

食用碱对蛋白质聚集行为及面条品质的影响

任佳影, 陈洁*, 汪磊

河南工业大学 粮油食品学院, 河南 郑州 450001

摘要:食用碱是一种食品添加剂,具有增加面条风味、中和胃酸的作用。通过测定蛋白质分子间作用力、麦谷蛋白大聚体含量及利用原子力显微镜观察,探讨不同添加量(0%、0.1%、0.2%、0.3%、0.4%)的食用碱对蛋白质聚集行为的影响;通过测定面条的蒸煮特性、质构特性及感官评价对面条品质进行分析。结果表明:食用碱能促进面团中的游离巯基转换为二硫键,增加面团中的氢键,减少疏水性相互作用,使麦谷蛋白大聚体含量增加。原子力显微镜观察结果表明:不加碱(对照组)的小麦面筋蛋白分子链缠绕程度低,完全塌陷且较平整地位于云母基底;当加入食用碱后蛋白分子链缠绕程度增强,形成凹凸不平的球状立体形貌。随着食用碱添加量的增加,面条的吸水率在添加量为 0.2% 时达到最大,面条的蒸煮损失率不断上升,面条的硬度及咀嚼性呈显著上升趋势,但对弹性无显著性影响;结合感官评价,随着碱添加量的增多,面条的色泽向黄、暗方向发展,口感不佳。因此,面条中食用碱的最适添加量为 0.2%。

关键词:食用碱;蛋白质;微观结构;面条

中图分类号:TS211.4

文献标志码:B

文章编号:1673-2383(2020)03-0027-07

DOI:10.16433/j.1673-2383.2020.03.005

Effects of dietary alkali on protein aggregation behavior and noodle quality

REN Jiaying, CHEN Jie*, WANG Lei

College of Food Science and Technology, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China

Abstract: Dietary alkali is a kind of food additive, which can increase the flavor of noodles and neutralize gastric acid. In this study, the effect of dietary alkali with different additive amounts (0%, 0.1%, 0.2%, 0.3%, and 0.4%) on protein aggregation behavior was evaluated by measuring the protein intermolecular forces and the content of glutenin macropolymer and observing the apparent morphology of protein. Noodle quality was analyzed by cooking characteristics, texture properties, and sensory evaluation. The results showed that dietary alkali promoted the conversion of the free sulfhydryl groups into disulfide bonds, increased the number of hydrogen bonds and decreased the hydrophobic interactions in the dough, enhancing the content of glutenin macropolymer. AFM results showed that dietary alkali induced the wheat gluten protein chains strongly interwove, forming a roughly spherical shape. Whereas, those chains in the wheat gluten without dietary alkali were less interwoven, completely collapsed, and relatively flat manner. With the increase of dietary alkali addition, the water absorption of the noodles reached the maximum when the addition amount was 0.2%. However, the cooking loss, hardness, and chewiness of the noodles increased significantly. The elasticity of the noodles was not altered by alkali addition. As for sensory evaluation, a higher amount of dietary alkali darkened the color of the noodles and disturbed the taste. Therefore, the optimal addition of dietary alkali recommended in noodles was 0.2%.

收稿日期: 2019-09-01

基金项目: 国家重点研发计划课题“大米小麦制品加工过程品质控制技术”(2016YFD04012021)

作者简介: 任佳影(1994—),女,河南漯河人,硕士研究生,研究方向为面制品加工。

* 通信作者: 陈洁,教授, E-mail: cjie06@163.com

Key words: dietary alkali; protein; microstructure; noodles

面条是我国居民日常饮食中常见的主食之一,有着悠久的发展历史,已经形成了具有地域差异性,各具特色的面条文化。面条按加工方式不同分为手工面和机械制面等;按添加剂不同分为白盐面(如河南烩面)和黄碱面(如武汉热干面、四川担担面)等^[1]。目前,我国市场上有各种各样的黄碱面条以满足不同喜好、不同口味的消费者,面条在制作过程中加入了食用碱、食用盐而使其产生了独特的风味和诱人的黄色^[2],如广式鲜面条和闽式半熟面条等,深受广大年轻消费者的青睐。

楚炎沛^[3]的研究表明碱性盐能影响终端食品的表现、蒸煮品质,加碱量大的面条呈现较好的色泽。Huang 等^[4]研究发现,碱水处理后面条的最佳煮面时间延长、切应力增大、压应力降低,表明面条硬度增大,但耐嚼性变差。Ross 等^[5]研究发现,弱筋面团加碱后筋力明显变强,但筋力较强的面团在后来的醒发及制作过程中表现较为复杂,如加碱面条在醒发后比加盐面条弹性更好。Rombouts 等^[6]研究发现,加碱会促进分子间二硫键的形成,使面团谷蛋白大聚体(GMP)的凝胶强度明显增强。Hatcher 等^[7]指出,碱性盐的添加量对面条的亮度、最大厚度及组织结构都有影响。石林凡等^[8]指出,在碱添加量为 0.1%~0.3%时,包埋淀粉颗粒的蛋白质网络最为有序。作者将食用碱添加到小麦粉中,研究不同添加量的食用碱对面团的蛋白质特性及面条品质的影响,使黄碱面条的生产在理论基础和数据支撑下更加科学化、机械化、连续化。

1 材料和方法

1.1 原料和试剂

小麦粉(特一粉):郑州金苑面业有限公司;食用碱(食品级):沈阳市苏家屯区星火食品厂。脲、盐酸:洛阳吴华化学试剂有限公司; β -巯基乙醇、十二烷基硫酸钠(SDS):天津市科密欧化学试剂有限公司;三羟甲基氨基甲烷(Tris):上海山浦化工有限公司。

1.2 仪器和设备

B5A 多功能搅拌机:广州市威力事实业有限公司;HMTD-168 压面机:北京东方孚德仪器技术有限公司;LC-12 N-50C 真空冷冻干燥机:北

京博医康实验仪器有限公司;TA-Xt plus 质构仪;英国 Stable Micro Systems 公司;722 s 分光光度计;北京中兴伟业机械有限公司;Nano Scope IIIa 型原子力显微镜;上海卓伦微纳米设备有限公司。

1.3 方法

1.3.1 样品的制备

面条的制作:称取 100 g 特一粉倒入和面机中,然后称取 1%的食盐,与食用碱(添加量分别为 0、0.1%、0.2%、0.3%、0.4%)一起溶于适量的水,倒入快速和面机中,和面时间为 2 min。将和好的面团置于醒发箱中 15 min,醒发后的面带复合压延 3 次,再连续压片至形成 1 mm 的面带,最后切成 2 mm 宽、1 mm 厚的面条。

面团粉的制备:取一定量醒发后的面团于辊压机上复合压延 3 次,调整压辊间距将面团压成面带(2 mm 厚),然后将面带切成面片(1.5 mm×1.5 mm),将面片先冷冻 2 h,之后抽真空冷冻干燥 24 h,最后于磨粉机中磨碎成粉,使面团粉足够细(过 200 目筛),备用。

1.3.2 蛋白质分子间作用力的测定

参考文献[9-10]的方法。利用面团在不同还原性溶剂中溶解性的不同,对含碱面团中蛋白质分子力的变化进行测定。疏水性相互作用:0.03 mol/L pH 8.0 的 Tris-HCl 含 1% SDS;氢键:0.03 mol/L pH 8.0 的 Tris-HCl 含 6 mol/L 尿素;二硫键:0.03 mol/L pH 8.0 的 Tris-HCl 含 2% β -巯基乙醇;疏水性相互作用与二硫键:0.03 mol/L pH 8.0 的 Tris-HCl 含 1% SDS 和 2% β -巯基乙醇;氢键与疏水性相互作用:0.03 mol/L pH 8.0 的 Tris-HCl 含 6 mol/L 尿素和 1% SDS。

参考马磊^[11]的方法并作改动。称取 0.3 g 面团粉样品溶解于 5 mL 上述溶液中,4 000 r/min 离心 10 min,取 2 mL 上清液加入 2 mL 20%三氯乙酸,静置 30 min 后 4 000 r/min 离心 10 min,用 0.5 mol/L 的 NaOH 将沉淀溶解。使用双缩脲法测定蛋白质含量,分子间作用力以 0.5 mol/L 的 NaOH 提取的蛋白质含量表示,每个梯度的样品做 3 个平行重复,取平均值。

1.3.3 麦谷蛋白大聚体含量测定

取 500 mg 冻干面团样品加入 10 mL 1.5%的 SDS 溶液,振荡混匀,30 ℃ 恒温振荡 1 h,25 ℃ 9 000 g 离心 20 min,弃上清液,采用凯氏定氮仪

测定沉淀中的蛋白质含量,所得的结果乘以特定的转换因子($F=5.7$)作为 GMP 的近似含量^[12]。

1.3.4 面筋蛋白质形貌观察

参考 Guo 等^[13]的方法,将面筋蛋白溶解于 0.05 mol/L 的乙酸溶液中配制成质量浓度为 0.01 μg/mL 的蛋白溶液。取 10 μL 溶液滴到新鲜的云母片上,快速风干后用原子力显微镜对面筋蛋白质形貌进行观察。

1.3.5 面条蒸煮特性的测定

参考杨玉玲等^[14]的方法对面条的吸水率和蒸煮损失率进行测定,每个样品平行测定 3 次。

1.3.6 面条质构特性的测定

取 10 根 22 cm 的面条放入 500 mL 的沸水锅中,煮至最佳蒸煮时间后捞出,过凉水 30 s 后捞出,沥干面条表面的水分。在载物台上平行放置 3 根面条,采用 P/35 mm 探头测定分析,测前速度 3.0 mm/s,测中和测后速度 1.0 mm/s,应变位移 75%,引发力 5.0 g。平行测定 10 次,取平均值。

1.3.7 面条感官评价

参考 GB/T 13868 中的感官评价标准并略做调整,见表 1。每个样品感官评价两次。

表 1 碱面条感官评价标准
Table 1 Sensory evaluation criteria of alkali noodles

项目	满分	评价标准
色泽	10	面条白、乳白、奶黄色,光亮 8.5~10 分;一般 6.1~8.4 分;色泽暗、亮度差 1~6 分
表面状态	10	表面光滑、结构细密 8.5~10 分;一般 6.1~8.4 分;粗糙、膨胀、变形严重 1~6 分
适口性	20	牙咬断面条力度适中 17~20 分;稍偏硬或软 12~16 分;太硬或太软 1~11 分
韧性	25	咀嚼有咬劲、富有弹性 21~25 分;一般 15~20 分;咬劲差、弹性不足 1~14 分
黏性	25	咀嚼时爽口、不粘牙 21~25 分;较爽口、稍粘牙 15~20 分;不爽口、粘牙 1~14 分
光滑性	5	口感光滑度,光滑 4.3~5 分;中等程度 3.1~4.2 分;光滑程度差 1~3 分
食味	5	品尝味道,具有清香味 4.3~5 分;基本无异味 3.1~4.2 分;有异味 1~3 分

1.4 数据统计与分析

采用 Excel 2016、Origin 8.5 制作图表,并用 SPSS 21.0 对数据进行显著性差异分析($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 蛋白质分子间作用力

氢键是稳定面筋网络结构的蛋白质间作用力^[15],二硫键通过蛋白质分子中的半胱氨酸残基相互连接^[16],谷氨酰胺侧链与相邻多肽链的肽骨架上的酰胺基团发生分子间二硫键和氢键相互

作用,形成一个相互连接的支链网络,对蛋白质结构具有重要影响。表 2 为食用碱不同添加量对面团中蛋白质分子间作用力的影响。由表 2 可知,疏水相互作用力>氢键>疏水+氢键>疏水+二硫键>二硫键。当食用碱添加量为 0%~0.2% 时,能显著降低疏水性相互作用力、疏水+二硫键以及疏水+氢键,增大氢键及二硫键,碱量在 0.2%~0.4% 时变化不显著。疏水相互作用是阻碍面团吸水的主要原因^[10],随着碱量的增加,面团中的蛋白质分子逐渐吸水形成面筋网络,因此疏水相互作用的形成条件变弱,疏水性相互作用逐渐降低。

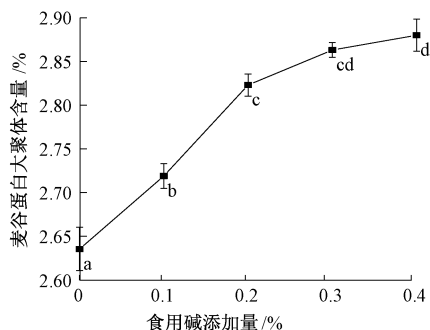
表 2 食用碱对面团中蛋白质分子间作用力的影响
Table 2 Effect of dietary alkali on protein intermolecular forces in dough

食用碱添加量/%	疏水性相互作用 /(mg·mL ⁻¹)	氢键 /(mg·mL ⁻¹)	二硫键 /(mg·mL ⁻¹)	疏水+二硫键 /(mg·mL ⁻¹)	疏水+氢键 /(mg·mL ⁻¹)
0	0.824±0.004 ^d	0.765±0.012 ^a	0.378±0.004 ^a	0.721±0.006 ^d	0.811±0.010 ^c
0.1	0.804±0.003 ^c	0.811±0.005 ^a	0.392±0.003 ^b	0.711±0.003 ^{bc}	0.697±0.006 ^b
0.2	0.775±0.000 ^b	0.925±0.013 ^b	0.409±0.002 ^c	0.697±0.010 ^b	0.682±0.010 ^a
0.3	0.765±0.005 ^b	0.948±0.016 ^b	0.411±0.002 ^c	0.677±0.010 ^b	0.684±0.002 ^{ab}
0.4	0.740±0.010 ^a	1.114±0.061 ^c	0.423±0.008 ^d	0.654±0.006 ^a	0.671±0.006 ^a

注:数据以平均值±标准偏差表示,同一列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。表 3 同。

2.2 麦谷蛋白大聚体含量

食用碱对麦谷蛋白大聚体含量的影响见图1,随着食用碱添加量的增加,麦谷蛋白大聚体含量呈现上升的趋势,此结果与陈月华^[17]的研究结论一致。食用碱的添加增强了蛋白质分子间作用力,使二硫键含量增加,蛋白质分子之间结合更加紧密,从而形成麦谷蛋白大聚体,已有研究证明麦谷蛋白大聚体是通过分子间二硫键头尾相连的方式形成骨架,在面筋网络形成过程中至关重要,其支撑整个面筋网络^[18],这与表2中二硫键含量的变化一致。



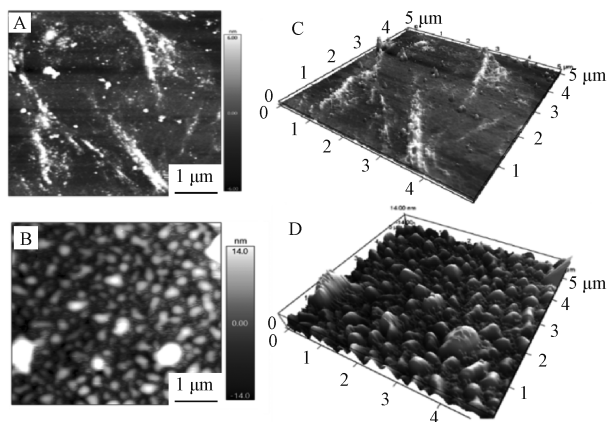
注:用 Duncan 法进行多重比较,不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$),图3、图4同。

图1 食用碱对麦谷蛋白大聚体含量的影响

Fig.1 Effect of dietary alkali on the content of glutenin macropolymer

2.3 食用碱对蛋白质形态的影响

原子力显微镜可以表征蛋白质分子三级立体结构,分辨率很高^[19-21]。图2显示了用原子力显微镜表征加碱量为0%(对照组)和0.2%时小麦面筋蛋白聚集体的细微表观形貌。由图2(A)发现蛋白质分子完全塌陷,较平整地位于云母基底,说明不加碱的小麦面筋蛋白分子链缠绕程度低,表面疏水性较高,导致其与云母分子有很强的亲和力。可能的原因是蛋白分子之间的静电排斥力使蛋白质分子伸展松散,蛋白质聚集体含量少且分布不均匀^[22]。当加入食用碱后小麦面筋蛋白分子链缠绕程度增强,形成凹凸不平的球状立体形貌,形成了蛋白质大聚体,与对照组有明显差异,如图2(B)所示,网络状分子浮于云母基底上,表明蛋白质分子之间的相互作用增强,与云母基底相互作用减弱^[23]。这是因为二硫键含量的增加导致蛋白质分子聚集,此结果与麦谷蛋白大聚体含量(图1)和蛋白质分子间作用力(表2)的结果相吻合,说明食用碱的添加使面筋网络增强。



注:A为对照组;B为碱添加量0.2%的小麦面筋蛋白聚集体;C、D分别为A、B的三维立体图。

图2 食用碱对小麦面筋蛋白表观形貌的影响

Fig.2 Effect of dietary alkali on the apparent morphology of wheat gluten protein

2.4 食用碱对面条蒸煮特性的影响

食用碱对面条蒸煮特性的影响见图3,当碱添加量小于0.2%时可显著增加面条的吸水率,当碱添加量大于0.2%时吸水率显著下降。这是由于碱能促进蛋白质面筋网络的形成,在煮面时面筋网络吸水膨胀,当碱添加量为0.2%时吸水率最高,随着碱添加量的增加,煮面水的pH值增大,这可能会使淀粉流失,弱化了煮制后面条的网络结构,使吸水率下降。在加热条件下,食用碱的添加使淀粉流失增大,蛋白质网络破损降解,从而导致面条的蒸煮损失率增加^[24]。淀粉的流失会使煮制时面条的网络结构变得疏松,掉出一部分网络碎片,所以面条的蒸煮损失率呈逐渐上升趋势。

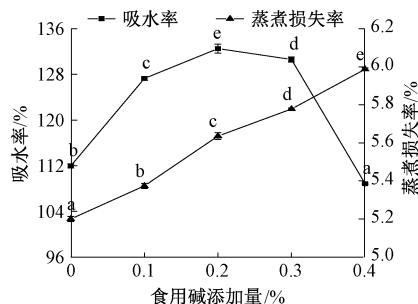


图3 食用碱对面条蒸煮特性的影响

Fig.3 Effect of dietary alkali on cooking characteristics of noodles

2.5 食用碱对面条质构特性的影响

采用质构仪对食用碱不同添加量制作的面条进行TPA测试,结果如图4所示,硬度以及咀嚼度在碱添加量小于0.2%时呈显著上升趋势,大于0.2%时上升但不显著;食用碱对弹性没有显著影

响。这可能是由于随着碱的添加,蛋白质面筋网络与水分结合程度高,此时形成的面筋网络结构更加紧密,因此硬度上升。咀嚼度是一个综合指标,它是硬度、黏聚性和弹性三者的乘积。

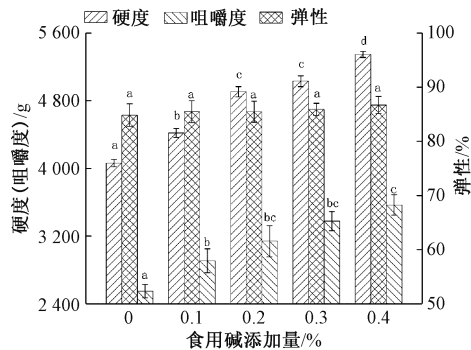


图 4 食用碱对面条质构特性的影响
Fig.4 Effect of dietary alkali on texture characteristics of noodles

2.6 食用碱对面条感官评价的影响

对食用碱不同添加量制作的面条进行感官评价,结果如表 3 所示。添加食用碱能使面条色泽评分显著降低,这是由于面条中含有黄酮类物质,中性条件下稳定,在碱性条件下显黄色。面条的适口性评分先上升后下降但不显著,面条的适口性反映面条的软硬程度,在碱添加量 0.2% 时达到最大,与面条质构特性的硬度有联系,由于碱能促进蛋白质面筋网络的形成,提高面条的筋力,故适口性上升。面条的韧性评分先上升后下降但不显著,面条的韧性反映面条的弹性,韧性上升可能与湿面筋含量、二硫键含量的增加有关。当碱添加量大于 0.2% 时会显著降低面条的食味,使其产生一定的异味(碱味儿)。综合分析,碱添加量为 0.2% 时面条口感最佳。

表 3 食用碱不同添加量的面条的感官评价

Table 3 Sensory evaluation of noodles with different dietary alkali content

食用碱添加量/%	色泽	表观状态	适口性	韧性	黏性	光滑性	食味	总分
0	8.82±0.25 ^c	8.86±0.22 ^{ab}	16.80±1.10 ^b	20.60±0.55 ^{ab}	22.20±1.10 ^a	4.36±0.05 ^{ab}	4.26±0.18 ^c	85.90±2.06 ^c
0.1	8.52±0.48 ^c	8.94±0.13 ^b	17.20±0.84 ^b	21.80±0.84 ^b	22.40±0.89 ^a	4.34±0.05 ^{ab}	4.32±0.08 ^c	87.52±1.82 ^c
0.2	7.98±0.61 ^{bc}	9.02±0.32 ^b	17.80±0.45 ^b	22.60±1.14 ^b	22.40±0.89 ^a	4.42±0.04 ^b	4.22±0.13 ^c	88.44±2.02 ^c
0.3	6.72±1.45 ^{ab}	8.22±0.78 ^a	16.00±1.58 ^{ab}	20.60±1.82 ^{ab}	21.60±1.14 ^a	4.26±0.17 ^{ab}	3.34±0.61 ^b	80.74±4.87 ^b
0.4	5.86±1.69 ^a	8.18±0.76 ^a	14.80±2.39 ^a	18.80±2.17 ^a	21.20±1.30 ^a	4.22±0.20 ^a	2.50±0.71 ^a	75.56±6.00 ^a

2.7 相关性分析

蛋白质性质与面条品质特性的相关性如表 4 所示,疏水相互作用力与面条的蒸煮损失率($r=-0.995$)、硬度($r=-0.997$)、咀嚼性($r=-0.987$)呈极显著负相关,与弹性($r=-0.937$)呈显著负相关;氢键与蒸煮损失率($r=0.975$)呈极显著正相关,与硬度($r=0.957$)、弹性($r=0.950$)、咀嚼性($r=0.939$)呈显著正相关;二硫键与蒸煮损失率($r=0.987$)、硬度($r=0.998$)、咀嚼性($r=0.984$)呈极显著正相关,与弹性($r=0.910$)呈显著正相

关;麦谷蛋白大聚体与蒸煮损失率($r=0.970$)、硬度($r=0.988$)、咀嚼性($r=0.982$)呈极显著正相关。从以上分析可以看出,面条的蒸煮损失率、硬度、弹性、咀嚼性与蛋白质特性(疏水相互作用、氢键、二硫键)之间有显著相关性。以蛋白质特性为自变量,以面条蒸煮损失率和质构特性(硬度、弹性、咀嚼性)为因变量进行逐步回归分析,结果如表 5 所示,各回归方程均达到显著水平,表明疏水相互作用、二硫键含量可以表征碱面条的品质变化。

表 4 蛋白质性质与面条品质特性的相关性分析

Table 4 Correlation analysis between protein properties and noodle quality characteristics

	蒸煮特性		质构特性			感官评价	
	吸水率	蒸煮损失率	硬度	弹性	咀嚼性	光滑性	适口性
疏水相互作用	0.019	-0.995 **	-0.997 **	-0.937 *	-0.987 **	0.629	0.650
氢键	-0.223	0.975 **	0.957 *	0.950 *	0.939 *	-0.656	-0.663
二硫键	0.080	0.987 **	0.998 **	0.910 *	0.984 **	-0.549	-0.566
麦谷蛋白大聚体	0.196	0.970 **	0.988 **	0.864	0.982 **	-0.542	-0.583

注: **表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关; * 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关。表 5 同。

表5 蛋白质性质与面条品质特性的回归分析

Table 5 Regression analysis of protein properties and noodle quality characteristics

指标	回归方程	F 值	R ²	P 值
蒸煮损失率(Y_1)	$Y_1 = -1.671 + 17.981X_1$	120.697	0.976 **	0.002
硬度(Y_2)	$Y_2 = -7.653.602 + 30.863.389X_1$	244.392	0.988 **	0.001
弹性(Y_3)	$Y_3 = 102.827 - 21.928X_2$	45.274	0.938 **	0.007
咀嚼性(Y_4)	$Y_4 = 13.188.281 - 12.889.737X_2$	71.881	0.960 **	0.003

注: X_1 表示二硫键; X_2 表示疏水相互作用。

3 结论

食用碱的添加可促进面团中的游离巯基转换为二硫键,同时促进氢键的生成,减弱疏水性相互作用,蛋白质分子之间结合更紧密,形成大分子蛋白质聚集体,分子链缠绕程度增强,形成凹凸不平的球状立体形貌,使面条的硬度、咀嚼度呈现增大的趋势。虽然随着食用碱的添加面团的筋力逐渐增强,但过高的添加量会使得面团过硬,加工性能变差。结合感官评价,由于碱添加过多会使面条产生异味(碱味儿),同时色泽过黄、过暗,适口性降低,因此最适的碱添加量为0.2%。综上所述,对添加食用碱的小麦粉面条进行蛋白质、面条品质特性的测试,可以对鲜湿碱面的品质做出较为可靠的预测。

参考文献:

- [1] 万晓军. 食品添加剂在挂面工业中的应用[J]. 现代面粉工业, 2009(6):48-49.
- [2] 胡瑞波, 田纪春. 中国黄碱面条色泽影响因素的研究[J]. 中国粮油学报, 2006, 21(6):22-26.
- [3] 楚炎沛. 碱性条件对面条品质特性的影响作用[J]. 食品工业, 2004, 25(2):45-47.
- [4] HUANG S, MORRISON W R. Aspects of proteins in Chinese and British common (hexaploid) wheats related to quality of white and yellow Chinese noodles[J]. Journal of Cereal Science, 1988, 8(2):177-187.
- [5] ROSS A S, OHM J B. Sheetting characteristics of salted alkaline Asian noodle doughs: comparison with lubricated squeezing flow attributes[J]. Cereal Foods World, 2006, 51(4):191-196.
- [6] ROMBOUTS I, JANSSENS K J A, LAGRAIN

B, et al. The impact of salt and alkali on gluten polymerization and quality of fresh wheat noodles [J]. Journal of Cereal Science, 2014, 60(3):507-513.

- [7] HATCHER D W, ANDERSON M J. Influence of alkaline formulation on oriental noodle color and texture [J]. Cereal Chemistry, 2007, 84(3):253-259.
- [8] 石林凡. 拉面面团微观结构研究及品质改良[D]. 郑州:河南工业大学, 2015.
- [9] LIAO L, LIU T X, ZHAO M M, et al. Aggregation behavior of wheat gluten during carboxylic acid deamidation upon hydrothermal treatment [J]. Journal of Cereal Science, 2011, 54(1):129-136.
- [10] 王录通. 和面工艺对面团及馒头品质的影响研究[D]. 郑州:河南工业大学, 2018.
- [11] 马磊. 不同离子及蒸煮作用对蛋清凝胶品质的影响及涂膜保鲜蛋制品方法的研究[D]. 南京:南京农业大学, 2016.
- [12] WEEGELS P L, PIJPEKAMP A M V D, GRAVELAND A, et al. Depolymerisation and re-polymerisation of wheat glutenin during dough processing. I. Relationships between glutenin macropolymer content and quality parameters [J]. Journal of Cereal Science, 1996, 23(2):103-111.
- [13] GUO X F, SUN X H, ZHANG Y Y, et al. Interactions between soy protein hydrolyzates and wheat proteins in noodle making dough [J]. Food Chemistry, 2018, 245:500-507.
- [14] 杨玉玲, 关二旗, 李萌萌, 等. 不同和面方式对面团流变特性及面条品质的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2019, 40(5):18-24.
- [15] RIBOTTA P D, LEÓN A E, PÉREZ G T, et al. Electrophoresis studies for determining

- wheat-soy protein interactions in dough and bread[J]. *European Food Research & Technology*, 2005, 221(1-2):48-53.
- [16] ONDA Y, KOBORI Y. Differential activity of rice protein disulfide isomerase family members for disulfide bond formation and reduction[J]. *FEBS Open Bio*, 2014, 4(1):730-734.
- [17] 陈月华. 碱性盐对小麦粉面条品质特性影响的研究[D]. 郑州:河南农业大学, 2018.
- [18] BARONE J R, DANGARAN K, SCHMIDT W F. Blends of cysteine-containing proteins[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, 54(15):5393-5399.
- [19] 丛旭, 刘锐, 刘砚, 等. 小麦面筋蛋白可食膜的制备及其在调料包中的应用[J]. *天津科技大学学报*, 2018, 33(3):9-17.
- [20] SUN W Z, ZHAO Q Z, ZHAO M M, et al. Structural evaluation of myofibrillar proteins during processing of Cantonese sausage by Raman spectroscopy[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, 59(20):11070-11077.
- [21] BOURAOUI M, NAKAI S, LI-CHAN E. *In situ* investigation of protein structure in Pacific whiting surimi and gels using Raman spectroscopy[J]. *Food Research International*, 1997, 30(1):65-72.
- [22] 廖兰. 湿热有机酸脱酰胺改性小麦面筋蛋白及作用机理的研究[D]. 广州:华南理工大学, 2012.
- [23] 仇超颖. 脱酰胺小麦醇溶蛋白结构、界面性质及其乳浊液稳定性的研究[D]. 广州:华南理工大学, 2014.
- [24] 范会平, 陈月华, 卞科, 等. 碱性盐对面团流变特性及面条品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2018, 44(4):97-103.

(上接第 18 页)

- [17] 贾峰, 王金水, 殷海成, 等. 小麦后熟期及储藏过程中生理生化变化研究进展[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2013, 34(2):105-110.
- [18] 李建敏, 王振林, 尹燕枰, 等. 不同蛋白质含量小麦品种籽粒形成期氮代谢及相关酶活性的比较[J]. *中国农业科学*, 2009, 42(9):3078-3086.
- [19] 杨延兵, 高荣岐, 尹燕枰, 等. 不同品质类型小麦籽粒游离氨基酸、蛋白质及其组分的动态变化[J]. *麦类作物学报*, 2007, 27(5):864-869.
- [20] 石慧, 梁运祥. 差量法测定发酵豆粕类饲料中肽氮含量的研究[J]. *粮食与饲料工业*, 2015, 12(2):58-60.
- [21] 张雅君, 张静林, 张浩, 等. 花生(*Arachis hypogaea* L.)发芽过程中含氮物质的变化[J]. *食品科学*, 2014, 35(19):28-33.
- [22] 李硕碧, 郭俊伟, 王小红, 等. 小麦沉淀值测定方法的评价研究[J]. *麦类作物学报*, 1996(5):40-41.
- [23] 孙辉, 姜薇莉, 田晓红, 等. 小麦粉储藏品质变化规律研究[J]. *中国粮油学报*, 2005, 20(3):77-82.
- [24] 任江萍, 尹钧, 周苏玫, 等. 转反义 *trxs* 基因小麦籽粒后熟过程中水解酶活性的变化[J]. *西北植物学报*, 2010, 30(8):1634-1638.