

盐碱面条品质形成及差异机制的对比分析

贾若兵, 韩传武, 孙庆杰, 马萌*, 李曼*
(青岛农业大学食品科学与工程学院, 山东 青岛 266109)

摘要: 为系统探明盐碱面条的品质差异及机制, 以面粉粉质拉伸特性、黏度特性, 面条的蒸煮、质构特性及贮藏稳定性为指标, 研究NaCl和K₂CO₃对面条品质形成的影响, 并从微观结构、蛋白质聚合、挥发性成分等方面探讨其品质差异的内在机理。结果表明, 盐主要提高了面团和面条的延伸性, 赋予面条较高的爽滑度及弹性, 对淀粉黏度特性影响不明显; 碱主要提高了面团的拉伸阻力和面条的硬度及拉断力, 提高了淀粉的糊化黏度; 添加盐和碱后, 面条的蒸煮损失均增加; 盐和碱均能显著抑制生鲜面中菌落总数的增加, 提高贮藏稳定性, 但0.5% K₂CO₃反而使褐变速率加快; 扫描电子显微镜结果显示, NaCl诱导了面条表面光滑的微观结构, K₂CO₃使表面粗糙; K₂CO₃显著增加了蛋白质的热聚合速率和程度。NaCl增加了面条中挥发性成分的种类和浓度, 使面条香味更为浓郁, 但与空白风味相近, 而K₂CO₃明显改变了面条的风味, 生成特有的醛类化合物。

关键词: 盐碱面条; 宏观品质; 微观特征; 风味; 面筋蛋白

Comparative Study on the Effects and Mechanisms of Salt and Alkali on the Quality Formation of Noodles

JIA Ruobing, HAN Chuanwu, SUN Qingjie, MA Meng*, LI Man*
(College of Food Science and Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

Abstract: In order to systematically investigate the quality differences between salted and alkaline noodles and the underlying mechanism, the effect of NaCl and K₂CO₃ on the quality formation of noodles was studied by evaluating the farinograph and extensograph properties and viscosity properties of wheat flour, as well as the cooking properties, texture properties, and storage stability of noodles. Additionally, the microstructure, protein aggregation and volatile components were investigated to explore the underlying mechanisms of the quality differences. The results showed that salt improved the extensibility of dough and noodles, endowed noodles with higher smoothness and elasticity, and showed little effect on starch viscosity, while alkali enhanced the tensile resistance of dough and the hardness and breaking force of cooked noodles, and increased the gelatinization viscosity of starch. The cooking loss of noodles increased with the addition of salt and alkali. Both salt and alkali significantly inhibited the increase of total plate count (TPC) in fresh noodles and consequently enhanced the storage stability, but 0.5% K₂CO₃ accelerated the browning rate. The scanning electron microscopy (SEM) results showed that NaCl induced a smooth surface microstructure, while K₂CO₃ resulted in a rough surface of noodles; K₂CO₃ significantly increased the rate and extent of thermal polymerization of proteins in noodles. NaCl increased the type and concentration of volatile components in noodles, thereby making the aroma of noodles more intense, but the flavor was similar to that of the control. K₂CO₃ significantly changed the flavor of noodles and resulted in the generation of unique aldehyde compounds.

Keywords: salted and alkaline noodles; macroquality; microcharacteristics; flavor; gluten

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20220605-046

中图分类号: TS213.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2023)16-0091-07

收稿日期: 2022-06-05

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(32072135); 中国科协青年人才托举工程项目(2019QNRC001);

山东省高校青创科技支持计划项目(2020KJF005)

第一作者简介: 贾若兵(1997—)(ORCID: 0000-0002-5970-3312), 男, 硕士研究生, 研究方向为粮油精深加工。

E-mail: jrbynwa@163.com

*通信作者简介: 马萌(1988—)(ORCID: 0000-0002-9394-534X), 男, 副教授, 博士, 研究方向为农产品加工与贮藏。

E-mail: mamengss@163.com

李曼(1987—)(ORCID: 0000-0001-6188-9614), 女, 教授, 博士, 研究方向为谷物深加工。

E-mail: manliqau@163.com

引文格式:

贾若兵, 韩传武, 孙庆杰, 等. 盐碱面条品质形成及差异机制的对比分析[J]. 食品科学, 2023, 44(16): 91-97. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20220605-046. <http://www.spkx.net.cn>

JIA Ruobing, HAN Chuanwu, SUN Qingjie, et al. Comparative study on the effects and mechanisms of salt and alkali on the quality formation of noodles[J]. Food Science, 2023, 44(16): 91-97. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20220605-046. <http://www.spkx.net.cn>

面条起源于中国, 是中国的传统主食之一, 因其制作简便、食用方便、营养丰富而深受中国人民的青睐^[1]。我国每年约有40%的面粉用于生产各式各样的面条制品^[2]。中式面条往往以普通小麦粉和水为原料, 经过复合、醒发、压延和切条制成。为了增加面条的风味, 生产过程中通常会添加不同种类的添加剂。盐(NaCl)和碱(通常为Na₂CO₃或K₂CO₃)作为面条中比较常见的配料, 使面条在颜色、质构、口感和风味上均存在明显的差异, 根据这些差异, 面条被分为白盐面条和黄碱面条^[3-4]。

长期以来, 关于食盐或食用碱对面条品质影响的报道较多。楚炎沛^[5]研究发现盐和碱对面条蒸煮和食用品质有明显不同的影响, 其中碱显著增强了面团的粉质特性。大量研究表明添加盐或碱会改善面团的流变学特性, 增强其储能模量和损耗模量^[6-8]。Fan Huiping等^[9]研究发现小麦粉的稳定时间随NaCl浓度的增加而延长, NaCl对面条的硬度、弹性等质构特征无明显影响。但也有研究发现NaCl浓度的增加可以提高面条的硬度^[10]。Fan Huiping等^[11]发现添加碱水(Na₂CO₃和钾盐)影响淀粉糊化, 增强面条面团的硬度。Li Ting等^[6]研究发现碱性盐增强了面条的断裂力。这些研究多集中在盐或碱对面团及面条宏观品质的影响探究, 而目前关于盐碱面条的口感和风味是怎样形成的系统研究还很少, 对于造成其品质差异的内在原因仍不清楚。由于缺乏系统的对比研究, 生产厂家在如何选择盐碱作为配料以及如何确定添加量上存在着一定的盲目性和随意性, 甚至使得添加效果适得其反。

本研究以典型食用盐碱NaCl和K₂CO₃为研究对象, 系统探讨盐和碱对面条宏观品质与微观特征的影响, 并探讨造成其品质和风味差异的内在机制, 以期工业化生产提供理论指导与科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

香雪高筋特精粉, 购买于中粮集团有限公司, 其蛋白质、脂肪、碳水化合物质量分数分别为9.2%、1.4%及74.0%。氯化钠、碳酸钾、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、溴化钾、二硫苏糖醇等购于国药集团化学试剂有限公司, 所有化学品和试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

粉质拉伸仪 德国布拉本德有限公司; RVA4500快速黏度分析仪 澳大利亚Perten公司; JMTD-168/140试验型面条机 北京东方孚德技术发展有限公司; CR-400型色差仪 日本柯尼卡·美能达公司; TA-XT2i食品物性分析仪 英国Stable Micro Systems有限公司; JSM-7500F扫描电子显微镜 日本电子株式会社; FlavourSpec[®]风味分析仪 德国G.A.S.有限公司; 7890B-5977A气相色谱-质谱联用仪 美国Agilent公司; 紫外分光光度计 上海元析仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 实验分组与设计

实验共有5个分组: 对照组为不添加盐和碱的面粉及其制成的面条, 实验组分别为添加1%、2% NaCl和0.5%、1% K₂CO₃的面粉及其制成的面条。部分面条样品冷冻干燥后磨成粉备用。

1.3.2 指标测定

1.3.2.1 面团粉质拉伸特性的测定

面团的粉质参数按照ICC115/1标准方法, 采用布拉本德粉质仪进行测定。首先将相应质量的小麦粉加入到粉质仪的搅拌钵中, 搅拌钵温度保持在(30±0.2)℃。然后将水手动加入到搅拌钵中, 测定小麦面团的粉质特性。NaCl和K₂CO₃溶解在蒸馏水中于30℃水浴保温。

用粉质仪和面5 min, 称取150 g面团, 采用ICC114/1标准方法进行拉伸实验。将面团放在成型单元上揉圆并搓成标准的圆柱形, 置于30℃醒发室中醒发45 min, 测定面团的延伸性和拉伸阻力。

1.3.2.2 面粉糊化特性的测定

参照AACC76-21的方法, 采用快速黏度分析仪测定盐和碱对小麦粉糊化特性的影响。根据小麦粉含水量称取一定质量的小麦粉于快速黏度分析专用铝盒中, 将小麦粉质量1%、2%的NaCl和0.5%、1%的K₂CO₃分别加入到铝盒中, 使用塑料搅拌桨将样品搅拌均匀, 按照设定的标准程序测定样品的糊化特性。

1.3.2.3 面条的制作

采用Kitchen Aid搅拌机将100 g面粉和34 mL水充分混合。NaCl和K₂CO₃提前溶解在蒸馏水中。搅拌时先快速搅拌2 min, 然后慢速搅拌5 min。搅拌后的面絮置于

自封袋中静置熟化20 min后用实验型面条机进行压片切条, 制得1 mm宽, 0.9 mm厚的面条。

1.3.2.4 面条蒸煮特性的测定

吸水率测定: 取20根长为20 cm的面条, 在电子分析天平上称量(M_1)。放入500 mL沸水中(始终保持水处于微沸状态), 煮至其最佳蒸煮时间, 捞出面条并用滤纸吸干表面多余水分, 称量(M_2)。计算公式如下:

$$\text{面条吸水率}/\% = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100$$

蒸煮损失评价: 将测完面条吸水率的面汤静置冷却至室温, 转入500 mL容量瓶中定容混匀, 取50 mL面汤倒入烧杯中。用紫外-可见分光光度计测其吸光度, 波长设置为675 nm, 用吸光度表征蒸煮损失变化。

1.3.2.5 面条质构特性的测定

取长度为10 cm的面条30根, 放入500 mL沸水中, 煮至最佳蒸煮时间, 用滤纸吸去表面多余水分, 然后进行面条质构特性的测定^[12]。采用P-36R型探头在TPA模式下测定面条的硬度和弹性, 测试前、中、后速率均为0.8 mm/s, 形变量为75%, 感应力为5 g, 两次压缩间隔时间为1 s。用A/SPR型号探头测定面条的拉伸特性, 拉伸前距离为50 mm, 拉伸距离为100 mm, 测试速率为2 mm/s。用A/LKB型号探头测定面条的最大剪切力, 形变量为75%, 测试速率为1 mm/s, 感应力为5 g。

1.3.2.6 面条贮藏稳定性的评价

菌落总数测定按GB/T 4789.2—2010《食品微生物学检验 菌落总数测定》进行; 色泽的变化用色差仪进行测定, 将切条前的面带剪成7 cm×7 cm面片, 5 min内测定其颜色, 然后每隔12 h测定其色泽变化, 记录 L^* 、 a^* 、 b^* 值。

1.3.2.7 面条微观结构的变化

采用扫描电子显微镜对盐碱面条的表面进行观察。样品用2.5%的戊二醛溶液过夜固定, 用0.1 mol/L的磷酸盐缓冲液冲洗4次, 然后再用1%的四氧化锇固定1.5 h, 用磷酸盐缓冲液冲洗4次后, 用不同体积分数乙醇溶液(30%、50%、70%、90%和100%)各冲洗5 min, 然后用乙酸异戊酯置换出乙醇。之后将样品进行临界点干燥, 干燥后的样品用导电胶黏在样品台上, 并用离子溅射喷金在样品表面均匀包裹一层金颗粒(喷金3次, 每次10 min), 放大倍数为300倍。

1.3.2.8 十二烷基硫酸钠-聚丙烯酰胺凝胶电泳(sodium dodecyl sulphate-polyacrylamide gel electrophoresis, SDS-PAGE)

取50 mg冷冻干燥后粉碎的面条样品溶于1 mL pH 6.8的Tris-HCl上样缓冲液(0.05 mol/L, 含2 g/100 mL SDS、

质量分数10%的甘油、0.1 g/100 mL溴酚蓝)中, 充分溶解后沸水浴5 min, 8 000×g离心5 min。分别吸取7 μL上清液于进样孔中, 采用12%分离胶(pH 8.3)及5%浓缩胶(pH 6.8)进行分离。还原电泳样品溶液中含5% (体积分数) 2-巯基乙醇。电压维持在100 V, 溴酚蓝指示剂迁移至胶底时停止电泳。取下凝胶进行染色和脱色, 采用凝胶成像仪观察样品条带。

1.3.2.9 面条风味成分的测定

采用气相色谱-离子迁移谱联用技术测定新鲜面条样品中的挥发性成分。称取3 g样品置于20 mL顶空玻璃取样瓶中, 50 °C孵育15 min后进样800 μL, 进样针温度为85 °C。为避免样品交叉污染, 每次分析前用气态氮气自动冲洗注射器2 min。用N₂将样品送入MXT-5色谱柱(15 m×0.53 mm, 1 μm, 60 °C)中, 气相色谱条件: E1(漂移器流速)150 mL/min, E2(载气流速)0~2 min保持2 mL/min, 2~20 min线性升温至100 mL/min。分析物在45 °C的离子质谱电离室中电离。

以 n -ketones C₄~C₉为外标, 计算了挥发性化合物的保留指数。通过比较气相色谱-离子迁移谱文库中标准物质的保留指数和漂移时间鉴定挥发性化合物。

1.4 数据处理

所有数据均为至少重复3次以上的平均值, 采用OriginPro 2022和Excel 2019软件进行数据处理, SPSS 16.0进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 盐和碱对面团粉质拉伸特性的影响

如表1所示, 添加食用盐显著降低了面团的吸水率, 而碱使面团吸水率增加。在和面过程中, 由于食盐的静电排斥作用, 导致面团中蛋白质表面电荷降低, 静电斥力减弱, 使面筋蛋白可以更好地聚集; 另外由于盐的强渗透压作用, 和面时面粉吸水加快并迅速形成网络。由于NaCl的这些作用使面粉吸水均匀且容易形成黏弹性的面团, 从而降低了面团的吸水率。而添加碱后使得面团pH值升高, 高于蛋白质等电点后使得蛋白溶解度增加, 蛋白展开, 从而造成了其吸水率增加; 另外, 碱也可能引起淀粉溶解性增加, 导致吸水率增加。部分研究得到和本研究相同的吸水率变化, 但对于变化的原因并没有进行系统详细的解释^[13-15]。

面团的形成时间和稳定时间是评价面团品质的重要指标, 多与煮后面条的质构品质呈正相关^[16]。添加2% NaCl和0.5% K₂CO₃显著增加了面团的形成时间, 而不同添加量的盐和碱均使稳定时间显著延长, 这主要是

因为盐和碱促进了面筋蛋白的聚合, 增强了面筋强度, 面团耐搅拌能力增强, 使得面团弹性和韧性增加。添加0.5% K_2CO_3 的样品稳定时间延长至10.2 min, 而添加量增加至1%时又明显下降, 这是由于过量的碱导致面筋聚集迅速^[17-18], 反而不利于网络结构的充分形成, 降低了面团的耐搅拌性能。范会平等^[19]研究认为过度添加碱反而会导

表1 食用盐碱对小麦面团搅拌和拉伸特性的影响

Table 1 Effects of salt and alkali on the farinograph and extensograph properties of wheat dough

食用盐碱	吸水率/%	形成时间/min	稳定时间/min	延伸性/mm	最大拉伸阻力/FU
空白	58.9±0.3 ^b	2.4±0.1 ^a	2.5±0.1 ^a	110.0±12.0 ^c	284.0±11.3 ^a
1% NaCl	56.8±0.3 ^a	2.5±0.1 ^a	3.6±0.2 ^b	121.5±3.5 ^c	479.5±2.1 ^b
2% NaCl	56.1±0.3 ^a	3.3±0.4 ^b	6.5±0.5 ^c	130.5±0.7 ^d	522.0±22.6 ^c
0.5% K_2CO_3	60.3±0.2 ^c	4.4±0.1 ^c	10.2±0.1 ^d	82.0±2.8 ^a	845.0±41.0 ^d
1% K_2CO_3	61.1±0.1 ^c	2.4±0.3 ^a	3.9±0.1 ^b	98.0±9.2 ^b	731.0±9.9 ^d

注: 同列小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$), 下同。

如表1所示, 添加盐使面团的延伸性和拉伸阻力均显著提高; 而添加0.5% K_2CO_3 使面团最大拉伸阻力明显增加, 但其延伸距离显著降低, 可初步推测食用碱主要作用于麦谷蛋白组分, 使面团韧性和强度增加, 而使其整体延伸性下降; 而盐主要是增强了面团的延伸性。拉伸特性也从侧面反映了煮后盐碱面条在质构和口感上的差别。

2.2 盐和碱对面粉糊化特性的影响

小麦粉糊化黏度的测定对预测面条产品品质具有较高的实际应用价值, 据报道, 黏度参数与中式及日式面条的蒸煮和质构品质有良好的相关性^[20-21]。不同添加量的盐和碱对面粉中淀粉糊化特性的影响如表2所示。添加NaCl对淀粉的糊化温度、峰值黏度、衰减值均无显著影响。郇美丽等^[15]认为, NaCl的存在影响淀粉-水相互作用, 在过量水及低盐浓度下, 水的可用性不再是限制因素。而熊小青等^[22]研究发现添加2%的NaCl后, 小麦淀粉的糊化温度有所提高, 将其归因于盐溶液的渗透压影响了淀粉分子和水分子的相互作用。小麦品种或淀粉糊浓度的不同可能导致研究结果中糊化特性的差异。另外, 添加2%的NaCl使淀粉回生值有所下降, 这可能是由于高浓度的盐与淀粉中羟基作用增强, 从而抑制了淀粉的回生^[22]。添加0.5%和1% K_2CO_3 使淀粉糊化温度分别由69.1 °C升高到74.0 °C和89.3 °C, 这说明碱抑制了淀粉与水的相互作用, 提高了其吸水膨胀的温度。碱的添加也会促进淀粉峰值黏度、谷值黏度和最终黏度的增加, 这一方面由于碱的存在增强了淀粉的膨胀能力, 另一方面也与面筋蛋白结构的改变有关。另外碱也降低了淀粉的

衰减值, 说明其提高了淀粉糊的热稳定性。通常峰值黏度高的小麦粉所制备的面条具有优越的食用品质。

表2 食用盐碱对小麦粉淀粉糊化特性的影响

Table 2 Effects of salt and alkali on the starch viscosity properties of wheat flour

食用盐碱	糊化温度/°C	峰值黏度/cP	谷值黏度/cP	最终黏度/cP	衰减值/cP	回生值/cP
空白	69.1±0.7 ^a	2 072.0±10.0 ^a	1 506.0±30.0 ^b	2 673.0±31.5 ^b	566.0±40.0 ^c	1 157.5±44.5 ^c
1% NaCl	67.9±1.5 ^a	2 034.0±23.0 ^a	1 442.5±49.5 ^a	2 602.5±19.5 ^a	591.5±26.5 ^c	1 154.5±40.5 ^c
2% NaCl	69.9±0.2 ^a	2 089.0±39.0 ^a	1 540.0±50.0 ^b	2 653.0±22.0 ^b	549.0±11.0 ^c	1 093.0±18.0 ^c
0.5% K_2CO_3	74.0±0.1 ^b	2 421.5±18.5 ^d	2 045.0±7.0 ^d	3 147.0±26.0 ^d	376.5±25.5 ^b	1 104.0±3.0 ^b
1% K_2CO_3	89.3±0.3 ^c	2 204.0±2.0 ^b	1 885.5±7.5 ^c	3 004.5±30.0 ^c	318.5±5.5 ^a	1 138.0±3.0 ^b

2.3 盐和碱对面条蒸煮特性的影响

如图1所示, 盐和碱对面条吸水率有不同程度的提高, 其中添加0.5% K_2CO_3 的面条吸水率显著增加。盐和碱均使面筋网络结构增强, 分子聚合度增加, 其中碱还增强了小麦粉淀粉的溶胀能力, 因此导致面条蒸煮时能够吸收更多的水。与空白相比, 添加盐或碱都会导致面条蒸煮过程中的蒸煮损失。当 K_2CO_3 添加量为1%时, 其蒸煮损失是空白的1.2倍。这一方面是由于盐碱本身及一些盐溶性/碱溶性蛋白的溶出, 另一方面, 过量碱引起的面筋蛋白网络对淀粉颗粒较稀疏的包裹方式也是导致淀粉溶出的重要原因。

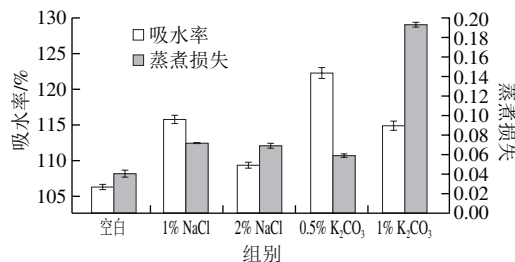


图1 食用盐碱对面条吸水率和蒸煮损失的影响

Fig. 1 Effects of salt and alkali on water absorption and cooking loss of noodles

2.4 盐和碱对面条质构特性的影响

如图2所示, 碱的加入明显增强了煮后面条的硬度、拉断力与最大剪切力, 加盐后面条拉伸距离显著增加, 而加碱则降低了其拉伸距离, 这与盐碱对面团拉伸特性的影响规律类似; 盐和碱均使面条弹性有所增加。由以上结果可知, 盐碱诱导了不同模式的面条质构。由于盐的渗透作用, 和面时促进了面筋网络的形成, 一定含量的盐离子强化了面筋网络, 增强了面条的拉断力和延伸能力。碱存在下, 促进了面团中二硫键的生成, 增加了面筋蛋白之间的交联, 面筋网络韧性增加, 从而使面条拉断力和硬度显著增加。但是这种强烈的强筋作用, 也导致面条延伸性减弱。因此, 盐碱面条也呈现出不同的口感, 加盐面条柔软有弹性, 加碱面条较硬有嚼劲。

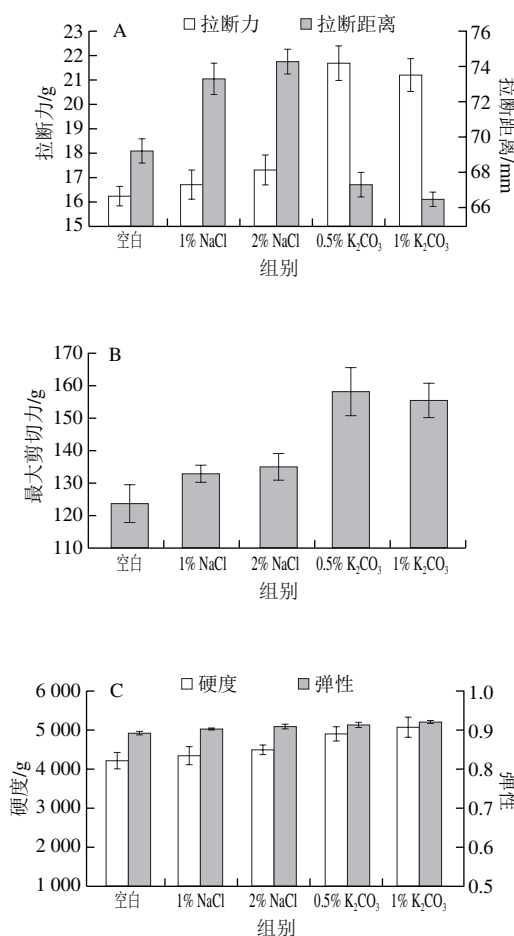


图2 食用盐碱对煮后面条质构特性的影响

Fig. 2 Effects of salt and alkali on the texture characteristics of cooked noodles

2.5 盐和碱对面条颜色和贮藏稳定性的影响

面条色泽是评价面条品质的重要指标。采用色差仪测定的面片颜色值中 L^* 代表亮度指数(0代表黑色, 100代表白色), a^* 代表红绿色值, b^* 代表黄蓝色值, 其中 L^* 值的下降可表征面条的褐变^[23]。首先, 从图3A可以看出, 添加盐使面条 L^* 值增加, 而对 b^* 值无显著影响。添加碱后 b^* 值显著增加, 相对于空白和白盐面条, 碱面条整体呈现亮黄色, 这是由于碱与面粉中黄酮类化合物反应而形成。其次, 贮藏过程中, 加盐能够显著抑制 L^* 值的下降, 延缓生鲜面条的褐变, 而加碱则加速了面片褐变; 这主要与加碱后引起的面条pH值的改变有关, 添加0.5% K_2CO_3 后面条pH值为8.5, 接近面条基质中多酚氧化酶的最适pH值, 因此0.5%碱面条24 h内褐变程度最大。添加盐和碱后生鲜面条中菌落总数的增加均得到显著抑制, 其中添加2% NaCl由于渗透压的增加, 抑制效果最明显。对碱面条而言, 1% K_2CO_3 样品由于pH值较高(9.7), 对微生物的抑制作用更明显。

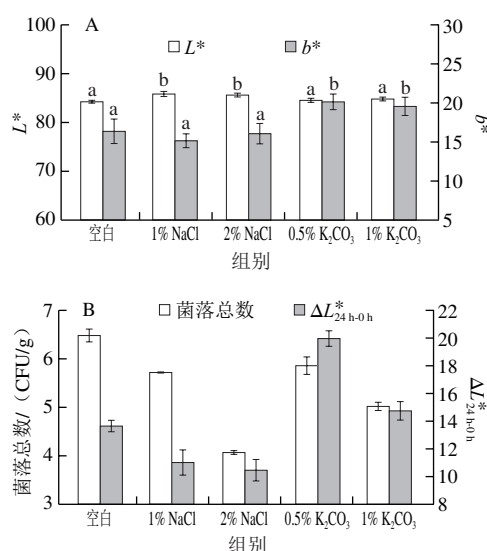
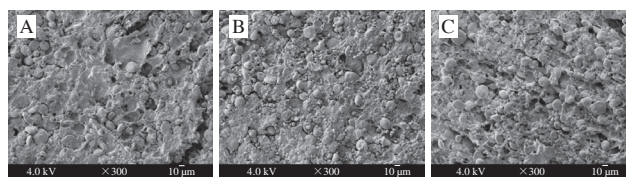


图3 食用盐碱对生鲜面条色泽(A)和贮藏稳定性(B)的影响

Fig. 3 Effects of salt and alkali on the color (A) and storage stability (B) of fresh noodles

2.6 盐和碱对面条微观结构的影响

面筋网络结构是决定小麦面团物理和化学性质的重要基础, 面团的微观网络结构决定其宏观品质^[24]。空白样品表面面筋网络结构均匀统一(图4A), 添加盐的面条样品表面(图4B)比空白样品更致密, 更光滑, 这有助于白盐面条形成更好的外观和更光滑的口感^[25]。而加碱面条(图4C)的表面较为粗糙, 有明显的凹陷, 这可能是由于强面筋网络的迅速形成, 导致表面连接较少, 这也解释了加碱面条蒸煮损失明显增加的原因。



A、B、C分别为空白、2% NaCl、0.5% K₂CO₃面条。

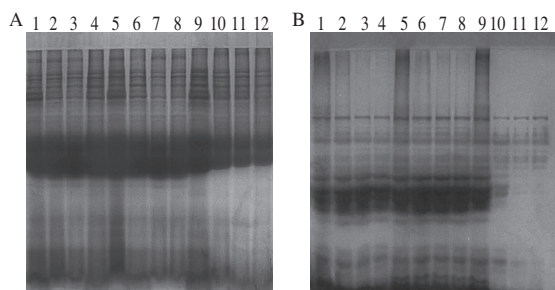
图4 盐碱面条表面扫描电子显微镜图

Fig. 4 Scanning electron micrographs of the surface of salted and alkaline noodles

2.7 盐和碱对蒸煮过程中面条蛋白质聚合的影响

如图5A所示, 随着蒸煮时间的延长, 3组面条样品蛋白条带颜色均逐渐变浅, 特别是高相对分子质量区域, 说明加热引起了蛋白聚合, 导致其在SDS溶液中的提取率下降; 对于添加碱的面条样品, 蒸煮1 min后高相对分子质量区域蛋白条带已几乎消失, 低相对分子质量区域明显变浅, 说明加碱后面条中蛋白质对温度更加敏感, 蒸煮过程中聚合迅速且聚合程度更高。Basman

等^[26]认为面团中面筋网络的形成主要依赖于二硫键的交联作用,在加热、挤压等强烈作用下,二硫键迅速形成,使蛋白发生聚合。本研究还原模式下各组样品蛋白电泳条带差别不明显,仅加碱4 min样品条带颜色略浅(图5B),可以推测加热导致的盐碱面条中蛋白质提取率下降的主要原因是二硫键聚合,而碱会促进这一聚合作用,这一结果能够进一步解释加碱面条煮后硬度和拉伸力的显著增加。



1~12依次代表加盐面条蒸煮0、1、2、4 min,空白面条蒸煮0、1、2、4 min以及加碱面条蒸煮0、1、2、4 min。

图5 盐碱面条蒸煮过程中蛋白质还原(A)、非还原(B)电泳模式变化

Fig. 5 Effects of salt and alkali on reducing (A) and non-reducing (B) SDS-PAGE patterns of proteins in noodles during cooking

2.8 盐和碱对面条风味形成的影响

如图6所示,红色越深,说明与空白对照相比,实验组样品对应物质浓度越高;蓝色越深则反之。可以看出,加盐面条和对照样品间物质含量差异较小,而加碱面条较空白样品挥发组分浓度差异则较大。

如图7所示,行代表一个样品的挥发性成分组成;列代表某种挥发性物质在不同样品中的信号峰;信号峰的颜色明暗代表该物质的浓度高低。与图6结果一致,基于主要挥发组分的主成分分析结果中的欧式距离表明(图8),空白和加盐面条之间风味物质的组成及含量

相对接近,而与加碱面条之间的差异则较大。其中,甲酸乙酯、乙酸乙酯、丙酸丁酯等在空白样品中的含量最高(红框所示);2-甲基丁醛、3-甲基丁醛、2-戊基呋喃等在加碱面条中含量最高(绿框所示);苯甲醛、辛醛、壬醛、(E)-2-戊烯醛、(E)-2-己烯醛、戊醛、己醛、戊醇、己醇、戊酮、庚酮、丙酸、己酸、环己酮、1-辛烯-3-醇等大量挥发性成分则在加盐面条中含量较高(黄框所示)。虽加盐面条较对照样品中浓度增加组分种类多,但均为空白样品中的原有组分且浓度变化幅度不大,而加碱面条中浓度增加组分多为新生成挥发性物质,其中直链脂肪酸2-甲基丁醛和3-甲基丁醛具有强烈的麦芽和酵母香气,是蛋白水解和氨基酸(异亮氨酸和亮氨酸)降解产物,它们是很多食品,包括发酵和非发酵(热处理)产品中的重要风味化合物^[27-28]。2-戊基呋喃具有豆香和焦糖香气,是燕麦片中主要香气贡献组分,该物质是亚油酸的氧化产物^[29-30]。综上所述,碱处理后上述3种组分的大量生成是黄碱面条独特面香的主要物质来源,但气相色谱-离子迁移谱结果仅从挥发物组分构成的角度阐述不同处理后面条不同风味的可能原因,今后需采取以感官为导向的现代分子感官科学技术手段准确揭示加碱面条独特风味化学本质。

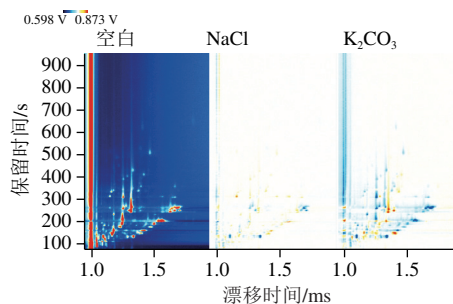


图6 盐碱面条中挥发性物质成分对比差异图

Fig. 6 Analysis of differential volatile compounds between salted and alkaline noodles

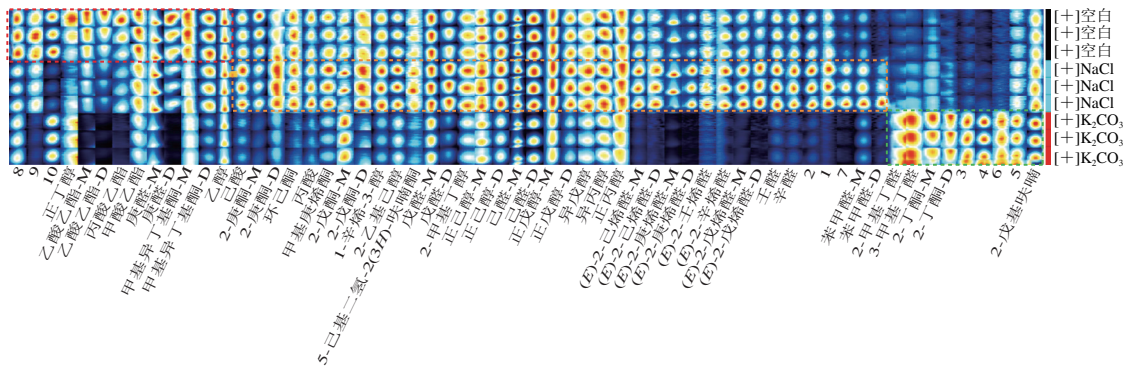


图7 盐碱面条中挥发性成分Gallery Plot指纹谱图

Fig. 7 Gallery plot fingerprint of volatile compounds in salted and alkaline noodles

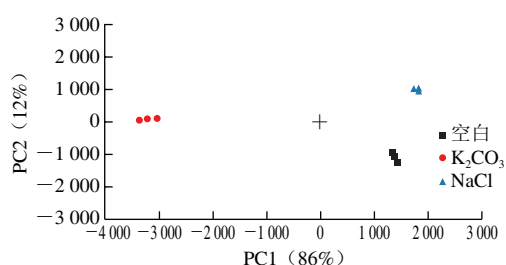


图8 盐碱面条中挥发性成分聚类分析

Fig. 8 Cluster analysis of volatile compounds in salted and alkaline noodles

3 结论

对比研究NaCl和K₂CO₃对面条品质特性的影响，并探究其品质差异的内在机制。盐和碱对面团粉质拉伸特性，面条质构特性和风味有显著差异。通过测定淀粉的糊化特性、面团中面筋网络的形态、蛋白质相对分子质量分布、挥发性成分的种类和浓度，探讨了面条宏观品质变化及其差异的内在机理。NaCl提高了面条的延伸性和弹性，诱导了光滑的表面微观结构，赋予面条爽滑的口感，增加了面条中挥发性成分的浓度，加强了面条本身的风味。K₂CO₃使面条的拉断力和硬度显著增加，增强了面筋强度，诱导了更加粗糙的表面结构，促进了蒸煮过程中蛋白质的聚合，使面条产生了新的醛类化合物，完全改变了面条的风味，赋予面条特殊的香气。本研究对盐和碱面条的品质差异进行了科学解答，系统探讨和揭示了盐和碱改善面条品质的调控作用和内在机制，为工业化生产提供了理论依据。

参考文献:

[1] 罗云, 冯鹏, 朱科学, 等. 蛋清粉对小麦粉及挂面品质的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(19): 39-43. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201519007.

[2] LU H Y, YANG X Y, YE M L, et al. Culinary archaeology: millet noodles in late Neolithic China[J]. Nature, 2005, 437: 967-968. DOI:10.1038/437967a.

[3] FU B X. Asian noodles: history, classification, raw materials, and processing[J]. Food Research International, 2008, 41(9): 888-902. DOI:10.1016/j.foodres.2007.11.007.

[4] XU M, HOU G G, DING J Z, et al. Comparative study on textural and rheological properties between dry white salted noodle and yellow alkaline noodle as influenced by different tea extracts[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2020, 44(12): 1-13. DOI:10.1111/jfpp.14981.

[5] 楚炎沛. 碱性条件对面条品质特性影响的研究[J]. 粮油食品科技, 2004, 12(5): 7-9. DOI:10.16210/j.cnki.1007-7561.2004.05.003.

[6] LI T, GUO X N, ZHU K X, et al. Effects of alkali on protein polymerization and textural characteristics of textured wheat protein[J]. Food Chemistry, 2018, 239: 579-587. DOI:10.1016/j.foodchem.2017.06.155.

[7] CHEN G J, EHMKE L, MILLER R, et al. Effect of sodium chloride and sodium bicarbonate on the physicochemical properties of soft wheat flour doughs and gluten polymerization[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2018, 66(26): 6840-6850. DOI:10.1021/acs.jafc.8b01197.

[8] WANG J R, GUO X N, XING J J, et al. Revealing the effect mechanism of NaCl on the rheological properties of dough of Chinese traditional hand-stretched dried noodles[J]. Food Chemistry, 2020, 320: 126606. DOI:10.1016/j.foodchem.2020.126606.

[9] FAN H P, FU F, CHEN Y H, et al. Effect of NaCl on rheological properties of dough and noodle quality[J]. Journal of Cereal Science, 2020, 93: 102936. DOI:10.1016/j.jcs.2020.102936.

[10] TAN H L, TAN T C, EASA A M. Effects of sodium chloride or salt substitutes on rheological properties and water-holding capacity of flour and hardness of noodles[J]. Food Structure, 2020, 26: 100154. DOI:10.1016/j.foostr.2020.100154.

[11] FAN H P, AI Z L, CHEN Y H, et al. Effect of alkaline salts on the quality characteristics of yellow alkaline noodles[J]. Journal of Cereal Science, 2018, 84: 159-167. DOI:10.1016/j.jcs.2018.10.007.

[12] 蔡攀福, 李冰, 梁毅, 等. 魔芋葡甘聚糖对面条品质及其淀粉体外消化的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(5): 8-13. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201805002.

[13] 楚炎沛. 碱性条件对面团流变学品质特性影响作用的研究[J]. 食品科技, 2004, 29(3): 83-85. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2004.03.036.

[14] 王冠岳, 陈洁, 王春, 等. 氯化钠对面条品质影响的研究[J]. 中国粮油学报, 2008, 23(6): 184-187. DOI:CNKI:SUN:ZLYX.0.2008-06-039.

[15] 邹美丽, 解树珍, 张智勇, 等. 氯化钠对面粉特性及面条品质的影响研究进展[J]. 现代食品, 2020(20): 22-26. DOI:10.16736/j.cnki.cn41-1434/ts.2020.20.008.

[16] FU L, TIAN J C, SUN C L, et al. RVA and farinograph properties study on blends of resistant starch and wheat flour[J]. Agricultural Sciences in China, 2008, 7(7): 812-822. DOI:CNKI:SUN:ZG NX.0.2008-07-005.

[17] 张丽丽, 关二旗, 李萌萌, 等. 碱、盐存在下添加小麦蛋白对面条加工品质的影响及其机制探讨[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2022, 43(1): 42-48. DOI:10.16433/j.1673-2383.2022.01.006.

[18] JIA S Q, JIAN C, DAI Y Y, et al. Effect of potassium carbonate on rheological properties of dough and its mechanism[J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 152: 112335. DOI:10.1016/j.lwt.2021.112335.

[19] 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. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.015273.

[20] ZHANG S B, LU Q Y, YANG H S, et al. Effects of protein content, glutenin-to-gliadin ratio, amylose content, and starch damage on textural properties of Chinese fresh white noodles[J]. Cereal Chemistry, 2011, 88(3): 296-301. DOI:10.1094/CCHEM-05-10-0072.

[21] KONIK C M, MISKELLY D M, GRAS P W. Contribution of starch and non-starch parameters to the eating quality of Japanese white salted noodles[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1992, 58(3): 403-406. DOI:10.1002/jsfa.2740580315.

[22] 熊小青, 车瑞彬, 李利民, 等. 氯化钠对5种不同植物来源淀粉糊特性的影响[J]. 粮食与油脂, 2020, 33(2): 50-55. DOI:CNKI:SUN:LS YY.0.2020-02-015.

[23] 张影全, 张波, 魏益民, 等. 面条色泽与小麦品种品质性状的关系[J]. 麦类作物学报, 2012, 32(2): 344-348. DOI:CNKI:SUN:ML ZW.0.2012-02-031.

[24] 李真. 大麦粉对面团特性与面包烘烤品质的影响及其改良剂研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2014: 20-26.

[25] OBADI M, ZHANG J, XU B. The role of inorganic salts in dough properties and noodle quality: a review[J]. Food Research International, 2022, 157: 111278. DOI:10.1016/j.foodres.2022.111278.

[26] BASMAN A, YALCIN S. Quick-boiling noodle production by using infrared drying[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 106(3): 245-252. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2011.05.019.

[27] TOLDRA F. Proteolysis and lipolysis in flavour development of dry-cured meat products[J]. Meat Science, 1998, 49: S101-S110. DOI:10.1016/S0309-1740(98)90041-9.

[28] SMIT B A, ENGELS W J M, SMIT G. Branched chain aldehydes: production and breakdown pathways and relevance for flavour in foods[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2009, 81(6): 987-999. DOI:10.1007/s00253-008-1758-x.

[29] KLENSPORF D, JELEŇ H H. Effect of heat treatment on the flavor of oat flakes[J]. Journal of Cereal Science, 2008, 48(3): 656-661. DOI:10.1016/j.jcs.2008.02.005.

[30] LEHTINEN P. Reactivity of lipids during cereal processing[D]. Helsinki: Helsinki University of Technology, 2003.