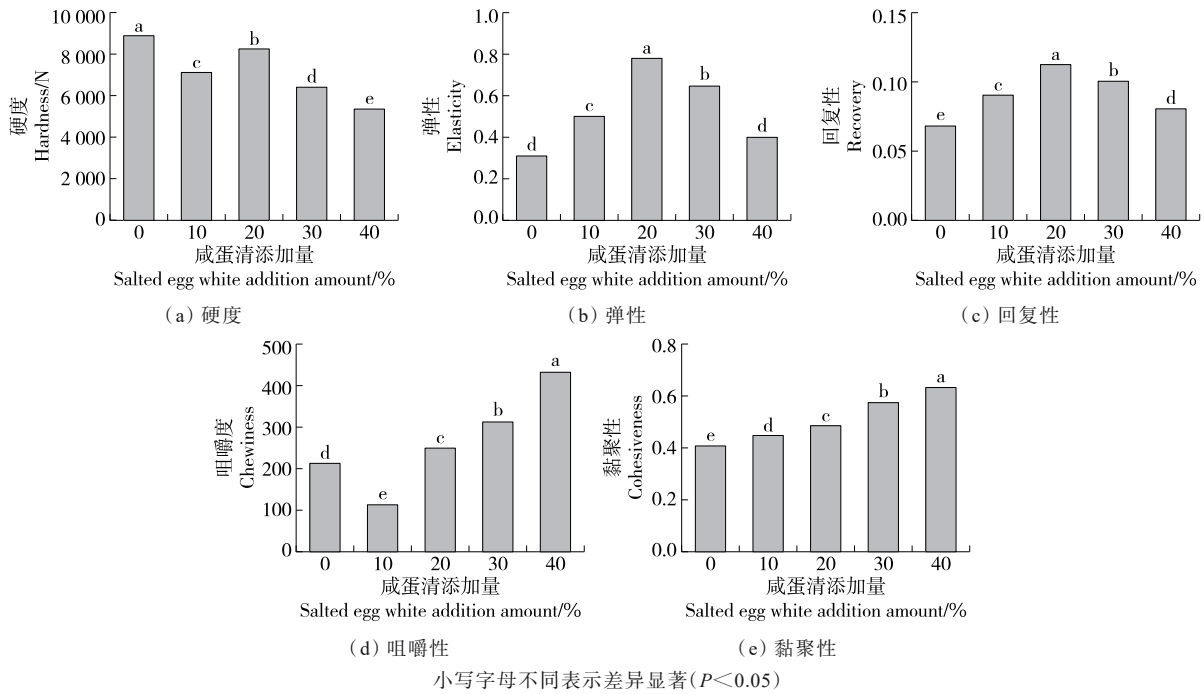


Figure 3 Effect of salted egg white on texture properties of noodles

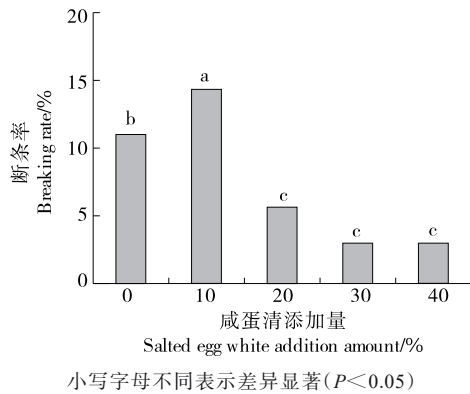


Figure 4 Effect of salted egg white on broken rate of noodles

($P < 0.05$)。表明 20% 咸蛋清添加量在维持色泽的同时，最大化了面条的整体可接受度。

感官评价结果表明，咸蛋清的添加显著提升了面条的表现状态、适口性、咀嚼性与风味接受度。在 20% 添加量下，面条弹性与回复性最佳，咸蛋清特有的咸香与绿豆风味协调融合，总分最高 (88.6 分)。这与黄斐等^[33]关于谷朊粉改良面团的研究结论相似。说明适量添加蛋白质是提升面条综合感官品质的有效策略。

3 结论

咸蛋清的添加显著提高了面条体系的蛋白质含量，当添加量为 20% 时，面条的综合品质最优。其面条亮度与黄色饱和度最优，在色泽方面表现为 a^* 值持续上升， L^* 与 b^* 值先增后降。在流变学特性方面，20% 添加量下面团的储能模量 (G') 最高，网络结构最为致密。质构特性方面，硬度、弹性与回复性均在 20% 添加量时达峰值 (弹性为 0.78)，凝聚性与咀嚼性随添加量增加而增强。断条率

表 3 咸蛋清对面条感官品质的影响[†]

Table 3 Effect of salted egg white on sensory quality of noodles

咸蛋清添加量/%	色泽	表现状态	适口性	咀嚼性	风味	感官得分
0	12.5 ± 1.18	12.8 ± 1.62	15.3 ± 1.42 ^b	16.5 ± 1.65 ^b	17.1 ± 0.99 ^c	74.2 ± 3.56 ^d
10	12.7 ± 1.16	13.2 ± 1.40	16.7 ± 1.89 ^{ab}	16.9 ± 1.97 ^b	17.6 ± 1.58 ^c	77.1 ± 3.60 ^c
20	13.0 ± 1.05	13.1 ± 0.99	17.4 ± 0.70 ^a	23.0 ± 1.41 ^a	22.1 ± 1.29 ^a	88.6 ± 2.50 ^a
30	13.1 ± 0.99	14.0 ± 1.05	15.9 ± 1.91 ^{ab}	17.4 ± 2.12 ^b	19.9 ± 2.38 ^b	80.3 ± 3.16 ^b
40	12.7 ± 1.06	13.3 ± 1.16	16.2 ± 2.62 ^{ab}	14.6 ± 2.67 ^c	17.6 ± 1.58 ^c	74.4 ± 3.20 ^d

[†] 同列字母不同表示存在显著性差异 ($P < 0.05$)。

由 16.6% 显著降至 6.7%; 感官评价显示, 20% 添加量总分最高(88.6 分), 风味与质地接受度最佳。综上, 咸蛋清添加量为 20% 时能最大程度优化面条的流变、质构、蒸煮及感官特性。

参考文献

- [1] OBADI M, ZHANG J Y, XU B. The role of inorganic salts in dough properties and noodle quality: a review[J]. *Food Research International*, 2022, 157: 111278.
- [2] DA SILVA RAMOS N J, ROCHA E B M, GUSMÃO T A S, et al. Optimizing gluten-free pasta quality: the impacts of transglutaminase concentration and kneading time on cooking properties, nutritional value, and rheological characteristics[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2023, 189: 115485.
- [3] WANG X Y, MENG D K, LI Y Y, et al. From salted egg white to calcium delivery partners: assisting in the heat induced gel of egg yolk granules[J]. *Food Chemistry*, 2025, 496: 146778.
- [4] WANG X T, ZHANG J S, VIDYARTHI S K, et al. A comprehensive review on salted eggs: quality formation mechanisms, innovative pickling technologies and value-added applications[J]. *Sustainable Food Technology*, 2024, 2(5): 1 409-1 427.
- [5] 董华伟, 何慧, 陈伯雍, 等. 电渗析脱盐对咸鸭蛋蛋清理化性质的影响[J]. *食品科学*, 2013, 34(7): 129-134.
DONG H W, HE H, CHEN B Y, et al. Effect of electro dialysis desalination on physicochemical properties of salted duck egg white[J]. *Food Science*, 2013, 34(7): 129-134.
- [6] ZHOU B, ZHANG M, FANG Z X, et al. Effects of ultrasound and microwave pretreatments on the ultrafiltration desalination of salted duck egg white protein[J]. *Food and Bioproducts Processing*, 2015, 96: 306-313.
- [7] 谢颖, 方东升, 周璟明, 等. 咸蛋清脱盐和蛋白回收的研究现状[J]. *北京农业*, 2014(36): 4-6.
XIE Y, FANG D S, ZHOU J M, et al. Research status on desalting of salted egg whites and protein recovery[J]. *Beijing Agriculture*, 2014(36): 4-6.
- [8] 冯琬帧. 咸蛋清蛋白控制酶解及其应用[D]. 广州: 华南理工大学, 2015: 6.
FENG W Z. Controlled hydrolysis of salted egg white protein and the application of its hydrolysates[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2015: 6.
- [9] 凌道. EGCG 对咸蛋清中蛋白热聚集行为的调控及在回收脱盐中的应用[D]. 南宁: 广西大学, 2024: 7.
LING X. Regulation of thermal aggregation behavior of salted egg white proteins by EGCG and its application in desalination and by-product recovery[D]. Nanning: Guangxi University, 2024: 7.
- [10] 皮钰珍, 王森, 岳喜庆, 等. 紫外辐照法提高咸蛋清起泡性的工艺研究[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(10): 247-250.
PI Y Z, WANG S, YUE X Q, et al. Study on improving the foamability of salted egg white by ultraviolet irradiation[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2013, 34(10): 247-250.
- [11] 刘雪. 咸鸭蛋蛋清功能特性的研究及其酶解物的应用[D]. 长春: 吉林大学, 2013: 11.
LIU X. The research on the functional characteristics of salted duck egg white and the application of its hydrolysates[D]. Changchun: Jilin University, 2013: 11.
- [12] 聂嘉文, 吴雨青, 陈雨琴, 等. 咸蛋清凝胶性能改良及其在咸蛋清香干加工中的应用[J]. *食品工业科技*, 2023, 44(17): 251-262.
NIE J W, WU Y Q, CHEN Y Q, et al. Improvement of the gel properties of salted egg white and its application in the processing of dried salted-egg-white curd[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2023, 44(17): 251-262.
- [13] PERNELL C W, LUCK P J, ALLENFOEGEDING E, et al. Heat-induced changes in angel food cakes containing egg-white protein or whey protein isolate[J]. *Journal of Food Science*, 2002, 67(8): 2 945-2 951.
- [14] TANG T T, WU S F, TANG S S, et al. Effect of modified egg white powder on the properties of angel cakes[J]. *Journal of Food Engineering*, 2022, 326: 111012.
- [15] PICO J, REGUILÓN M P, BERNAL J, et al. Effect of rice, pea, egg white and whey proteins on crust quality of rice flour-corn starch based gluten-free breads[J]. *Journal of Cereal Science*, 2019, 86: 92-101.
- [16] LI R N, WANG L, HOU D Z, et al. Egg white improved the quality of noodles with high mung bean content by protein aggregation behavior[J]. *Cereal Chemistry*, 2024, 101(1): 120-130.
- [17] DING X L, QUAN Z Y, CHANG W P, et al. Effect of egg white protein on the protein structure of highland barley noodles during processing[J]. *Food Chemistry*, 2024, 433: 137320.
- [18] GUO X N, GAO F, ZHU K X. Effect of fresh egg white addition on the quality characteristics and protein aggregation of oat noodles[J]. *Food Chemistry*, 2020, 330: 127319.
- [19] 张剑, 张杰, 李梦琴, 等. 绿豆配粉对面团特性及面条品质的影响[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2015, 36(6): 10-15.
ZHANG J, ZHANG J, LI M Q, et al. Effects of mung bean flour on the dough properties and the quality of noodles[J]. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, 2015, 36(6): 10-15.
- [20] NING X, LI J, LIANG L L, et al. Effect of *Eucommia ulmoides* leaf powder substitution on dough physicochemical properties and dried noodle quality[J]. *Food Chemistry: X*, 2025, 32: 103305.
- [21] LI W, XU R, QIN S S, et al. Enhancing the quality of wheat bran-enriched noodles: the role of enzymatically modified

- coarse and fine bran[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2025, 330: 147933.
- [22] 张乐道, 任广跃, 曾又华, 等. 加水温度对莜麦面团水分分布状态和质构特性的影响[J]. *中国粮油学报*, 2021, 36(2): 23-26.
ZHANG L D, REN G Y, ZENG Y H, et al. The effect of water temperature on water distribution and textural characteristics of naked oats dough[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2021, 36(2): 23-26.
- [23] 孟秀梅, 王希敏, 刘昌衡, 等. 海带绿豆鲜湿面的制作研究[J]. *食品科技*, 2006, 31(12): 133-135.
MENG X M, WANG X M, LIU C H, et al. Study on processing of long-life noodles with kelp and mung bean[J]. *Food Science and Technology*, 2006, 31(12): 133-135.
- [24] 陈舒涵, 包玉龙, 周鹏. 乳清浓缩蛋白对面条黏性的影响[J]. *中国粮油学报*, 2020, 35(11): 13-17, 32.
CHEN S H, BAO Y L, ZHOU P. Effect of whey protein concentrate on noodle stickiness[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2020, 35(11): 13-17, 32.
- [25] 叶孙想. 木聚糖酶对鹰嘴豆面条的品质改良研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2025: 35.
YE S X. A study on quality improvement of chickpea flour noodles by xylanase[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2025: 35.
- [26] 闫铭欢, 贺家亮, 王立博, 等. 甜荞全谷物粉对小麦面团流变特性及鲜湿面条品质的影响[J]. *食品科学*, 2024, 45(10): 72-79.
YAN M H, HE J L, WANG L B, et al. Effect of whole common buckwheat flour on the rheological properties of wheat dough and the quality of fresh noodles[J]. *Food Science*, 2024, 45(10): 72-79.
- [27] 韩薇薇, 郭晓娜, 朱科学, 等. 水溶性胶体对无麸质面团流变学特性及面包品质的影响[J]. *中国粮油学报*, 2015, 30(2): 15-19.
HAN W W, GUO X N, ZHU K X, et al. The effect of water-soluble colloidal on rheological properties of the gluten-free dough and bread quality[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2015, 30(2): 15-19.
- [28] 敬思群, 马崇坚, 许子杨, 等. 粉葛全粉对小麦面粉流变特性和质构特性的影响[J]. *食品工业*, 2022, 43(2): 184-188.
JING S Q, MA C J, XU Z Y, et al. Effect of pueraria thomsonii powders on rheological and texture properties of wheat dough[J]. *The Food Industry*, 2022, 43(2): 184-188.
- [29] 马程程, 柴春祥, 杜利农, 等. 藜麦魔芋挂面的研制及品质评价[J]. *食品与机械*, 2026, 42(1): 176-184.
MA C C, CHAI C X, DU L N, et al. Development and quality evaluation of quinoa-konjac dried noodles[J]. *Food & Machinery*, 2026, 42(1): 176-184.
- [30] 尹显婷, 郭鑫, 肖睿涵, 等. 米糠粉对面条品质和体外消化特性的影响[J]. *粮食与油脂*, 2026, 39(1): 64-70.
YIN X T, GUO X, XIAO R H, et al. Effects of rice bran powder on noodle quality and in vitro digestive characteristics[J]. *Cereals & Oils*, 2026, 39(1): 64-70.
- [31] 高维. 纯绿豆面条的制作工艺研究[J]. *粮食科技与经济*, 2016, 41(1): 56-58.
GAO W. Production technology of pure mung bean noodle[J]. *Grain Science and Technology and Economy*, 2016, 41(1): 56-58.
- [32] 张小芳, 秦令祥, 陈树兴, 等. 不同醒面次数对烩面面团特性及食用品质的影响[J]. *食品安全质量检测学报*, 2023, 14(20): 295-302.
ZHANG X F, QIN L X, CHEN S X, et al. Effects of different dough wake-up times on the characteristics and edible quality of Huimian noodles dough[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2023, 14(20): 295-302.
- [33] 黄斐, 谷俊华. 谷朊粉对红薯泥面团特性及其面条品质的影响[J]. *吉林农业科技学院学报*, 2022, 31(2): 6-9, 38.
HUANG F, GU J H. Effects of gluten on characteristics of sweet potato dough and noodle quality[J]. *Journal of Jilin Agricultural Science and Technology University*, 2022, 31(2): 6-9, 38.