

食用碱对小麦淀粉特性及面条表面黏性变化的影响

张智勇¹, 陈洁^{2*}, 任佳影², 张毅³, 魏晓明⁴

(1. 中粮粮谷控股有限公司面条管理部, 北京 100000) (2. 河南工业大学粮油食品学院, 河南郑州 450001)
(3. 中粮面业(濮阳)有限公司, 河南濮阳 457000) (4. 中粮营养健康研究院, 北京 100000)

摘要: 为研究食用碱对小麦淀粉特性及面条表面黏性影响的变化规律, 该研究采用低场核磁共振仪、快速粘度仪、质构仪等分别研究食用碱对淀粉糊化特性、凝胶特性以及面条表面黏性等的影响。研究表明随着食用碱添加量的增加, 面团吸水率、强结合水含量呈升高趋势, 淀粉糊化黏度值增大, 衰减、回生值减小。淀粉透明度、溶解度和膨润率不断提高, 析水率逐渐降低。食用碱添加至0.4%时, 淀粉的凝胶破裂强度降低至40.81%, 凝胶破裂距离增加至17.99%, 凝胶黏度增加至30.94%。食用碱的添加可显著降低面条的表面黏性。面条表面黏性与面团吸水率、强结合水含量、淀粉溶解度、凝胶破裂距离呈负相关, 与淀粉冻融特性、回生值、衰减呈正相关。食用碱提高了淀粉的糊化稳定性、凝胶弹性以及冻融稳定性, 降低了面条的粘连程度。

关键词: 食用碱; 淀粉; 特性; 面条; 表面黏性

文章编号: 1673-9078(2022)06-206-213

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.6.0896

Effects of Dietary Alkali on Properties of Wheat Starch and Surface Viscosity of Noodles

ZHANG Zhiyong¹, CHEN Jie^{2*}, REN Jiaying², ZHANG Yi³, WEI Xiaoming⁴

(1. Noodle Management Division, COFCO Grains Holdings Ltd., Beijing 100000, China) (2. School of Food Science and Technology, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China) (3. COFCO Flour Industry (Puyang) Co. Ltd., Puyang 457000, China) (4. COFCO Nutrition and Health Research Institute, Beijing 100000, China)

Abstract: In order to study the changes of gelatinization properties of wheat starch and noodles surface viscosity, the effects of dietary alkali on starch gelatinization properties, gel properties, noodle surface viscosity were studied by using low field nuclear magnetic resonance (NMR), rapid viscometer and texture analyzer. The results showed that with the increase of edible alkali, the water absorption and strong binding water content of dough increased, the gelatinization viscosity value of starch increased, and the attenuation value and retrogradation value decreased. The transparency, solubility and swelling rate of starch increased continuously. However, with the increase of freeze-thaw cycles, the water evolution rate of starch decreased. When the dietary alkali was added to 0.4%, the gel breaking strength of the starch decreased to 40.81%, the gel breaking distance increased to 17.99%, and the gel viscosity increased to 30.94%. The addition of dietary alkali can significantly reduce the surface viscosity of noodles. Surface viscosity was negatively correlated with dough water absorption, strong binding water content, starch solubility and gel breaking distance, and positively correlated with starch freeze-thaw characteristics, retrogradation value and attenuation value. Dietary alkali increased gelatinization stability, gel elasticity and freeze-thaw stability of starch, and reduced the degree of adhesion of noodles.

Key words: dietary alkali; starch; properties; noodles; surface viscosity

引文格式:

张智勇, 陈洁, 任佳影, 等. 食用碱对小麦淀粉特性及面条表面黏性变化的影响[J]. 现代食品科技, 2022, 38(6): 206-213, +274

ZHANG Zhiyong, CHEN Jie, REN Jiaying, et al. Effects of dietary alkali on properties of wheat starch and surface viscosity of noodles [J].

Modern Food Science and Technology, 2022, 38(6): 206-213, +274

收稿日期: 2021-08-15

基金项目: 河南工业大学自科创新基金支持计划(省属高校基本科研业务费专项资金项目)(2020ZKCJ13)

作者简介: 张智勇(1987-), 男, 硕士, 研究方向: 面制品开发, E-mail: zhang-zhiyong@cofco.com

通讯作者: 陈洁(1963-), 女, 教授, 研究方向: 食品加工与品质分析, E-mail: cjie06@163.com

小麦淀粉含量约占面粉的75%左右,是面粉的重要组成部分之一^[1]。在面制品生产加工过程中,淀粉的结构和分子量等对产品影响显著。淀粉经糊化冷却所产生的回生现象是导致部分食品品质劣变的重要原因^[2]。针对淀粉特性的研究发现,通过物理或化学的方法可以达到改善淀粉糊化和凝胶流变学特性的目的。目前国内外已有很多通过添加亲水胶体、脂类等物质对面团流变学特性及淀粉特性变化的研究^[3]。Day等^[4]研究氯化钠对小麦淀粉热特性的影响。闫淑琴等^[5]向面粉中添加蜡制马铃薯原淀粉、沙蒿胶等亲水胶体,对面团特性和面条品质进行研究发现这些亲水胶体可以改变淀粉的糊化速率和最终老化程度,对面条品质和面筋网络有所改善。赵阳等^[6]研究发现共轭亚油酸可以与小麦淀粉结合生成复合物,降低峰值黏度阻碍淀粉的吸水溶胀,使其更易形成弹性凝胶,抗老化能力增强。刘会晓等^[7]研究发现,碱性条件易促进淀粉发生氧化反应,破坏淀粉的颗粒结构,导致面条黏度降低。面条的表面黏性对其口感具有重要影响。煮制过程中,面条表面的部分淀粉吸水溶出,从而造成混汤。此外,面条表面黏性过高将不利于煮后面条的久置,影响面条品质与感官评定^[8]。

目前关于食用碱对面条品质影响的研究很多,但研究食用碱对小麦淀粉特性以及面条表面黏性作用的机理很少。与以往研究不同,本文以从小麦粉中提取的淀粉为原材料,通过研究食用碱对淀粉糊化特性、凝胶特性以及面条表面黏性的影响,探究其作用的机理,为进一步研究食用碱在面制品中的作用与提高食品品质提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

特一级面粉(蛋白质含量11.0%),郑州金苑面业有限公司;食用碱(碳酸钠),沈阳市苏家屯区星火食品厂;无碘食盐,河南省盐业总公司。

1.2 仪器

JHMA-200型针式和面机,北京东孚久恒仪器技术有限公司;GDW-50型高低温试验箱,无锡科隆试验设备有限公司;TX-XTplus质构仪,英国Stable Micro System公司;MicroMR-CL-I变温型核磁共振分析仪,上海纽迈电子科技有限公司;RVA-4快速黏度仪,澳大利亚NewPort科学仪器公司。

1.3 试验方法

1.3.1 小麦淀粉的制备

称取100g特一粉,1%(面粉基)食盐,适量蒸馏水于和面机中,搅拌2min制成面团,25℃醒发15min。用0.4mol/L NaCl水溶液搓洗面团至洗出淀粉水溶液,4000r/min、8000×g离心10min,沉淀物真空冷冻干燥(-50℃),粉碎过100目筛网,即得小麦淀粉^[9,10]。

1.3.2 面团吸水率的测定

根据GB/T 14614-2006,ISO 5530-1:1997测定面团吸水率,特一粉按照14%干基称取。

1.3.3 面团水分分布的测定

参考李妍等^[11]的方法并略作修改。参数设置:采样频率SW=333.333kHz;采样间隔时间TW=2500ms;重复扫面次数NS=64;回波个数CONH=6000;弛豫衰减时间D0=2500ms;采样点数TD=19999;回波时间Echo time=0.1ms。

1.3.4 淀粉糊化特性的测定

参照GB/T 24853-2010,在铝盒中加入25.00g水与不同质量分数(0.0%、0.1%、0.2%、0.3%、0.4%)的食用碱混合均匀后,加入一定量淀粉,上下晃动搅拌桨,装入RVA,按下塔帽进行测试,每个样重复3次。

1.3.5 淀粉透明度的测定

参考吴立夏等^[12]的方法,并做以下修改。配置不同质量分数(0.0%、0.1%、0.2%、0.3%、0.4%)的食用碱溶液,向该溶液中加入一定量的冻干淀粉样品,配成1%(m/V)的淀粉乳。95℃水浴搅拌糊化30min,冷却至室温,在620nm波长下进行测定。

1.3.6 淀粉凝沉体积的测定

参考郭泽镔^[13]的方法,并做以下修改。按照1.3.5的方法配置质量分数为6%(m/V)的淀粉乳,并对其进行糊化和冷却后,取25mL淀粉糊于室温静置24h,记录下层沉淀物的体积。用沉淀体积占溶液总体积的百分比来表示淀粉的凝沉性质。

1.3.7 淀粉溶解度的测定

参考Han等^[14]的方法,并略作修改。按照1.3.5的方法称取一定质量淀粉(W),配置质量分数为2%(m/V)的淀粉乳,并对其进行糊化和冷却后,在4000r/min条件下离心15min,烘干上清液,称量溶解淀粉的含量(A),离心管中沉淀淀粉的质量(P)。溶解度(S)和膨胀度(B)的计算公式如下:

$$\text{溶解度 } S / \% = \frac{A}{W} \times 100\%$$

$$\text{膨润度 } B / \% = \frac{P}{W(1-S)} \times 100\%$$

1.3.8 淀粉冻融稳定性的测定

参考王冠青^[15]的方法,并做以下修改。按照1.3.5

的方法配置质量分数为 6% (m/V) 的淀粉乳, 并对其糊化和冷却后, 取 30 g (W₁) 淀粉糊, -20 °C 放置 24 h 后自然解冻, 在 10000 r/min 离心力下离心 15 min, 将上清液倒掉, 称取沉淀物的质量 (W₂)。析水率的计算公式如下:

$$\text{析水率} / \% = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\%$$

1.3.9 淀粉凝胶强度的测定

参考 Wang 等^[16]的方法, 并略作修改。按照 1.3.5 的方法配置质量分数为 15% (m/V) 的淀粉乳, 并对其糊化和冷却后用薄膜封口, 于 4 °C 环境存放 24 h。采用 P/5 探头进行凝胶强度分析。测试条件: 测试前、测试中、测试后速度均为 1.0 mm/s; 形变量 75%; 触发力 5 g。

1.3.10 面条表面黏性的测定

称取 100 g 面粉倒入和面缸中, 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%) 溶于适量的水 (先溶解碱再溶解盐), 一同倒入快速和面机中, 搅拌 2 min 和成面团, 放入温度为 25 °C 的熟化箱中醒发 10 min, 复合压延 3 次, 压成 1 mm 的面带, 切成 1 mm 厚、2 mm 宽、22 cm 长的面条。面条煮制最佳蒸煮时间, 捞出。

表面黏性测定参考常战战等^[2]的方法, 并做修改。在载物台上平行放置 3 根面条, 选择 cooked lasagne 程序, 选择 P/25 探头进行测定。平行 3 次, 取平均值。测试条件: 测定前速度: 1.0 mm/s; 测定中速度: 0.5 mm/s; 测定后速度: 10.0 mm/s; 返回距离: 20 mm; 触发力: 1000.0 g; 接触时间: 2 s。

1.4 数据处理

采用 Excel 2007、SPSS 21.0 进行数据统计分析, 以 Origin 2017 软件绘制图形。

2 结果与讨论

2.1 食用碱对面团吸水率的影响

采用粉质仪测定面团的吸水率, 研究食用碱对面团吸水量变化的影响。由图 1 可知, 食用碱的添加使面团的吸水率不断增加, 这与 Guo 等^[17]在小麦粉中添

加碱的结果相一致。食用碱添加量为 0.1% 时, 面团吸水率与未添加的面团之间无显著差异; 食用碱添加量为 0.2% 时, 面团吸水率显著升高至 58.1%。食用碱是一种碱性盐, 其水溶液属于强电解质。食用碱水解产生的离子可以中和蛋白质表面电荷, 使蛋白质间的排斥作用力下降, 促进面筋蛋白吸水, 蛋白质和淀粉在碱的作用下连接更加紧密, 从而面团吸水率增大^[18]。面团的吸水量可以对面条的蒸煮品质产生影响。吸水率高的面团更易形成面筋网络, 更好地包裹淀粉颗粒, 在煮制过程中淀粉不易溶出, 面条不易混汤和黏条^[19]。但过量添加食用碱会使蛋白质争夺面团中的大部分水分, 导致水分子不能在淀粉和蛋白质之间起到润滑的作用, 形成的面团黏弹性降低^[17]。

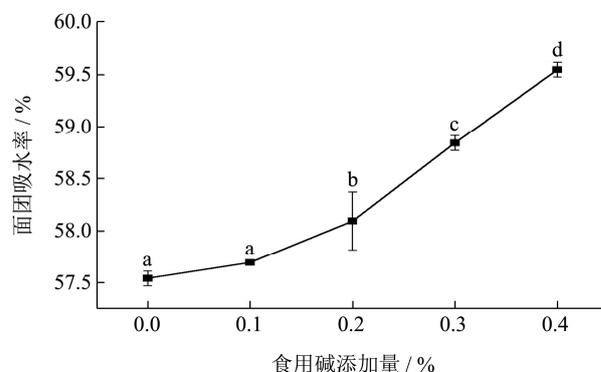


图 1 食用碱对面团吸水率的影响

Fig.1 Effect of dietary alkali on water absorption of dough

注: 不同小写字母表示差异显著 ($p < 0.05$), 下同。

2.2 食用碱对面团水分分布的影响

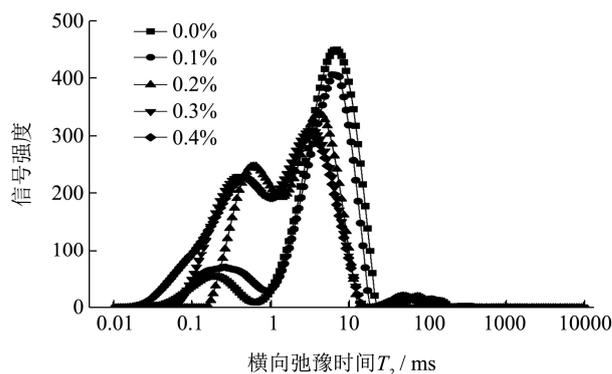


图 2 面团横向弛豫时间 T₂ 反演图

Fig.2 Inversion diagram of transverse relaxation time T₂ of dough

表 1 弛豫时间 T₂ 所代表水的结合形式

Table 1 Relaxation time T₂ represents the binding form of water

弛豫时间 T ₂	水分形态	结合方式
T ₂₁	强结合水	与蛋白质的极性基团通过静电作用力或氢键结合成水分子层
T ₂₂	弱结合水	被面筋蛋白网络包裹或存在于淀粉之间
T ₂₃	自由水	位于面筋蛋白网络以及淀粉颗粒的间隙

表2 食用碱对面团水分弛豫时间 T_2 及对应峰面积的影响

Table 2 Effect of dietary alkali on moisture relaxation time T_2 and corresponding peak area of dough

食用碱添加量/%	弛豫时间/ms			峰面积所占比例/%		
	T_{21}	T_{22}	T_{23}	A_{21}	A_{22}	A_{23}
0.0	0.21±0.01 ^a	7.06±0.00 ^d	132.18±0.01 ^e	9.94±0.07 ^a	89.27±0.20 ^d	0.79±0.04 ^a
0.1	0.26±0.00 ^b	6.14±0.04 ^c	114.95±0.02 ^d	17.05±0.09 ^b	82.11±0.35 ^c	0.84±0.01 ^b
0.2	0.62±0.02 ^e	4.33±0.00 ^b	75.63±0.03 ^c	41.85±0.14 ^c	56.78±0.33 ^b	1.37±0.01 ^c
0.3	0.41±0.02 ^d	3.28±0.01 ^a	57.22±0.00 ^b	41.15±0.93 ^c	57.27±0.49 ^b	1.58±0.06 ^d
0.4	0.36±0.00 ^c	3.26±0.01 ^a	49.77±0.06 ^a	48.02±0.06 ^d	50.29±0.40 ^a	1.69±0.02 ^e

注：同一列不同小写字母表示差异显著 ($p < 0.05$)，下同。

表3 食用碱对糊化特性参数的影响

Table 3 Effects of dietary alkali on the gelatinization characteristic parameters

食用碱添加量/%	峰值黏度 /mPa·s	最低黏度 /mPa·s	衰减值 /mPa·s	最终黏度 /mPa·s	回生值 /mPa·s	峰值时间 /min	糊化温度 /°C
0.0	3091.00±24.04 ^a	2223.00±22.63 ^a	868.00±1.41 ^d	3677.00±22.63 ^a	1454.00±0.00 ^d	7.00±0.0 ^d	84.70±0.57 ^d
0.1	3283.00±21.21 ^b	2423.00±25.46 ^b	860.00±4.24 ^d	3845.00±11.31 ^b	1422.00±14.14 ^c	6.40±0.00 ^c	79.45±0.00 ^c
0.2	3388.00±19.80 ^c	2685.00±26.87 ^c	703.00±7.07 ^c	4038.00±19.80 ^c	1353.00±7.07 ^b	6.04±0.05 ^b	78.70±0.07 ^b
0.3	3398.00±25.46 ^c	2736.00±19.80 ^{cd}	662.00±5.66 ^b	4077.00±15.56 ^{cd}	1341.00±4.24 ^{ab}	6.00±0.01 ^b	78.80±0.14 ^{bc}
0.4	3410.00±15.56 ^{bc}	2775.00±16.97 ^d	635.00±1.41 ^a	4095.00±7.07 ^d	1320.00±9.89 ^a	5.84±0.05 ^a	77.80±0.07 ^a

图2 为不同食用碱添加量下的面团横向弛豫时间 T_2 反演图，图中曲线上三个峰代表不同食用碱添加量下水分存在的三种形式，分别对应的结合方式如表1所示。弛豫时间 T_2 可以表示水分的流动性以及结合能力，图中对应于 T_{21} 、 T_{22} 、 T_{23} 的信号强度的3个峰面积为 A_{21} 、 A_{22} 、 A_{23} ，表示面团中不同结合形态的水分含量^[20]。

由表2可知，面团体系中水分主要以弱结合水 A_{22} 形式存在，占总体水分的50%以上。强结合水含量 A_{21} 在食用碱添加量为0.1%时显著增加到17.05%，添加量为0.2%后仍呈增长趋势。食用碱具有促进面筋蛋白束缚水分子的作用，可降低面团中水分的流动性，从而增强水分子与面筋蛋白、淀粉等组分的结合能力^[21]。弱结合水含量 A_{22} 在食用碱添加量为0.2%时显著下降至56.78%。食用碱促进蛋白质面筋网络与水结合，所以在碱添加量为0.2%时弱结合水更多地向强结合水转化，面团对水的束缚能力增强。强结合水含量的升高表明蛋白分子发生水合作用，更好地形成面筋网络，而水分子与淀粉分子的结合更易促进淀粉糊化。Doona等^[22]研究发现淀粉和面筋蛋白在面团体系中具有不同的水动力学和分子流动性，在与水的相互作用中淀粉对面团中的水分迁移起决定性作用。

2.3 食用碱对淀粉糊化特性的影响

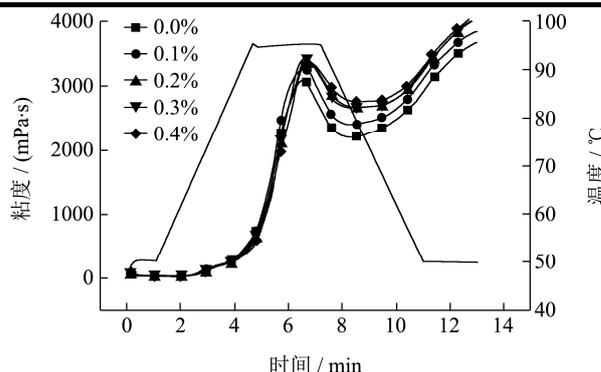


图3 食用碱对糊化特性曲线的影响

Fig.3 Effect of dietary alkali on the gelatinization characteristic curve

表3是食用碱对淀粉糊化特性参数的影响结果，食用碱的添加使淀粉的各项黏度值较空白样有所提升。峰值黏度越高的小麦粉生产出的面条质量越好^[23]。食用碱的加入使淀粉溶液黏度增加。黏度的增加是由于加热过程中淀粉颗粒膨胀，在糊化过程中食用碱可使淀粉颗粒在破裂前出现较大膨胀和变形^[24]。碱溶液中电离出的 OH^- 可以降低水分子之间的缔合作用，当遇到高温加热时淀粉颗粒遭到破坏后溶于水中，淀粉中的 $-OH$ 裸露出来，相邻的 $-OH$ 基团之间会重新缔合形成稳定的氢键，从而导致淀粉糊黏度的增加^[24]。衰减值是峰值黏度与最低黏度之间的差值，反映淀粉在糊化过程中的稳定性；回生值是最终黏度与最

低黏度之间的差值,反映糊化后的淀粉在冷却过程中的重结晶程度和老化度,回生值越低表明淀粉的抗老化能力越强^[25]。随着食用碱的增加,衰减值和回生值降低,这是由于食用碱的添加促进了淀粉的糊化。添加食用碱后淀粉水溶液的 pH 逐渐增大,裸露的-OH 数目逐渐增多,基团重新缔合形成氢键影响了淀粉分子的重新排布,抑制了淀粉回生^[24]。随着食用碱的添加,淀粉糊的糊化温度逐渐降低,表明淀粉胶束区发生破裂。胶束区的破裂使淀粉溶于水形成胶体,淀粉易于糊化,这与 Tao 等^[26]的实验结果一样。

2.4 食用碱对淀粉透明度的影响

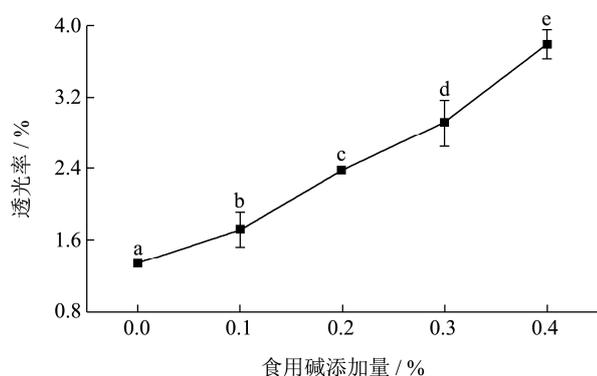


图4 食用碱对淀粉透明度的影响

Fig.4 Effect of dietary alkali on the transparency of starch

淀粉糊的透光率是一束光通过淀粉颗粒所产生的反射、折射和透射现象,是淀粉糊凝沉特性的一种表现^[27]。淀粉种类、添加剂以及淀粉与水分子之间的相互作用是影响淀粉透明度的重要原因。由图4可知,随着食用碱的添加,小麦淀粉的透光率显著增大2.4%,表明淀粉老化程度降低。这可能与两个原因有关,一是食用碱中的 Na^+ 与淀粉中的羟基发生静电相互作用^[28],降低了淀粉分子间的相互作用,从而引起淀粉糊透明度的增加;二是食用碱可以促进淀粉的糊化和膨胀,导致淀粉分子间氢键发生断裂,因此提高了淀粉的透明度。蒸煮过程中,面条的透明度越高,表明淀粉糊化程度越高,老化程度降低,面条不易黏结。

2.5 食用碱对淀粉沉淀物体积的影响

凝沉现象是经过糊化的淀粉糊放置一段时间后发生重排,形成致密不溶的淀粉微晶束^[29]。淀粉的凝沉特性反映了淀粉制品的加工特性以及感官品质,并可影响淀粉制品的机械性能^[27]。图5反映了食用碱添加量对小麦淀粉凝沉特性的影响。由图5可知,随着食用碱添加量的增加,淀粉的沉淀物体积逐渐增大至57%。在碱性条件下淀粉的溶胀率增加并且与水的结

合能力增强,从而提高了淀粉的凝沉稳定性^[27]。食用碱中富含大量的碳酸钠,属于强碱弱酸盐,水解后使淀粉颗粒携带大量的电荷,提高淀粉在水中的分散度,从而降低淀粉糊的稳定性^[30]。

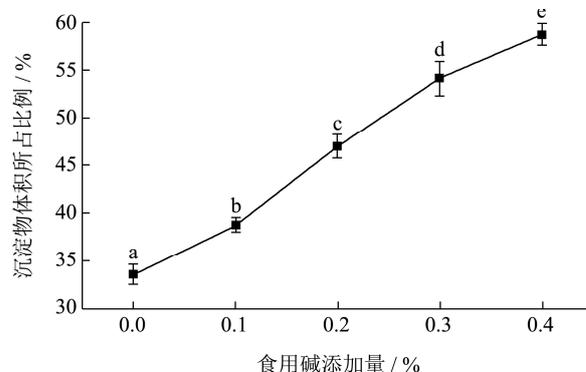


图5 食用碱对淀粉沉淀物体积的影响

Fig.5 Effect of dietary alkali on the precipitate volume of starch

2.6 食用碱对淀粉溶胀度的影响

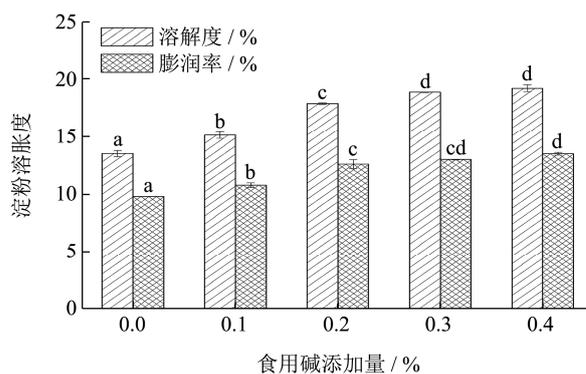


图6 食用碱对淀粉溶胀度的影响

Fig.6 Effect of dietary alkali on the swelling degree of starch

食用碱对淀粉溶胀度的影响如图6所示。随着食用碱添加量的增加,淀粉的溶解度与膨润率呈现先上升后趋于平稳的趋势。淀粉颗粒在水溶液中受热糊化后,淀粉颗粒内部用来维持双螺旋结构的分子间氢键会遭到破坏,水分子与淀粉非结晶区中的游离亲水性基团相互作用,从而使淀粉颗粒吸水,膨胀或破裂^[28,31]。淀粉的溶解度和膨润率是淀粉链在结晶区与无定形区结合能力的表现,反映了淀粉颗粒的完整性和硬度,主要受淀粉颗粒的大小、直支链比、分子间作用力等的影响^[32-34]。食用碱的添加可以提高小麦淀粉的溶解度和膨润率,这与食用碱破坏淀粉的非结晶区,使淀粉分子氢键断裂,降低直链淀粉的抑制作用,从而使淀粉颗粒之间结合的紧密度降低,溶解度升高有关,而且碳酸钠溶液中的氢氧基会使淀粉分子电离产生同种电荷,淀粉分子之间产生排斥作用,从而促进了水在颗粒内的渗透,淀粉分子自由膨胀,膨润率增加^[35]。面条煮制过程中,淀粉颗粒吸水膨胀,高度

挤压的淀粉颗粒容易分裂崩解,从而导致面条表面黏性的降低^[7]。

2.7 食用碱对淀粉析水率的影响

食用碱对小麦淀粉在不同冻融循环次数下析水率的影响结果见表 4。淀粉经糊化后在低温下进行储藏时,淀粉分子由于氢键作用可形成冰晶结构,此时淀粉糊胶体遭到破坏发生相分离,如淀粉胶体解冻会有水析出。因此可以用析水率的大小来反映淀粉的冻融稳定性,即淀粉在冻融过程中抵抗负面物理变化的能力和在低温条件下的抗凝沉特性,同时也可表征淀粉在回生过程中的变化^[26]。由表 4 可知,食用碱添加量的不断增加逐渐降低了淀粉的析水率,提高了冻融稳定性。食用碱溶液电离出来的氢氧根可以与淀粉分子的某位点进行结合,导致亲水区域暴露出来,促使水分子与淀粉氢键在其颗粒内部进行结合,使淀粉凝胶持水能力增加^[24]。随着冻融循环次数的增加,析水率会逐渐增大,在反复冻融的过程中,淀粉的凝胶结构被破坏,持水能力变弱,发生脱水收缩和海绵质地的形成^[33]。

表 4 食用碱对小麦淀粉在不同冻融循环次数下析水率的影响

Table 4 Effects of dietary alkali on the water yield of wheat starch under different freeze-thaw cycles

食用碱 添加量/%	析水率/%		
	冻融循环 1 次	冻融循环 2 次	冻融循环 3 次
0.0	40.75±0.45 ^d	48.85±0.45 ^e	53.73±0.81 ^e
0.1	39.92±0.54 ^c	45.12±0.49 ^d	50.78±0.26 ^d
0.2	38.63±0.57 ^c	43.65±0.12 ^c	46.37±0.42 ^c
0.3	36.15±0.49 ^b	40.42±0.26 ^b	42.55±0.49 ^b
0.4	34.63±0.32 ^a	37.50±1.04 ^a	38.48±0.82 ^a

2.8 食用碱对淀粉凝胶强度的影响

图 7 为食用碱添加量对小麦淀粉凝胶强度的影响。由图 7 可知,添加食用碱至 0.4%,小麦淀粉凝胶破裂强度降低 40.81%,凝胶破裂距离增大 17.99%,凝胶黏度增大 30.94%。淀粉凝胶受到压力后会逐渐变形,当力达到一定量时凝胶会破裂,此时凝胶所承受的力为破裂强度,探头下压的距离为破裂距离,两者反映了凝胶的弹性和脆性。破裂距离越大,破裂强度越小证明淀粉凝胶的弹性越大,脆性越小^[36]。当小麦淀粉中加入食用碱后,其凝胶破裂距离显著增大,破裂强度显著减小,表明小麦淀粉凝胶的弹性增加,脆性降低。食用碱的添加增加了溶液的 pH,使溶液中的氢氧根浓度增大,破坏了淀粉分子间的氢键,从而降低了小麦淀粉凝胶的破裂强度^[29]。淀粉凝胶的黏度不

断增大与加热过程中食用碱促进淀粉颗粒破裂,结晶区被破坏有关。

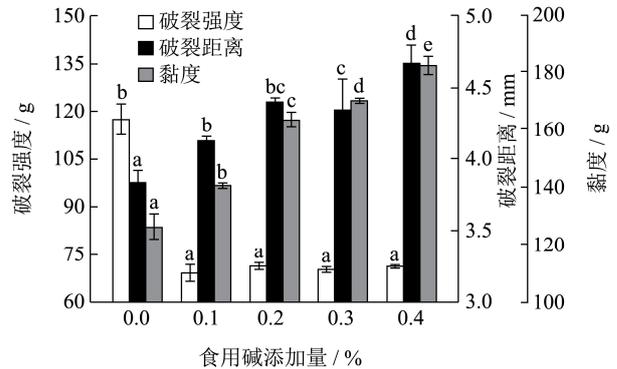


图 7 食用碱对淀粉凝胶强度的影响

Fig.7 Effect of dietary alkali on the strength of starch gel

2.9 食用碱对煮后面条表面黏性的影响

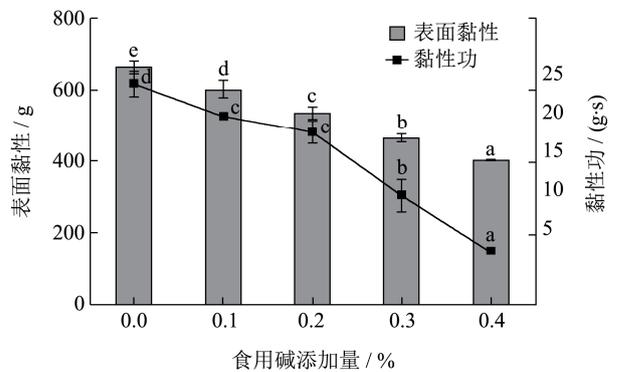


图 8 食用碱对面条表面黏性的影响

Fig.8 Effect of dietary alkali on the surface viscosity of noodles

面条的表面黏性是探头挤压样品时,样品粘连探头的力,可以反映煮后面条的相互粘连情况,黏性功是挤压过程中表面黏性的做功,同样表示样品的粘连程度。食用碱对煮后面条表面黏性的影响如图 8 所示。随着食用碱添加量的增加,煮后面条的表面黏性及黏性功呈下降趋势。食用碱的添加促进了面条面筋网络的形成,增加了蛋白质、淀粉与水分子之间的结合^[24],更多的水分子成为结合水,面条表面的自由水含量降低。面条煮制过程中,食用碱的添加使淀粉分子更易糊化,面条表面更多的水分子进入面条内部,从而导致面条的表面黏性降低。

2.10 面条表面黏性与淀粉指标的相关性分析

面条表面黏性与淀粉指标的相关性如表 5 所示,表面黏性与面团吸水率、淀粉溶解度、膨润率、凝胶破裂黏度呈极显著负相关,与强结合水含量、凝胶破裂距离呈显著负相关。面团吸水率越高,强结合水含量显著升高,淀粉受热后糊化程度升高。煮制过程中淀粉分子糊化以及面筋蛋白固化,加强了网络对淀粉

的包裹,显著降低了面条的表面黏性。面条表面黏性与淀粉冻融特性、回生值呈极显著正相关,与衰减值

呈显著正相关。食用碱的添加显著降低面条的老化程度有效缓解了面条的黏条现象。

表5 面条表面黏性与淀粉指标的相关性分析

Table 5 Correlation analysis between noodle surface viscosity and starch index

项目	面团吸水率	淀粉溶解度	膨润率	强结合水	冻融稳定性	衰减值	最终黏度	回生值	破裂强度	破裂距离	凝胶破裂黏度
表面黏性	-0.97**	-0.96**	-0.97**	-0.94*	0.99**	0.95*	-0.94*	0.97**	0.69	-0.94*	-0.99**
黏性功	-0.99**	-0.88*	-0.89*	-0.85	0.99**	0.88*	-0.84	0.89*	0.59	-0.89*	-0.92*

注: *和**分别表示在 $p<0.05$ 和 $p<0.01$ 水平上差异显著。

3 结论

本实验通过研究食用碱对小麦面团水分变化、淀粉糊化特性及面条黏性的影响,得出以下结论:食用碱可以提高面团吸水率与强结合水含量,提高淀粉的糊化黏度,降低衰减值和回生值。随着食用碱添加量的增加,淀粉透明度和沉淀物体积不断增加,溶解度不断提高,析水率逐渐降低。淀粉的凝胶破裂强度降低,凝胶破裂距离和黏度增加。食用碱可降低面条的表面黏性,使面条表面黏性与小麦淀粉特性具有一定的相关性。综上所述,食用碱能提高淀粉的糊化稳定性,增加小麦淀粉凝胶弹性,提高淀粉的冻融稳定性,降低脆性,并降低煮后面条的粘连程度。

参考文献

- [1] 黎芳,滕文韶,刘野,等.3种功能性蛋白对淀粉、面筋重组面团流变学特性及馒头品质的影响[J].中国食品学报,2020,20(3):103-111
LI Fang, TENG Wenshao, LIU Ye, et al. Effects of three functional proteins on rheological properties of starch-gluten dough and quality of steamed bread [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(3): 103-111
- [2] 常战战,刘云祯,林嘉诺,等.单甘酯降低煮制面条粘连的作用机理[J].中国食品学报,2021,21(2):179-186
CHANG Zhanzhan, LIU Yunyi, LIN Jianuo, et al. Mechanism of glyceryl monostearate decreasing the adhesion between cooked noodles [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(2): 179-186
- [3] Zhang B, Li X M, Xie Q T, et al. Preparation and characterization of non-crystalline granular starch [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2017, 103: 656-662
- [4] Day L, Fayet C, Homer S. Effect of NaCl on the thermal behaviour of wheat starch in excess and limited water [J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 94: 31-37
- [5] 闫淑琴,周一虹,沈群.四种亲水胶体对小麦淀粉、面筋蛋白特性及面条品质的影响[J].食品研究与开发,2011,32(3):63-67
YAN Shuqin, ZHOU Yihong, SHEN Qun. The effects of four hydrocolloids on wheat starch, gluten protein properties and noodle quality [J]. Food Research and Development, 2011, 32(3): 63-67
- [6] 赵阳,王雨生,陈海华,等.共轭亚油酸对小麦淀粉理化性质的影响[J].中国粮油学报,2015,30(10):21-24,31
ZHAO Yang, WANG Yusheng, CHEN Haihua, et al. Effect of conjugated linoleic acid on the physicochemical properties of wheat starch [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2015, 30(10): 21-24, 31
- [7] 刘会晓,陈洁,王春,等.影响面条黏性工艺因素的研究[J].粮食工程,2008,2:83-86
LIU Huixiao, CHEN Jie, WANG Chun, et al. Study on the factors affecting the viscosity of noodles [J]. Cereals and Oils Processing, 2008, 2: 83-86
- [8] 余晓宇,王远辉,陈洁,等.加水量和制面厚度对冷冻熟面复煮后表面黏性的影响[J].河南工业大学学报,2019,40(2):55-60
YU Xiaoyu, WANG Yuanhui, CHEN Jie, et al. Effects of water addition amount and processing thickness on the surface tackiness of reheated frozen cooked noodles [J]. Journal of Henan University of Technology, 2019, 40(2): 55-60
- [9] Thanatukorn P, Kawai K, Kajiwara K, et al. Effects of ballmilling on the glass transition of wheat flour constituents [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2009, 89(3): 430-435
- [10] 吴大伟,张春芝,胡亚光.小麦淀粉提取工艺[J].中国农学通报,2015,31(18):200-206
WU Dawei, ZHANG Chunzhi, HU Yaguang. Extraction technology of wheat starch [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2015, 31(18): 200-206
- [11] 李妍,林向阳,叶南慧,等.利用核磁共振技术研究海带面团筋网络结构形成过程[J].中国食品学报,2014,14(12):39-

- 48
LI Yan, LIN Xiangyang, YE Nanhui, et al. Using the low-field NMR to study the formation of gluten network structure of kelp dough [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2014, 14(12): 39-48
- [12] 胡爱军,张志华,郑捷,等.超声波处理对淀粉结构与性质影响[J].粮食与油脂,2011,182(6):9-11
HU Aijun, ZHANG Zhihua, ZHENG Jie, et al. Study on the effect of ultrasonic on the properties of starch [J]. Cereals & Oils, 2011, 182(6): 9-11
- [13] 郭泽滨.超高压处理对莲子淀粉结构及理化特性影响的研究[D].福州:福建农林大学,2014
GUO Zebin. Effect of ultra high pressure processing on the physicochemical properties of lotus-seed starch [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2014
- [14] Han C R, Yang M D, Xu X, et al. Comparison of the physicochemical properties of red bean and mung bean starch [J]. Advanced Materials Research, 2011, 1154(368): 630-634
- [15] 王冠青.淀粉种类及氯化钠对淀粉冻融稳定性的影响[D].无锡:江南大学,2015
WANG Guanqing. Effect of botanical source and sodium chloride on freeze-thaw stability of starch [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2015
- [16] Wang W, Zhou H, Yang H, et al. Effects of salts on the freeze-thaw stability, gel strength and rheological properties of potato starch [J]. Journal of Food Science & Technology, 2016, 53(9): 3624-3631
- [17] Guo X N, Wei X M, Zhu K X. The impact of protein cross-linking induced by alkali on the quality of buckwheat noodles [J]. Food Chemistry, 2017, 221(Apr.15 Pt.2): 1178-1185
- [18] 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
CHEN Yuehua. Effect of botanical source and sodium chloride on freeze-thaw stability of starch [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2018
- [19] 刘莉,江潇潇,史永强,等.改良剂对LL面质构性质的影响[J].广西轻工科技,2016,8:17-20
LIU Li, JIANG Xiaoxiao, SHI Yongqiang, et al. Effect of modifier on texture properties of LL noodles [J]. Guangxi Journal of Light Industry, 2016, 32(8): 17-20
- [20] 张影全,师振强,赵博,等.小麦粉面团形成过程水分状态及其比例变化[J].农业工程学报,2020,36(15):299-306
ZHANG Yingquan, SHI Zhenqiang, ZHAO Bo, et al. Changes of water status and proportion during wheat flour dough mixing [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(15): 299-306
- [21] 李翠翠,陆啟玉,张晶晶.面粉中二硫键含量对面片水分分布状态的影响[J].中国食品学报,2018,18(7):129-135
LI Cuicui, LU Qiyu, ZHANG Jingjing. Effect of disulphide bonds content in wheat flour on the water distribution and state in dough sheet [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2018, 18(7): 129-135
- [22] C J Doona, M Y Baik. Molecular mobility in model dough systems studied by time domain nuclear magnetic resonance spectroscopy [J]. Journal of Cereal Science, 2007, 45: 257-262
- [23] 李雪琴,吕莹果,黄亚飞.热烫温度对小麦面团介观特性的影响机制[J].食品科学,2021,42(3):98-103
LI Xueqin, LYU Yingguo, HUANG Yafei. Effect of hot-water temperature on mesoscopic characteristics of wheat dough [J]. Food Science, 2021, 42(3): 98-103
- [24] 冷雪.NaCl、蔗糖及 pH 对小米淀粉和小米粉的糊化及老化特性影响的研究[D].大庆:黑龙江八一农垦大学,2015
LENG Xue. Effects of NaCl, sucrose and pH on gelatinization and aging properties of millet starch and flour [D]. Daqing: Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2015
- [25] 杨贞.碱性条件下魔芋胶对小麦淀粉凝胶流变和质构特性的影响[D].郑州:河南农业大学,2018
YANG Zhen. Effects of konjac gum on rheological and textural properties of wheat starch gel under alkaline conditions [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2018
- [26] Tao H, Li M, Deng H D, et al. The impact of sodium carbonate on physico-chemical properties and cooking qualities of starches isolated from alkaline yellow noodles [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 137: 697-702
- [27] 卞希良,邬应龙,夏凤清.淀粉糊凝沉特性的研究[J].粮油食品科技,2005,13(6):46-48
BIAN Xiliang, WU Yinglong, XIA Fengqing. Study on the property of retrogradation of starch paste [J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2005, 13(6): 46-48
- [28] 陈学玲,关健,梅新,等.氯化钠、蔗糖和碳酸钠对芡实淀粉糊化特性的影响[J].食品科学,2017,38(17):60-65
CHEN Xueling, GUAN Jian, MEI Xin, et al. Effects of NaCl, sucrose and Na₂CO₃ on pasting properties of starch from seeds of *Euryale ferox* Salisb [J]. Food Science, 2017, 38(17): 60-65