

DOI: 10.12131/20210334

文章编号: 2095-0780-(2022)02-0090-08

卡拉胶对低钠面条品质的影响

胡子宁, 麦世学, 鲁 伟, 方亚鹏

上海交通大学 农业与生物学院食品科学与工程系, 上海 200240

摘要: 为探究海藻多糖卡拉胶的添加对低钠面条感官特性及整体品质的影响, 制备了含有不同配方低钠盐的面条样品, 对其进行感官评定实验, 并分析了面条的色度、最佳蒸煮时间、质构、微观结构等。结果显示, 卡拉胶的添加有效掩盖了氯化钾 (KCl) 添加带来的金属苦涩味。卡拉胶对面条的最佳蒸煮时间无显著影响 ($P>0.05$), 但一定程度上改变了蒸煮后面条的色泽, 同时提高了面条的硬度、弹性和咀嚼性。扫描电镜分析显示, 添加卡拉胶的面条, 蒸煮后结构更为致密, 而卡拉胶对蒸煮前面条的微观结构无明显影响。结果表明, 卡拉胶可在不破坏面条品质的基础上改善KCl替代盐使用带来的苦味, 在面条中实现高效减盐 (最高50%), 为KCl替代盐在食品中的广泛应用提供了新思路。

关键词: 卡拉胶; 减盐; 面条; 氯化钾替代盐; 苦味掩盖

中图分类号: TS 213.2

文献标志码: A

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



Effect of carrageenan on quality of low-sodium noodles

HU Zining, MAI Shixue, LU Wei, FANG Yapeng

Department of Food Science and Engineering, School of Agriculture and Biology, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China

Abstract: To study the effect of seaweed polysaccharide carrageenan on the sensory properties and overall quality of low-sodium noodles, we designed the noodles containing low-sodium salts with different formulas and carried out a sensory evaluation experiment, so as to analyze the color, cooking time, texture and microstructure of the noodles. The results show that the addition of carrageenan covered the metallic bitterness caused by potassium chloride in noodles effectively. Carrageenan showed no significant influence on the optimal cooking time of noodles ($P>0.05$), but changed the color of noodles after the noodles having been cooked to a certain extent and improved the hardness, springiness and chewiness of noodles. Scanning Electron Microscope (SEM) analysis demonstrates that carrageenan made the microstructure of noodles more compacted after the cooking but did not show obvious influence on the microstructure of noodles before the cooking. The results suggest that carrageenan can reduce the bitterness caused by potassium chloride salt substitute but maintain the quality of noodles, achieving a high-efficiency salt reduction (up to 50%) in noodles, which proposes a new idea for the potassium chloride-based salt substitutes in food industry.

Keywords: Carrageenan; Salt reduction; Noodles; Potassium chloride; Bitterness covering

氯化钠 (NaCl) 是食盐的主要成分, 也是食品加工和日常烹饪中主要的咸味剂。近年来, 高盐饮食对人体健康带来的一系列危害受到全球广泛关

注。高盐饮食可诱发高血压、中风及诸多心血管疾病。这些心血管疾病每年造成约 1 800 万人死亡, 占全球饮食因素相关死亡人数的三分之一^[1-3]。最

收稿日期: 2021-11-06; 修回日期: 2021-12-30

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2019YFD0901905); 上海交通大学“深蓝计划”面上项目 (SL2020MS024)

作者简介: 胡子宁 (1998—), 男, 硕士研究生, 研究方向为食品胶体减盐技术。E-mail: huzining@sjtu.edu.cn

通信作者: 鲁 伟 (1982—), 男, 副研究员, 博士, 从事食品胶体相关基础与应用基础研究。E-mail: wei.lu@sjtu.edu.cn

新研究数据显示, 仅 2017 年, 钠 (Na) 的过量摄入引起的死亡人数多达 300 万, 可见高盐饮食已成为全球最大的膳食危害之一^[1]。世界卫生组织 (WHO) 建议成人 Na 摄入量低于 $2\text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$ (相当于 $5\text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$ 的食盐)^[4], 然而在亚洲国家、美国和英国, 盐的平均摄入量分别为 12、8.8 和 $9.4\text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$ ^[5], 远高于满足基本生理功能所需的量 ($3\sim 5\text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$)^[6]。因此, 食品减盐, 势在必行。

面条是我国重要的主食品类, 在中国民众的主食消费中占有重要地位。面条已有 4 000 年历史, 种类超过 1 000 种^[7]。食盐是面条原料的重要成分之一^[8], 对于面条的品质具有重要作用: 1) 影响面团中的面筋。NaCl 可以增强面团的延展性, 同时也会影响面团的流变特性。NaCl 的添加可以收敛面筋, 增加其黏弹性, 减少断条, 且在面条的烹饪过程中可以减少面筋的聚合程度^[9]。2) 影响面条小麦粉中的淀粉特性。NaCl 会影响淀粉的糊化特性。添加 NaCl 会使淀粉的糊化温度升高, 使其峰值黏度和最低黏度下降^[10]。而面条的峰值黏度与面条的颜色、外观、光滑度等感官指标呈显著或极显著正相关, 故 NaCl 可通过影响淀粉的糊化来改变面条的感官特性。3) 影响面条品质。NaCl 的添加可缩短面条最佳蒸煮时间, 但却容易造成蒸煮损失增加。此外, NaCl 会影响面条的质构, 提升面条的硬度、胶着性和咀嚼性^[11]。张雪松等^[12]对中国市场上常见预包装食品 Na 含量调查结果表明, 6 类主食品 (饼干、蛋糕、面包、面点、面条、粥/羹) 中, 面条类的平均 Na 含量最高, 属于高钠食品^[13]。最新市场调研数据显示, 目前市售面条的平均 Na 质量分数介于 $800\sim 1\,200\text{ mg}\cdot(100\text{ g})^{-1}$ 。而我国居民对面条等主食的消费频次高, 膳食摄入量较大; 因此, 降低面条等高钠主食类食品中的盐含量, 对于整个食品工业减盐具有重要意义^[14]。

目前, 有关面条的减盐研究已有相关报道。张可池等^[15]将植物油和两亲性的薏苡仁水提液冻干粉混合包裹于面粉表面, 并制得面条。该面条在煮制过程中, 薏苡仁水提液冻干粉能够使水在面条中深层渗入, 使得面条中的食盐大量溶出到面汤, 继而减少面条摄入过程的盐摄入量。然而, 对于食用面条时有同时食用面汤喜好的消费者, 该策略难以达到减盐目的。此外, 有研究探索了在面条中完全不添加食盐, 通过生产工艺的优化弥补面条品质上的损失。如李强等^[16]通过对面团的 2 次熟化和

2 次压延, 以及多次高低速切换的搅拌步骤, 增强了面团的延展性、弹性, 同时提升了面条的色泽和口感。但这种方法也显著增加了面条生产工艺的复杂程度、能耗及最终的生产成本, 工业化前景差。因此, 需要一种能够在不影响面条生产工艺和面条整体品质的前提下有效降低其 Na 含量的减盐策略。

食品工业中常使用氯化钾 (KCl)、氯化镁 (MgCl_2)、硫酸镁 (MgSO_4)、乳酸钙等替代部分 NaCl 进行减盐, 这些物质中的金属元素在元素周期表上与 Na 的位置相近, 具有相似的理化性质和感官特征。但 KCl 等替代盐的一个主要缺陷是其本身具有明显的金属苦涩味, 对食品味道产生负面影响的同时严重影响消费者的感官体验。目前掩蔽苦味的主要方法是使用蔗糖、甜菊糖等甜味剂或氨基酸衍生物等鲜味物质, 但这类方法容易引入新的呈味物质, 影响食品的原有风味^[17]。替代盐在低钠面条的生产中也有所应用, 已有研究主要将面条生产中添加的食盐换为替代盐, 并通过添加其他食用胶体来改善面条品质^[18-19]。但这些研究缺少替代盐添加对面条口味及整体感官的影响探究, 对可能产生的苦味及其改善方法也缺少报道。

基于上述研究背景, 本文尝试利用天然海藻多糖与金属离子的特异性结合作用, 改善 KCl 替代盐制备的低钠面条的苦味, 通过表征面条的色度、蒸煮时间、质构、微观结构及感官特性, 评估该多糖对面条整体品质的影响, 以期为新型低钠、高钾、高膳食纤维健康面条的开发提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料与设备

面粉 (质量分数: 小麦粉 74.6%, 蛋白质 9.5%, 脂肪 1.3%), 购于想念食品股份有限公司; NaCl、KCl, 国产分析纯 (国药集团化学试剂有限公司); κ -卡拉胶, 食品级 (浙江上方生物科技有限公司); ME2002 分析天平 (上海梅特勒-托利多有限公司); DF-101S 恒温加热磁力搅拌器 (予华仪器有限公司); B11-2 型恒温磁力搅拌器 (司乐仪器有限公司); IKA Eurostar 20 Digital 搅拌器 (德国 IKA 集团); HK-UP-111-40 纯水机 (浩康科技有限公司); 自动面条机 (美的集团股份有限公司); HP-2136 便携式色差仪 (谱熙光电科技有限公司); TA.XT plus C 质构仪 (超技仪器有限公司); SCIENTZ-18ND 冷冻干燥机 (新芝生物科技股份有限公司); Sirion 200 扫描电子显微镜 (美国 FEI 公司)。

1.2 实验方法

1.2.1 面条的制备

根据 NaCl、KCl、卡拉胶添加量的不同,共制备了 28 个面条样品,各组编号和配方如表 1 所示。配方设计依据为:1—4 号样品为含 0.5%~2.0% 纯 NaCl 的对照组面条;5—8 号、13—16 号、21—24 号 3 个集合的样品分别对应使用 KCl 替代 30%、40%、50% NaCl 的面条,各集合中的

表1 每100 g面条中氯化钠、氯化钾和卡拉胶添加量

Table 1 Additive amount of NaCl, KCl and carrageenan per 100 g noodles g

样品编号 Sample No.	氯化钠 Sodium chloride	氯化钾 Potassium chloride	卡拉胶 Carrageenan
1	0.500	0	0
2	1.000	0	0
3	1.500	0	0
4	2.000	0	0
5	0.350	0.150	0
6	0.700	0.300	0
7	1.050	0.450	0
8	1.400	0.600	0
9	0.350	0.150	0.045
10	0.700	0.300	0.090
11	1.050	0.450	0.135
12	1.400	0.600	0.180
13	0.300	0.200	0
14	0.600	0.400	0
15	0.900	0.600	0
16	1.200	0.800	0
17	0.300	0.200	0.060
18	0.600	0.400	0.120
19	0.900	0.600	0.180
20	1.200	0.800	0.240
21	0.250	0.250	0
22	0.500	0.500	0
23	0.750	0.750	0
24	1.000	1.000	0
25	0.250	0.250	0.075
26	0.500	0.500	0.150
27	0.750	0.750	0.225
28	1.000	1.000	0.300

4 个样品分别添加 0.5%~2.0% 盐 (NaCl & KCl); 9—12 号、17—20 号、25—28 号 3 个集合的样品分别对应添加 KCl 的基础上添加卡拉胶的面条。具体制备过程如下:根据各组面条配方称取相应质量的 NaCl、KCl 和卡拉胶,配制成均匀稳定的水溶液。将 NaCl、KCl、卡拉胶水溶液多次少量加入面粉,使面粉与水溶液的质量比为 100:33,一边加水,一边搅拌至呈细小颗粒絮状,随后将混合物放入自动面条机出面。

1.2.2 面条的蒸煮

取面条 40 根,放入盛有 600 mL 沸水(蒸馏水)的 2 L 烧杯中,煮面 5 min,立即将面条捞出,置于漏网中,在凉自来水中浸水 10 s,然后淋水 5 min,用于后续指标测定及感官评定。

1.2.3 面条色度的测定

参照胡瑞波等^[20]的评定方法,使用便携式色差仪测定蒸煮前、后的面条色度。根据以下公式计算面条色差:

$$\Delta E = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2}$$

式中: L_1^* 、 L_2^* 为蒸煮前、后明度; a_1^* 、 a_2^* 为蒸煮前、后红绿色度; b_1^* 、 b_2^* 为蒸煮前、后黄蓝色度。

1.2.4 面条最佳蒸煮时间的测定

参照吴迪等^[21]的评定方法,取大约 15 cm 长的面条放入盛有沸水的烧杯中,保持水的沸腾状态,每隔 10 s 取出一段面条,使用 2 块透明玻璃板轻轻按压面条,若中间发白硬芯消失,则该段面条的取出时间即为最佳蒸煮时间。

1.2.5 面条感官评定

选择经过培训的且具有感官评价知识的食品科学与工程专业学生 10 人,在检测前一天不抽烟、不喝酒,检测前用清水漱口,对蒸煮后的面条样品进行感官评定。每个样品评价间隔为 10 min,且每次评价完后用清水漱口。参加感官评价的人员按照表 2 所示的感官评价标准对面条的 7 个指标进行 1~9 分打分。标准中“好”对应 7~9 分,“中”对应 4~6 分,“差”对应 1~3 分。

1.2.6 面条质构特性的测定

参照孙彩玲等^[22]的评定方法,对蒸煮后的面条样品进行质构特性测定。具体测定条件:使用普通 TPA 探头,取 4 根长度约为 10 cm 的烹煮后面条并排置于载物台上,测前速率、测试速率、测后速率均设置为 $0.8 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$,压缩程度设置为 70%,数据采集速率为 400 pps,触发力度为 10 g。

表2 面条感官评定标准
Table 2 Standard of sensory evaluation for noodles

感官指标 Sensory index	评分标准 Standard for evaluation
色泽 Color	好: 面条呈现面粉本身色泽; 中: 面条接近面粉本身色泽; 差: 面条发白或发暗。
表观状态 Appearance	好: 面条表面紧密光滑; 中: 面条表面结构较细密; 差: 面条表面粗糙、严重变形。
适口性 Palatability	好: 面条口感硬度适中; 中: 面条口感稍硬或稍软; 差: 面条口感太硬或太软。
韧性 Toughness	好: 面条具有咬劲且富有弹性; 中: 面条咬劲和弹性适中; 差: 面条咬劲差、弹性不足。
爽口性 Gumminess	好: 面条咀嚼时不粘牙; 中: 面条咀嚼时稍粘牙; 差: 面条咀嚼时不爽口、发粘严重。
润滑度 Lubricity	好: 面条口感细腻润滑; 中: 面条口感较润滑; 差: 面条口感不润滑且粗糙。
品味 Taste	好: 面条无苦涩味; 中: 面条有轻微苦涩味; 差: 面条有明显苦涩味。

1.2.7 面条微观结构的测定

参照师俊玲等^[23]的评定方法, 对蒸煮前后的面条样品进行微观结构观察。将样品冷冻干燥, 选取面条横切截面为拍摄位点拍摄 3 000 倍扫描电镜图片。

1.3 数据分析方法

各实验重复 3 次, 结果以“平均值±标准偏差 ($\bar{X} \pm SD$)”表示。实验数据采用 Excel 2016 软件进行整理, 用 SPSS 24.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 卡拉胶添加对低钠面条色度的影响

盐的添加量对面条 L^* (明度) 有一定影响, 整体呈现随盐添加量的增加逐渐升高的趋势。添加了 KCl 的面条, 其蒸煮前的 L^* 高于纯 NaCl 组, 且随 KCl 含量的增加逐渐升高, 说明 KCl 可一定程度提升面条亮度 (表 3)。蒸煮后, 添加 KCl 面条的 L^* 低于纯 NaCl 组面条。面条色度的 a^* (红绿色度) 和 b^* (黄蓝色度), 蒸煮前后无明显变化规律。此外, 卡拉胶的添加, 未对面条色度指标 (L^* 、 a^* 、 b^*) 造成显著影响。对蒸煮前后各含盐量水平添加与不添加卡拉胶的面条进行整体色差分析 (表 4)。结果表明, 蒸煮前各样品色差相对较小, 而蒸煮后各样品色差显著高于蒸煮前, 不同含盐量水平无明显变化规律。可能由于高温蒸煮过程中水分进入面条内部, 卡拉胶少量溶出, 改变了面条的整体色泽。对同一面条样品, 其蒸煮后的 L^* 均显著低于蒸煮前 ($P < 0.05$), 可能原因是面条结构的破坏和蒸煮过程中发生的水渗透^[24]。

2.2 卡拉胶添加对低钠面条最佳蒸煮时间的影响

添加了 KCl 的面条, 其最佳蒸煮时间均高于

纯 NaCl 组 (表 5)。从总盐添加量角度发现随着添加量的增加, 面条最佳蒸煮时间呈下降趋势。主要原因是随着盐添加量的增加, 面粉本身的面筋强度增大, 而面条的面筋强度与最佳蒸煮时间呈高度负相关; 另外, 面条内部渗透压升高, 水分子进入面条内部的速度加快, 即面条吸水成熟时间缩短^[10,25]。添加卡拉胶的面条与未添加组相比, 蒸煮时间无显著性差异 ($P > 0.05$), 故卡拉胶的添加对面条的蒸煮时间无影响。

2.3 卡拉胶添加对低钠面条感官特性的影响

图 1 为 4 组不同盐含量面条的感官评定雷达图。对于相同的 KCl 添加量, 添加了卡拉胶的面条在“品味”这一指标上评分均高于未添加卡拉胶的面条。以盐质量分数为 1.0%, 使用 KCl 替代 30% NaCl 的面条为例, 使用了 KCl 替代盐 (0.4% KCl + 0.6% NaCl) 但未添加卡拉胶的面条, 其“品味”平均评分为 4.1, 而添加了卡拉胶的面条样品“品味”平均评分为 4.7 (图 1-b), 说明卡拉胶的添加有效降低了面条中 KCl 添加引起的苦涩味。此外, 添加卡拉胶的低钠面条, 其 Na 含量显著低于纯 NaCl 组 ($P < 0.01$), 且品味评分接近纯 NaCl 组。同样以盐质量分数为 2.0%, 使用 KCl 替代 50% NaCl 的面条为例, 纯 NaCl 组样品的“品味”平均评分为 6.9, 而使用 KCl 替代盐且添加卡拉胶样品的“品味”平均评分为 6.6 (图 1-d)。对于除“品味”外的其他感官指标, 卡拉胶的添加整体上能够提升面条的“色泽”、“表观状态”、“韧性”和“适口性”评分, 说明添加卡拉胶的低钠面条色泽较好、表面光滑紧实, 且有咬劲、富弹性。添加卡拉胶的面条在“润滑度”和“爽口性”评分上未显示出明显规律。使用 KCl 替代 30% NaCl 面条的感官结果显示出相同规律 (结果未展示)。

表3 面条明度、红绿色度和黄蓝色度
Table 3 L^* , a^* and b^* values of noodles

样品编号 Sample No.	蒸煮前 Before cooking			蒸煮后 After cooking		
	明度 L^*	红绿色度 a^*	黄蓝色度 b^*	明度 L^*	红绿色度 a^*	黄蓝色度 b^*
1	74.6±1.0 ^a	1.1±0.3 ^{ab}	10.8±0.8 ^b	68.5±1.2 ^l	0.4±0.2 ^g	3.6±1.2 ^l
2	77.2±0.4 ^b	2.4±2.2 ^{cde}	16.0±1.1 ^{hijk}	68.1±1.2 ^l	-6.5±0.3 ^b	13.6±1.2 ^l
3	90.2±1.1 ^{def}	3.1±0.4 ^{defgh}	11.7±0.8 ^{bc}	67.6±1.2 ^l	1.1±0.2 ^{ij}	1.2±1.2 ^l
4	88.1±1.1 ^{cd}	3.6±0.4 ^{fgh}	12.1±0.1 ^{bcd}	65.3±1.2 ^{jk}	0.8±0.2 ^{hi}	11.0±1.2 ^{jk}
5	95.8±1.6 ^{hij}	1.2±0.4 ^{ab}	14.2±0.5 ^{efg}	72.1±1.3 ^m	-0.5±0.2 ^f	6.4±1.3 ^m
6	89.6±0.8 ^{de}	5.2±0.3 ^j	11.0±0.3 ^b	69.4±1.2 ^l	2.3±0.1 ^k	3.9±1.2 ^l
7	95.6±0.8 ^{hij}	4.1±0.2 ^{ghi}	7.7±0.4 ^a	59.0±1.0 ^b	2.7±0.1 ^l	2.6±1.0 ^b
8	90.2±0.3 ^{def}	1.1±0.3 ^{ab}	13.7±0.3 ^{defg}	63.1±1.1 ⁱ	5.5±0.1 ^q	0.9±1.1 ⁱ
9	90.5±0.4 ^{def}	1.5±0.2 ^{bc}	15.1±0.3 ^{ghij}	63.9±1.1 ^{ij}	-2.4±0.2 ^e	4.4±1.1 ^{ij}
10	89.6±1.5 ^{de}	2.3±0.3 ^{cd}	13.8±0.9 ^{efg}	50.2±0.9 ^c	-2.6±0.2 ^e	4.0±0.9 ^c
11	89.3±0.7 ^{cde}	6.2±0.8 ^k	12.9±0.7 ^{cde}	58.6±1.0 ^b	-3.9±0.2 ^d	-3.0±1.0 ^b
12	95.5±1.0 ^{hij}	1.2±0.2 ^{ab}	18.4±1.2 ^{mn}	44.0±0.7 ^a	0.7±0.2 ^{gh}	4.4±0.7 ^a
13	95.4±0.2 ^{hij}	3.5±0.6 ^{efgh}	13.0±0.7 ^{cde}	51.1±0.9 ^c	-6.3±0.3 ^b	15.1±0.9 ^c
14	90.4±2.6 ^{def}	3.0±0.5 ^{defg}	16.5±1.1 ^{ijk}	49.8±0.8 ^c	4.1±0.1 ^{no}	-0.5±0.8 ^c
15	84.6±1.9 ^b	2.4±0.3 ^{cde}	13.3±0.8 ^{cdef}	57.3±1.0 ^{gh}	-8.0±0.3 ^a	21.3±1.0 ^{gh}
16	96.3±1.6 ^{ij}	4.2±0.3 ^{hij}	16.1±1.0 ^{hijk}	56.1±1.0 ^{fg}	0.5±0.2 ^{gh}	5.2±1.0 ^{fg}
17	92.9±1.6 ^{fgh}	0.4±0.2 ^a	13.9±0.8 ^{efg}	52.8±0.9 ^d	5.0±0.1 ^p	2.8±0.9 ^d
18	86.4±1.8 ^{bc}	4.2±0.5 ^{hij}	14.8±0.9 ^{fgh}	64.2±1.1 ^{ijk}	3.1±0.1 ^m	6.9±1.1 ^{ijk}
19	87.4±1.0 ^{bcd}	3.2±0.4 ^{defgh}	16.7±1.1 ^{ijkl}	55.8±1.0 ^{efg}	5.8±0.1 ^q	0.5±1.0 ^{efg}
20	92.3±1.3 ^{efg}	2.6±0.2 ^{def}	18.1±1.2 ^{lmn}	52.9±0.9 ^d	2.7±0.1 ^l	4.6±0.9 ^d
21	98.0±2.6 ^j	4.9±1.0 ^{ij}	14.9±0.9 ^{fghi}	54.1±0.9 ^{de}	18.8±0.2 ^t	2.5±0.9 ^{de}
22	96.0±1.5 ^{hij}	3.2±0.5 ^{defgh}	17.1±1.1 ^{klm}	54.9±0.9 ^{ef}	-4.5±0.3 ^c	10.4±0.9 ^{ef}
23	96.5±2.4 ^{ij}	3.5±0.2 ^{efgh}	13.5±0.8 ^{defg}	65.9±1.2 ^k	1.4±0.2 ^j	7.0±1.2 ^k
24	96.6±2.9 ^{ij}	3.4±0.2 ^{defgh}	16.2±1.0 ^{hijk}	64.6±1.1 ^{ijk}	-4.5±0.3 ^c	15.4±1.1 ^{ijk}
25	97.6±3.2 ^{ij}	3.4±0.3 ^{defgh}	15.1±0.9 ^{ghij}	47.6±0.8 ^b	10.5±0.1 ^s	17.5±0.8 ^b
26	95.8±3.1 ^{hij}	3.6±0.3 ^{fgh}	13.4±0.8 ^{defg}	50.0±0.9 ^c	3.8±0.1 ⁿ	6.0±0.9 ^c
27	94.3±2.2 ^{ghi}	3.1±0.5 ^{defgh}	15.9±1.0 ^{hijk}	48.1±0.8 ^b	4.2±0.1 ^o	2.5±0.8 ^b
28	98.6±0.9 ^j	2.9±0.2 ^{def}	19.0±1.3 ⁿ	55.5±1.0 ^{efg}	7.6±0.1 ^r	19.3±1.0 ^{efg}

注：编号 1—28 样品对应表 1 相应的样品编号和配方；同列中不同字母间存在显著性差异 ($P<0.05$)。后表同此。

Note: No. 1—28 samples in this table correspond to the sample No. and formulas in Table 1. Values with different letters within the same column have significant difference ($P<0.05$). The same below.

综上所述，卡拉胶的添加降低了 KCl 替代盐使用带来的苦味，且在一定程度改善了面条的整体口感。

2.4 卡拉胶添加对低钠面条质构特性的影响

选取盐添加量均为 2.0% 而 NaCl、KCl、卡拉

胶含量不同的各组面条 (样品 4、8、12、16、20、24、28) 和使用 KCl 替代 50% NaCl 的面条 (样品 25—28) 进行质构参数测定，所选样品及测定结果见表 6。卡拉胶的添加，提高了面条的硬度、弹性与咀嚼性，其可能原因主要有两方面^[26-30]：1) 卡拉

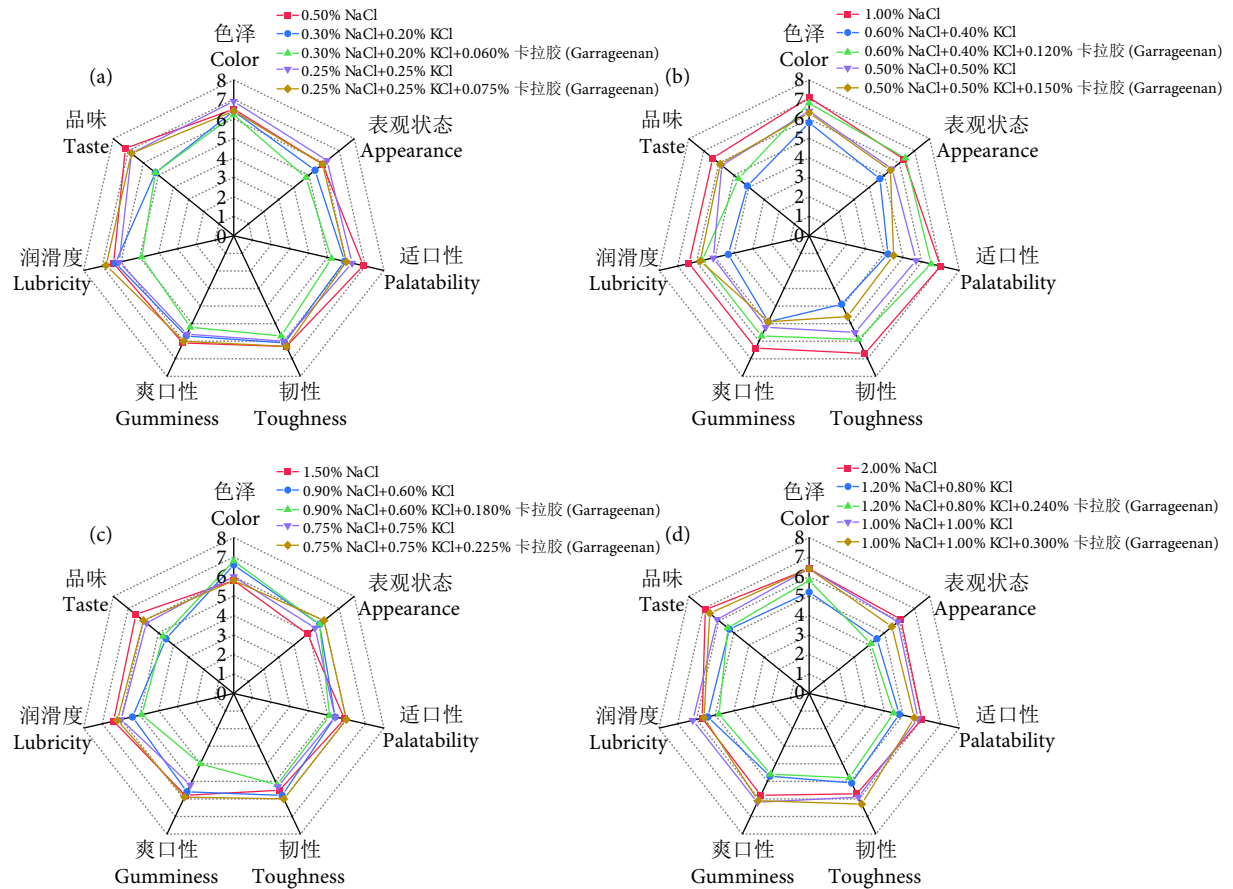
表4 面条色差
Table 4 Color difference of noodles

样品编号 Sample No.	蒸煮前 Before cooking	蒸煮后 After cooking	样品编号 Sample No.	蒸煮前 Before cooking	蒸煮后 After cooking
5&9	5.4±0.9 ^{bc}	11.8±0.2 ^d	15&19	4.6±0.4 ^{ab}	14.0±0.2 ^f
6&10	4.2±0.5 ^{ab}	27.6±0.5 ^j	16&20	4.8±0.5 ^b	5.0±0.0 ^a
7&11	8.5±0.7 ^d	6.6±0.1 ^b	21&25	2.4±0.9 ^a	12.4±0.2 ^e
8&12	7.1±0.8 ^{cd}	27.4±0.5 ^j	22&26	4.7±0.5 ^b	10.8±0.2 ^c
13&17	4.2±1.1 ^{ab}	11.6±0.2 ^d	23&27	3.3±0.1 ^{ab}	25.3±0.4 ⁱ
14&18	4.8±2.0 ^b	20.4±0.3 ^h	24&28	4.1±1.2 ^{ab}	17.7±0.3 ^g

胶与面筋蛋白发生相互作用, 改变了蛋白质的二级结构, 加强了蛋白质的交联和淀粉颗粒间的结合, 使其更紧密牢固; 2) 卡拉胶具有较强的亲水性, 使局部渗透压发生变化, 增强面条整体凝胶强度。此外, 质构测定结果(硬度、弹性和咀嚼性)与感官评定中“韧性”和“适口性”两项指标的结果一致, 确认了卡拉胶的添加使面条更富咬劲和弹性。

表5 面条最佳蒸煮时间
Table 5 Optimal cooking time of noodles

样品编号 Sample No.	最佳蒸煮时间 Optimal cooking time/s	样品编号 Sample No.	最佳蒸煮时间 Optimal cooking time/s
1	280±0 ^b	15	340±16 ^{fg}
2	280±0 ^b	16	330±0 ^{ef}
3	270±8 ^{ab}	17	340±0 ^{fg}
4	260±0 ^a	18	340±8 ^{fg}
5	310±8 ^{cd}	19	340±0 ^{fg}
6	310±0 ^{cd}	20	330±0 ^{ef}
7	310±8 ^{cd}	21	320±0 ^{de}
8	300±0 ^c	22	320±8 ^{de}
9	320±8 ^{de}	23	300±0 ^c
10	310±0 ^{cd}	24	300±8 ^c
11	310±0 ^{cd}	25	340±0 ^{fg}
12	300±8 ^c	26	340±0 ^{fg}
13	350±0 ^g	27	310±8 ^{cd}
14	340±8 ^{fg}	28	300±8 ^c



a. 样品 1、13、17、21、25; b. 样品 2、14、18、22、26; c. 样品 3、15、19、23、27; d. 样品 4、16、20、24、28。
a. Sample No. 1, 13, 17, 21 and 25; b. Sample No. 2, 14, 18, 22 and 26; c. Sample No. 3, 15, 19, 23 and 27; d. Sample No. 4, 16, 20, 24 and 28.

图1 面条感官评定雷达图
Fig. 1 Sensory evaluation radar of noodles

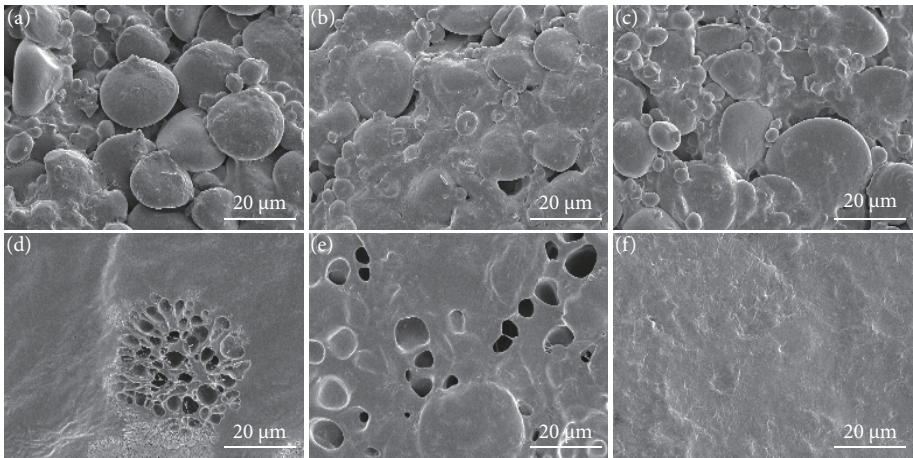
表6 面条质构特性
Table 6 Textural properties of noodles

样品编号 Sample No.	硬度 Hardness/g	黏附性 Adhesiveness/(g·s)	弹性 Springiness	内聚性 Cohesiveness	咀嚼性 Chewiness/g
4	7 081.24±434.92 ^{abc}	-106.38±23.03 ^c	0.82±0.08 ^a	0.68±0.01 ^{ab}	3 911.85±313.56 ^{abc}
8	6 980.00±190.02 ^{ab}	-112.71±21.68 ^c	0.78±0.04 ^a	0.63±0.04 ^{ab}	3 421.97±104.04 ^a
12	8 331.83±260.21 ^{cde}	-176.91±26.03 ^{ab}	0.84±0.08 ^a	0.61±0.02 ^a	4 260.22±410.43 ^{abcd}
16	6 674.37±932.28 ^a	-126.19±19.33 ^{bc}	0.84±0.09 ^a	0.69±0.06 ^b	3 830.01±611.67 ^{ab}
20	8 062.54±702.93 ^{bcd}	-123.71±23.45 ^{bc}	0.87±0.04 ^a	0.64±0.04 ^{ab}	4 495.67±334.62 ^{bcd}
24	8 336.60±303.63 ^{cde}	-194.29±43.31 ^a	0.77±0.03 ^a	0.65±0.01 ^{ab}	4 127.08±78.97 ^{abc}
28	8 747.53±1 212.20 ^{de}	-153.34±57.92 ^{abc}	0.84±0.10 ^a	0.65±0.07 ^{ab}	4 712.21±526.05 ^{cd}
27	7 910.89±657.01 ^{abcd}	-146.38±19.73 ^{abc}	0.81±0.09 ^a	0.66±0.05 ^{ab}	4 193.73±477.43 ^{abcd}
26	9 411.35±402.49 ^e	-175.12±12.72 ^{ab}	0.86±0.03 ^a	0.62±0.03 ^{ab}	5 001.83±421.42 ^d
25	8 274.85±992.20 ^{bcdde}	-177.98±20.02 ^{ab}	0.86±0.08 ^a	0.60±0.01 ^a	4 284.30±758.77 ^{abcd}

面条的内聚性主要反映其内部淀粉分子间的聚合程度。由质构测定结果可知，添加卡拉胶后面条的内聚性与未添加组相比无显著性差异 ($P>0.05$)。蒸煮过程会使淀粉糊化并引起谷蛋白变性，促使面条从多孔结构向致密网络结构转变。较高含量多糖的添加会产生空间位阻效应，阻断谷蛋白在蒸煮过程中因变性发生的疏水结合，破坏面条的整体内聚性^[27]。而本研究中卡拉胶添加量较低，其添加产生的空间位阻效应小于与蛋白、淀粉相互作用对面条结构致密性的贡献，对面条完整结构产生的负面效应小，整体依旧表现为紧密牢固的结构，不会破坏面条的内聚性^[28]。

2.5 卡拉胶添加对低钠面条微观结构的影响

蒸煮前各组面条内部呈现松散的干混凝土状，淀粉颗粒轮廓清晰，与许晶冰等^[31]报道的结果一致(图 2)。而在蒸煮后，淀粉颗粒吸水膨胀、糊化，淀粉颗粒之间的空隙被填满^[32]，但不同样品的膨胀程度不同，添加纯 NaCl 制备的面条仅有小范围海绵状结构，添加 KCl 但未添加卡拉胶的面条样品有大片海绵状结构，而同时添加 KCl 和卡拉胶的面条样品则无孔洞结构，呈现致密紧实的微观结构。该结果可初步解释卡拉胶引起面条硬度、弹性及咀嚼度变化的原因，即卡拉胶可增强面筋蛋白的交联及淀粉颗粒间的交结，使面条结构整体更



a, d. 2.0% 氯化钠组面条; b, e. 2% 氯化钾替代盐组面条 (1.0% KCl+1.0% NaCl); c, f. 2% 氯化钾替代盐加卡拉胶组面条 (1.0% KCl+1.0% NaCl+0.30% 卡拉胶)。
a, d. 2.0% NaCl; b, e. 2% KCl salt substitute (1.0% KCl+1.0% NaCl); c, f. 2% KCl salt substitute and carrageenan (1.0% KCl+1.0% NaCl+0.30% carrageenan).

图2 面条蒸煮前 (a—c) 和蒸煮后 (d—f) 横切截面的扫描电镜分析

Fig. 2 Scanning Electron Microscope analysis images of noodles before (a—c) and after (d—f) cooking

加致密, 与李佩等^[33]报道的结果一致。

3 结论

本文研究了低钠面条中卡拉胶的添加对面条色泽、蒸煮时间、质构特性、微观结构和感官特性的影响。结果表明, 卡拉胶的加入可改善面条中因KCl替代NaCl后产生的苦味。卡拉胶对面条蒸煮时间无显著影响, 并可在一定程度上改变面条蒸煮后的色泽。卡拉胶可通过自身胶凝及其与蛋白质的相互作用增强面筋网络, 提升面条硬度、弹性和咀嚼性, 改善面条的质构特性以及感官品质。蒸煮前, 卡拉胶的添加未对面条的微观结构造成显著影响; 蒸煮后, 与未添加卡拉胶和纯NaCl组的面条相比, 添加卡拉胶的面条呈现较高的淀粉膨胀程度和更为致密的表面结构。基于本研究, 有望开发出一种低钠、高钾、高膳食纤维的健康面条, 为食品工业减盐提供前期技术支撑。

参考文献:

- [1] ROTH G A, ABATE D, ABATE K H, et al. Global, regional, and national age-sex-specific mortality for 282 causes of death in 195 countries and territories, 1980–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017[J]. *Lancet*, 2018, 392(10159): 1736-1788.
- [2] AFSHIN A, SUR P J, FAY K A, et al. Health effects of dietary risks in 195 countries, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017[J]. *Lancet*, 2019, 393(10184): 1958-1972.
- [3] FOROUHI N G, UNWIN N. Global diet and health: old questions, fresh evidence, and new horizons[J]. *Lancet*, 2019, 393(10184): 1916-1918.
- [4] WORLD HEALTH ORGANIZATION. Guideline: Sodium intake for adults and children[M]. Geneva: World Health Organization, 2012: 2.
- [5] WORLD HEALTH ORGANIZATION. Reducing salt intake in populations: report of a WHO forum and technical meeting, 5–7 October 2006, Paris, France[R]. Geneva: World Health Organization, 2007.
- [6] MATTES R D, DONNELLY D. Relative contributions of dietary sodium sources[J]. *J Amer College Nutr*, 1991, 10(4): 383-393.
- [7] 郇美丽, 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.
- [8] 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.
- [9] 张梦迪, 陆启玉. 不同盐的添加对面条品质影响的研究进展[J]. *中国调味品*, 2020, 45(3): 176-179.
- [10] 刘瑞莉, 陆启玉. 盐类在面条加工中的应用[J]. *粮食与油脂*, 2017, 30(3): 5-7.
- [11] 荆鹏, 郑学玲, 丁旋子, 等. 食盐对面絮及面条品质影响研究[J]. *粮食与饲料工业*, 2014(9): 32-35.
- [12] 张雪松, 王竹, 何梅, 等. 中国预包装食品钠含量现状及其变化趋势分析[J]. *卫生研究*, 2014, 43(2): 250-253.
- [13] 高超, 王竹, 刘阳, 等. 我国各类预包装食品钠标示值范围分析研究[J]. *营养学报*, 2017, 39(3): 217-222.
- [14] 邢宇, 田红美, 贾高鹏, 等. 食品减盐研究中挂面的钠/钾溶出及力学性质[J]. *食品工业*, 2020, 41(5): 191-194.
- [15] 张可池. 一种低钠营养面条及其制备方法: CN108094894A[P]. 2018-06-01.
- [16] 李强, 李要帅, 吕小转, 等. 一种无盐挂面及其制备方法: CN110122768A[P]. 2019-08-16.
- [17] ABU N B, HARRIES D, VOET H, et al. The taste of KCl: what a difference a sugar makes[J]. *Food Chem*, 2018, 255: 165-173.
- [18] 陈继承, 臧盈盈, 陈莉, 等. 一种降血压重组海带冷鲜面条及其制作方法: 中国, CN106538955A[P]. 2017-03-29.
- [19] TAN H L, TAN T C, EASA A M. The use of selected hydrocolloids and salt substitutes on structural integrity, texture, sensory properties, and shelf life of fresh no salt wheat noodles[J]. *Food Hydrocolloids*, 2020, 108: 105996.
- [20] 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.
- [21] 吴迪, 高利, 祝日倩, 等. 超微处理挤压改性荞麦粉添加对面团特性和全荞麦面条品质特性的影响[J]. *中国粮油学报*, 2020, 35(12): 30-36.
- [22] 孙彩玲, 田纪春, 张永祥. 质构仪分析法在面条品质评价中的应用[J]. *实验技术与管理*, 2007, 24(12): 40-43.
- [23] 师俊玲, 魏益民, 张国权, 等. 蛋白质与淀粉对挂面和方便面品质及微观结构的影响[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2001(1): 44-50.
- [24] 邢礼庆. 壳聚糖对碱性面条品质特性的影响[J]. *粮食与油脂*, 2021, 34(7): 107-109.
- [25] 陈霞, 王文琪, 朱在勤, 等. 食盐对面粉糊化特性及面条品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(2): 98-101.
- [26] 魏林. 瓜尔豆胶对面条品质特性的影响[J]. *粮食与油脂*, 2021, 34(9): 60-62.
- [27] 葛珍珍, 张圆圆, 李盈, 等. 魔芋葡甘聚糖对面条质构及微观结构的影响[J]. *粮食与油脂*, 2021, 34(9): 67-72.
- [28] TOBIN J T, FITZSIMONS S M, CHAURIN V, et al. Thermodynamic incompatibility between denatured whey protein and konjac glucomannan[J]. *Food Hydrocolloids*, 2012, 27(1): 201-207.
- [29] 吕振磊, 王坤, 陈海华. 亲水胶体对面粉糊化特性和面条品质的影响[J]. *食品与机械*, 2010, 26(4): 26-31.
- [30] TOLSTOGUZOV V. Thermodynamic aspects of dough formation and functionality[J]. *Food Hydrocolloids*, 1997, 11(2): 181-193.
- [31] 许晶冰, 李洪军, 李雪, 等. 添加兔骨微细粉对面团及面条特性的影响[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(4): 105-113.
- [32] 常战战, 王纪鹏, 刘云祯, 等. 制面方式对煮制面条粘连的影响[J]. *食品与生物技术学报*, 2021, 40(6): 76-85.
- [33] 李佩, 谢彩锋, 丁慧敏, 等. 不同改良剂对木薯全粉面条品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2018, 44(9): 218-224.