

碱性盐对小麦粉面筋特性和面条蛋白质组分的影响

范会平^{1,2}, 陈月华², 符锋³, 艾志录², 卞科¹

(1. 河南工业大学粮油食品学院, 河南郑州 450001) (2. 河南农业大学食品科学技术学院, 河南郑州 450002)

(3. 河南省粮油饲料产品质量监督检验中心, 河南郑州 450099)

摘要: 为研究碱性盐 ($\text{Na}_2\text{CO}_3+\text{K}_2\text{CO}_3$) 对小麦粉和其面条品质变化的影响, 以 3 种不同筋力的小麦品种为试验材料, 结合 SDS-PAGE 电泳法, 探讨了 Na_2CO_3 和 K_2CO_3 复配比例和碱性盐添加量对其小麦粉面筋特性和面条中蛋白质组分及分子量变化的影响, 并结合 SDS-PAGE 电泳法考察了碱性盐对面条中蛋白质分子量分布变化的影响。结果表明: 添加碱性盐后, 3 种小麦粉的湿面筋和干面筋含量减少而面筋指数增加, 其中西农 979 湿面筋含量由 36.04% 逐渐下降至 26.58%, 干面筋含量由 12.22% 下降至 7.74%。碱性盐使得 3 种小麦面条粉中的清蛋白和盐溶蛋白含量整体上显著增加而球蛋白和面筋蛋白含量整体上显著减少, GMP 含量变化不显著但醇溶蛋白与谷蛋白含量减少, 其中由矮抗 58 制得的面条中醇溶蛋白含量随着碱性盐添加量的增加由 4.12% 降至 1.69%, 而谷蛋白含量则由 4.44% 降至 2.77%, 研究结果可以为面条的工业化生产提供理论依据。

关键词: 碱性盐; 蛋白质; 麦谷蛋白大聚体; 盐溶蛋白; 面筋蛋白

文章编号: 1673-9078(2019)12-61-69

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.12.009

Effects of Alkaline Salts on Gluten Characteristics of Wheat Flour and Protein Composition of Derived Noodles

FAN Hui-ping^{1,2}, CHEN Yue-hua², FU Feng³, AI Zhi-lu², BIAN Ke¹

(1. College of Grain, Oil and Food Science, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

(2. College of Food Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

(3. Henan Center for Supervision & Inspection of Grain, Oil and Feed Product Quality, Zhengzhou 450099, China)

Abstract: In order to investigate the effects of alkaline salts (composed of sodium carbonate and potassium carbonate) on the quality of wheat flour and derived noodles, three wheat varieties with different gluten strengths were used as the experimental materials for the study on the impacts of different mass ratios of sodium carbonate to potassium carbonate and the amounts of alkaline salts for addition on the gluten characteristics of wheat flour, and the protein composition and molecular weight changes of derived noodles. The effects of alkaline salts on the molecular weight distribution of proteins in the noodles were investigated by SDS-PAGE electrophoresis. The results showed that the addition of alkaline salts could decrease the wet and dry gluten contents in the three varieties of wheat flours while increasing the gluten index. Among which the wet gluten of Xinong 979 declined from 36.04% to 26.58%, with its dry gluten content decreasing from 12.22% to 7.74%. Alkaline salts could increase the overall contents of albumin and salt-soluble proteins while decreasing significantly the contents of globulin and gluten proteins in the three kinds of noodles. The content of GMP did not change significantly, whilst the contents of gliadin and glutenin decreased upon the addition of alkaline salts. With the increase of added alkaline salt, the content of gliadin in the noodles made from Aikang 58 decreased from 4.12% to 1.69% with the content of glutelin also decreasing from 4.44% to 2.77%. The research results provide a theoretical basis for the industrial production of noodles.

Key words: alkaline salts; protein; glutenin macropolymer; salt soluble protein; gluten protein

面条因其具有制作工艺简单、食用方便及适合消费人群范围广等特点, 深受我国、日本、朝鲜等东

收稿日期: 2019-06-05

基金项目: 河南省博士后基金项目 (2015093)

作者简介: 范会平 (1972-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 农产品加工与贮藏、功能活性成分开发与应用

通讯作者: 卞科 (1960-), 男, 教授, 研究方向: 农产品贮藏与加工

亚国家人民的喜爱, 在世界范围内约有 40% 的人口以面条为主食。面条种类很多, 主要品种有通心面、白盐面条、黄碱面条和方便面及其他民间品种^[1,2]。加碱或碱性盐的面条称为黄碱面条, 其主要原料是小麦粉、碱或碱性盐和水。适量的碱可以使小麦粉在受热时吸收水分达到良好的粘弹性。通常添加的“碱”包括 Na_2CO_3 、 K_2CO_3 甚至是 NaOH , 或者是上述某几种化

合物的混合物^[3]。医学认为,人体食用过多的钠盐是导致高血压和心血管疾病的原因之一,减少钠离子的摄入无疑能降低这种风险。同时, K_2CO_3 溶解度高、碱性强,因此可以使用 K_2CO_3 代替部分 Na_2CO_3 作为制作面条的碱水剂^[4,5]。前期研究表明,碱性盐可提高面团的吸水率、拉伸面积、拉伸阻力,降低面团的延伸度;显著增加面条的蒸煮损失率,增加面条的硬度、胶着性、回复性、黏聚性和咀嚼性^[6]。Miskelly等发现碱性盐对面条的色泽、风味和质构均有显著影响^[7]。小麦粉是面条制作最重要的原料,其主要成分是淀粉和蛋白质。根据Osborne分类方法,小麦蛋白质主要包括清蛋白、球蛋白、麦醇溶蛋白、麦谷蛋白,且这四种蛋白质结构不同、性质不同,对面条品质的影响也不相同^[8,9]。清蛋白和球蛋白是生理活性蛋白,主要决定小麦的营养品质;醇溶蛋白和麦谷蛋白为贮藏蛋白,是组成面筋的主要成分,二者共同决定面团的黏弹性,是决定小麦加工品质的主要因素^[10]。目前,关于 Na_2CO_3 和 K_2CO_3 不同复配比例和不同添加量的碱性盐($Na_2CO_3+K_2CO_3$)是如何影响面条中面筋及蛋白质特性,并进而影响到面条品质方面的报道还较少见到。

本文以3种不同筋力的小麦粉为试验材料,通过研究 Na_2CO_3 和 K_2CO_3 不同复配比例和不同添加量的碱性盐($Na_2CO_3+K_2CO_3$)对小麦粉面筋特性和面条中蛋白质各组分、麦谷蛋白大聚体(GMP)及蛋白质分子量分布变化的影响,为进一步探究面条制作过程中蛋白质/淀粉之间相互作用奠定基础,以期对面条的现代工业化生产提供一定的理论参考。

1 材料与方法

1.1 主要试验材料与设备

矮抗58,中筋小麦,河南省新乡市延津;众麦2号,中弱筋小麦,河南省南阳市;西农979,强筋小麦,河南省新乡市延津县; Na_2CO_3 、 K_2CO_3 、NaCl、NaOH,均为国产分析纯;

BLU-202型布勒磨粉机,无锡布勒机械有限公司;JNMZ200型和面机、JMTD-168/140型面条机,北京东孚久恒仪器技术有限公司;HWS型恒温恒湿箱,宁波东南仪器有限公司;快速冷冻机,郑州格美制冷设备有限公司;6L型真空冷冻干燥机,美国LABCONCO公司;SHZ-B型恒温水浴振荡器,上海博讯实业有限公司医疗设备厂;Kjeltec8400型全自动凯氏定氮仪、消化仪-20,瑞士FOSS;面筋分析仪,北京东孚久恒仪器技术有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 小麦粉基本理化指标的测定

(1)制粉方法:参照AACC26-21A方法制粉;(2)水分含量测定:参照GB5009.3-2010;(3)粗蛋白含量测定:参照GB/T5009.5-2010,凯氏定氮法;(4)湿面筋含量测定:参照GB/T14614-2006;(5)稳定时间测定:参照GB/T14614-2006。

1.2.2 碱性盐添加方案

(1)分别添加相当于小麦粉质量0.4%的碱性盐(Na_2CO_3 : K_2CO_3 的复配比例简称为N/K,N/K复配比例分别为1:0、0.8:0.2、0.6:0.4、0.4:0.6、0.2:0.8、0:1);(2)分别添加相当于小麦粉质量0.1%、0.2%、0.4%、0.6%、0.8%、1.0%、1.2%的碱性盐(N/K复配比例为0.8:0.2),同时做试剂空白试验。

1.2.3 面筋特性

湿面筋含量、干面筋含量及面筋指数测定分别参照GB/T 5506.1-2008、GB/T 5506.4-2008、LS/T 10248-1995进行。

1.2.4 面条粉制作方法

小麦粉+碱性盐+水→和面→面絮→熟化→压片→面片→熟化→压片→切条→预冻→冷冻干燥→粉碎→面条粉

准确称取面粉100.00 g(以14%湿基为基准),量取35~38 mL的蒸馏水及相应所需添加量的碱性盐,经7 min和面、置于恒温恒湿箱中25℃条件下熟化15 min后于轧距2.0 mm处压片,面片经4次复合压延后再于恒温恒湿箱中25℃条件下熟化30 min,依次在轧距3.5、3.0、2.5、2.0、1.5、1.0 mm处各压延一次,最后将面片切成2 mm宽,1 mm厚的面条。面条经冷冻机-30℃预冻30 min后于冷冻干燥机中冷冻干燥24 h、粉碎即得面条粉,放入-4℃冰箱冷藏备用。

1.2.5 面条pH测定

取制作好的鲜湿面条10 g,加20 g蒸馏水磨浆,4000 r/min离心5 min,取上清液用pH计pH值。

1.2.6 蛋白质特性指标测定

1.2.6.1 蛋白质组分含量测定

样品中蛋白质各组分的提取方法参照刘锐等^[11]和赵清宇^[12]的方法并略作修改进行。

1.2.6.2 谷蛋白大聚体(GMP)含量测定

参照刘锐的方法并略作修改进行^[10]。称取试样0.5 g(准确至0.0001 g),加入10 mL 1.5%的SDS提取液,置于恒温水浴振荡器中37℃水浴振荡30 min后常温下15500×g离心15 min,弃上清液、备用,用凯氏定氮法测定残余物中的蛋白质含量作为GMP的近似含量。每个试样做2次重复,取其平均值。

1.2.6.3 SDS-PAGE 电泳操作流程

参照李佳佳等^[13]的方法稍做修改。

1.3 数据处理

试验数据全部采用 Microsoft Excel 2013 和 SPSS 23.0 进行处理。

2 结果与分析

2.1 小麦粉品质指标

小麦粉部分品质指标见表1。根据LS/T 3202-1993 面条用小麦粉, 面条用小麦粉的品质标准为: 小麦粉水分含量 $\leq 14.5\%$, 稳定时间 ≥ 3.0 min, 湿面筋含量 $\geq 26\%$ 。从表1中数据可以看出, 这三种小麦粉的品质指标满足面条用小麦粉的基本要求, 可以作为制作面条的主要原料。

2.2 碱性盐对面条粉面筋特性的影响

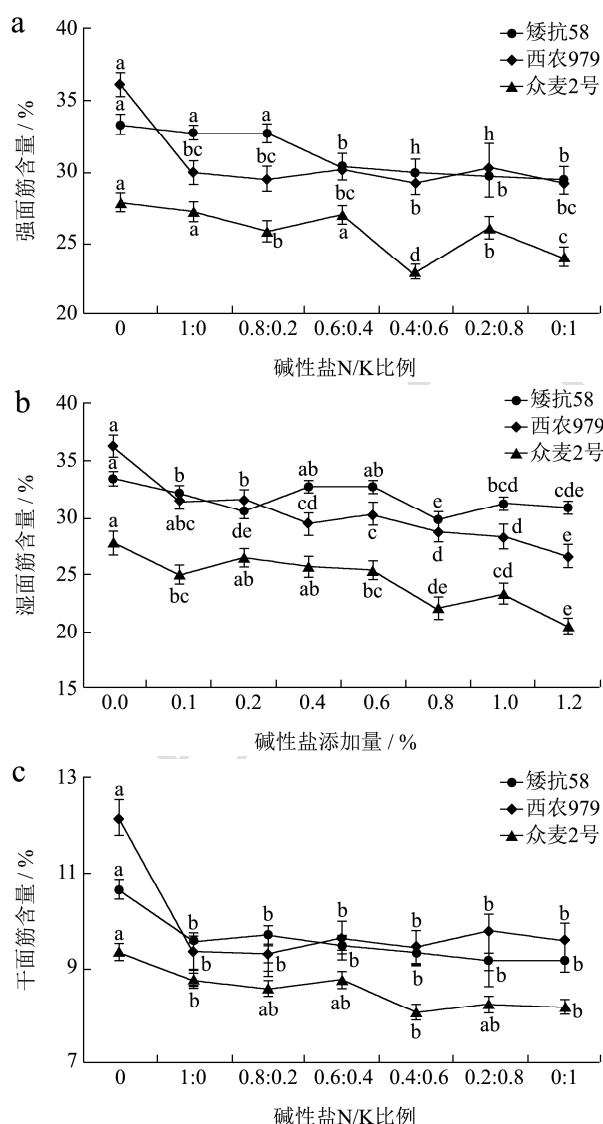


图1 碱性盐对面筋特性的影响

Fig.1 Effect of alkaline salts on gluten property of wheat flour

注: 图中同一小麦品种不同字母表示有显著差异性 ($p < 0.05$)。

小麦粉的面筋指数和面筋含量是衡量小麦粉的重要指标, 小麦粉的干、湿面筋含量和面筋指数与面条的品质有显著的相关性^[14]。碱性盐不同 N/K 比例和添加量对面筋特性的影响见图1。

由图1可知, 添加碱性盐均使得3种小麦粉的干、湿面筋含量减少而面筋指数增加。随着碱性盐中 K_2CO_3 质量百分比的不断增加, 矮抗58和众麦2号小麦面条粉的干、湿面筋含量整体呈下降趋势但差异不显著 ($p > 0.05$), 西农979小麦粉的干、湿面筋含量无显著变化 ($p > 0.05$); 但三种小麦面条粉的面筋指数均无显著变化 ($p > 0.05$)。随着碱性盐添加量的增加, 矮抗58、西农979和众麦2号小麦面条粉的干、湿面筋含量整体均呈显著减少的趋势 ($p < 0.05$), 矮抗58湿面筋含量由33.31%最低降至29.64% (碱添加量为

0.8%时),干面筋含量由 10.63%降至 7.81%;西农 979 湿面筋含量由 36.04%逐渐下降至 26.58%,干面筋含量由 12.22%下降至 7.74%;众麦 2 号湿面筋由 27.78%降至 20.53%,而其干面筋含量有 9.41%降至 5.87%,其原因可能是碱性盐使得部分醇溶蛋白和麦谷蛋白结构遭到破坏,一部分溶于水或盐溶液,从而导致面筋网络被破坏,面筋含量下降^[15]。矮抗 58 的面筋指数

随着碱性盐添加量的增加显著增加,由 80 增加至 95;而西农 979 和众麦 2 号的面筋指数则无显著变化($p>0.05$)。这可能与不同小麦品种的蛋白质特性不同有关。

综合图 1 可知,在实验范围内,碱性盐中 K_2CO_3 比例的增加或是碱性盐添加量的提高均使得 3 种小麦粉的干、湿面筋含量减少,面筋指数增加。

表 1 三种小麦粉的部分品质指标

Table 1 Quality indices of three kinds of wheat flour

小麦品种	水分含量/%	粗蛋白含量/%	湿面筋含量/%	稳定时间/min	GMP/%
西农 979	13.94±0.03	13.38±0.06	36.04±0.56	13.77±0.69	8.40±0.05
矮抗 58	13.37±0.02	13.12±0.04	33.31±0.14	8.60±0.99	7.48±0.03
众麦 2 号	12.59±0.05	11.24±0.08	27.78±0.09	8.29±0.87	6.09±0.03

表 2 碱性盐 N/K 比例对蛋白质各组分含量的影响

Table 2 Effect of N/K ratio of alkaline salts on protein components content

样品	N/K 比例	清蛋白/%	球蛋白/%	醇溶蛋白/%	谷蛋白/%	盐溶蛋白/%	面筋蛋白/%	Glu/Gli	面条 pH
矮抗 58	空白	2.61±0.01 ^e	0.77±0.00 ^a	4.12±0.00 ^a	4.44±0.14 ^a	3.37±0.01 ^e	8.56±0.14 ^a	1.08±0.03 ^c	5.12±0.02 ^e
	1:0	5.29±0.06 ^a	0.36±0.01 ^c	2.66±0.09 ^d	3.83±0.10 ^{bcd}	5.65±0.05 ^a	6.49±0.19 ^d	1.44±0.01 ^{ab}	9.09±0.01 ^b
	0.8:0.2	4.98±0.02 ^b	0.34±0.02 ^c	2.79±0.23 ^{cd}	4.17±0.12 ^{abc}	5.31±0.00 ^b	6.96±0.12 ^{cd}	1.50±0.17 ^a	9.09±0.02 ^b
	0.6:0.4	4.55±0.14 ^c	0.36±0.0 ^c	2.82±0.07 ^{cd}	4.27±0.00 ^{ab}	4.92±0.14 ^c	7.08±0.07 ^c	1.51±0.04 ^a	9.12±0.01 ^a
	0.4:0.6	4.79±0.07 ^{bc}	0.34±0.03 ^c	3.06±0.08 ^{bc}	3.65±0.46 ^{cd}	5.13±0.05 ^{bc}	6.71±0.37 ^{cd}	1.20±0.18 ^{bc}	9.00±0.01 ^d
	0.2:0.8	4.58±0.18 ^c	0.37±0.03 ^c	3.13±0.10 ^b	3.63±0.20 ^d	4.95±0.15 ^c	6.76±0.29 ^{cd}	1.16±0.03 ^c	9.04±0.01 ^c
	0:1	4.11±0.14 ^d	0.44±0.03 ^b	3.32±0.10 ^b	4.36±0.18 ^{ab}	4.55±0.11 ^d	7.67±0.08 ^b	1.32±0.09 ^{abc}	9.10±0.01 ^{ab}
西农 979	空白	2.54±0.07 ^e	0.62±0.01 ^a	3.09±0.18 ^{bc}	5.01±0.31 ^a	3.16±0.06 ^e	8.10±0.13 ^a	1.63±0.20 ^a	5.10±0.01 ^e
	1:0	4.54±0.04 ^a	0.29±0.01 ^d	2.82±0.06 ^c	4.36±0.18 ^b	4.83±0.02 ^a	7.18±0.13 ^b	1.55±0.09 ^{ab}	9.05±0.02 ^{bc}
	0.8:0.2	3.34±0.25 ^d	0.42±0.04 ^b	3.38±0.29 ^{ab}	4.47±0.16 ^b	3.76±0.21 ^d	7.84±0.13 ^a	1.33±0.16 ^{bc}	9.06±0.01 ^b
	0.6:0.4	3.55±0.13 ^{cd}	0.34±0.02 ^{cd}	3.20±0.08 ^{ab}	4.53±0.07 ^{ab}	3.88±0.14 ^d	7.73±0.02 ^a	1.42±0.06 ^{abc}	9.11±0.01 ^a
	0.4:0.6	4.06±0.06 ^b	0.30±0.01 ^d	3.18±0.01 ^{ab}	4.59±0.06 ^{ab}	4.36±0.04 ^b	7.77±0.07 ^a	1.45±0.01 ^{abc}	9.04±0.02 ^{cd}
	0.2:0.8	3.78±0.12 ^{bc}	0.37±0.05 ^{bc}	3.34±0.08 ^{ab}	4.40±0.03 ^b	4.14±0.07 ^{bc}	7.74±0.11 ^a	1.32±0.02 ^{bc}	9.02±0.01 ^d
	0:1	3.58±0.04 ^{cd}	0.42±0.01 ^b	3.53±0.02 ^a	4.41±0.38 ^b	4.00±0.05 ^{cd}	7.93±0.37 ^a	1.26±0.12 ^c	9.06±0.02 ^b
众麦 2 号	空白	2.45±0.03 ^c	0.65±0.01 ^a	2.84±0.12 ^a	4.41±0.15 ^a	3.10±0.04 ^d	7.25±0.03 ^a	1.55±0.12 ^a	5.08±0.01 ^e
	1:0	4.30±0.18 ^a	0.37±0.02 ^b	2.27±0.05 ^b	3.74±0.10 ^b	4.67±0.16 ^b	6.01±0.15 ^b	1.64±0.01 ^a	9.11±0.01 ^a
	0.8:0.2	4.17±0.07 ^{ab}	0.38±0.00 ^b	2.37±0.01 ^b	3.74±0.02 ^b	4.55±0.07 ^{bc}	6.10±0.01 ^b	1.58±0.02 ^a	9.08±0.02 ^b
	0.6:0.4	4.02±0.03 ^b	0.36±0.01 ^b	2.43±0.09 ^b	3.68±0.06 ^b	4.39±0.04 ^c	6.11±0.16 ^b	1.52±0.03 ^a	9.12±0.01 ^a
	0.4:0.6	4.00±0.07 ^b	0.38±0.01 ^b	2.41±0.04 ^b	3.72±0.02 ^b	4.38±0.07 ^c	6.12±0.02 ^b	1.55±0.04 ^a	9.06±0.00 ^c
	0.2:0.8	4.35±0.03 ^a	0.64±0.02 ^a	2.64±0.10 ^a	2.20±0.02 ^c	4.98±0.00 ^a	4.85±0.12 ^c	0.83±0.02 ^b	9.04±0.01 ^d
	0:1	4.06±0.02 ^b	0.62±0.02 ^a	2.67±0.12 ^a	2.27±0.08 ^c	4.68±0.04 ^b	4.94±0.04 ^c	0.85±0.07 ^b	9.04±0.01 ^d

注: 同列中各小麦品种不同字母表示有显著差异性($p<0.05$)。下表同。

2.3 碱性盐对面条中蛋白质特性的影响

2.3.1 碱性盐对面条中蛋白质各组分的影响

碱性盐不同 N/K 比例和添加量对面条中蛋白质各组分含量的影响见表 2 和表 3。

由表 2 和表 3 可知,与对照组相比,碱性盐使得三种小麦面条中的清蛋白含量显著增加($p<0.05$)而

球蛋白含量显著减少($p<0.05$),但由于清蛋白增加的幅度大于球蛋白减少的幅度,因而使得清蛋白和球蛋白的总含量(即盐溶蛋白含量)显著增加($p<0.05$),其中由矮抗 58 制得的面条中清蛋白含量随着碱性盐添加量的增加由 2.54%增至 5.83%,而球蛋白含量则由 0.77%降至 0.29%;由西农 979 制得的面条中清蛋白含量随着碱性盐添加量的增加由 2.61%增至 7.48%,

而球蛋白含量则由 0.62%降至 0.24%；由众麦 2 号制得的面条中清蛋白含量随着碱性盐添加量的增加由 2.45%增至 5.53%，而球蛋白含量则由 0.65%降至 0.27%。醇溶蛋白和谷蛋白含量均出现不同程度的减少，与之对应的醇溶蛋白和谷蛋白总含量（即面筋蛋白含量）也随之相应减少，其中由矮抗 58 制得的面条中醇溶蛋白含量随着碱性盐添加量的增加由 4.12%降至 1.69%，而谷蛋白含量则由 4.44%降至 2.77%；西农 979 制得的面条中醇溶蛋白含量随着碱性盐添加量的增加由 3.09%降至 2.56%，而谷蛋白含量则由 5.01%降至 1.59%；由众麦 2 号制得的面条中醇溶蛋白含量

随着碱性盐添加量的增加由 2.84%降至 1.69%，而谷蛋白含量则由 4.41%降至 2.71%。原因可能是由于醇溶蛋白和麦谷蛋白一部分溶于水和盐溶液，导致清蛋白和球蛋白含量增加^[15]；此外，碱性盐还可能使得部分醇溶蛋白和麦谷蛋白结构遭到破坏，一部分溶于水和盐溶液中，从而导致清蛋白和球蛋白含量上升，醇溶蛋白和谷蛋白总含量下降。碱性盐对不同品种小麦粉面条中 Glu/Gli 的影响不一致，其中矮抗 58 的 Glu/Gli 有所增加，而西农 979 和众麦 2 号的 Glu/Gli 反而呈现不同程度的下降趋势。

表 3 碱性盐添加量对蛋白质各组分含量的影响

Table 3 Effect of alkaline salts addition on protein components content

样品	添加量/%	清蛋白/%	球蛋白/%	醇溶蛋白/%	谷蛋白/%	盐溶蛋白/%	面筋蛋白/%	Glu/Gli	面条 pH
矮抗 58	0(空白)	2.61±0.01 ^f	0.77±0.00 ^a	4.12±0.00 ^a	4.44±0.14 ^b	3.37±0.01 ^g	8.56±0.14 ^a	1.08±0.03 ^e	5.12±0.02 ^g
	0.1	2.75±0.01 ^f	0.56±0.00 ^b	3.88±0.31 ^{ab}	4.75±0.19 ^a	3.31±0.02 ^g	8.63±0.12 ^a	1.23±0.15 ^{de}	7.57±0.04 ^f
	0.2	3.88±0.06 ^e	0.42±0.01 ^c	3.69±0.13 ^b	4.21±0.20 ^b	4.30±0.06 ^f	7.90±0.33 ^b	1.14±0.01 ^{de}	8.10±0.02 ^e
	0.4	4.98±0.02 ^d	0.34±0.02 ^d	2.79±0.23 ^c	4.17±0.12 ^b	5.31±0.00 ^e	6.96±0.12 ^c	1.50±0.17 ^{ab}	9.26±0.03 ^d
	0.6	5.83±0.05 ^c	0.26±0.02 ^e	2.47±0.12 ^{cd}	3.46±0.05 ^c	6.09±0.07 ^d	5.93±0.07 ^d	1.40±0.09 ^{abc}	9.39±0.00 ^c
	0.8	6.40±0.28 ^b	0.34±0.04 ^d	2.24±0.11 ^{de}	3.05±0.10 ^d	6.74±0.24 ^c	5.30±0.01 ^e	1.36±0.11 ^{bcd}	9.43±0.01 ^b
	1.0	7.14±0.28 ^a	0.28±0.04 ^e	1.83±0.17 ^{ef}	2.73±0.06 ^e	7.42±0.24 ^b	4.56±0.23 ^f	1.49±0.10 ^{ab}	9.56±0.01 ^a
	1.2	7.48±0.23 ^a	0.29±0.02 ^e	1.69±0.18 ^f	2.77±0.12 ^{de}	7.77±0.21 ^a	4.46±0.30 ^f	1.64±0.10 ^a	9.55±0.01 ^a
西农 979	0(空白)	2.54±0.07 ^d	0.62±0.01 ^a	3.09±0.18 ^{bc}	5.01±0.31 ^a	3.16±0.06 ^d	8.10±0.13 ^{ab}	1.63±0.20 ^a	5.11±0.01 ^h
	0.1	2.99±0.01 ^c	0.43±0.00 ^c	3.89±0.13 ^a	4.55±0.44 ^{ab}	3.42±0.01 ^d	8.44±0.32 ^a	1.18±0.15 ^b	6.95±0.03 ^g
	0.2	2.23±0.15 ^d	0.53±0.04 ^b	2.91±0.20 ^{cd}	4.05±0.21 ^{bc}	2.75±0.12 ^e	6.97±0.02 ^c	1.40±0.17 ^{ab}	8.73±0.02 ^f
	0.4	3.34±0.25 ^c	0.42±0.04 ^c	3.38±0.29 ^b	4.47±0.16 ^{abc}	3.76±0.21 ^c	7.84±0.13 ^b	1.33±0.16 ^{ab}	9.38±0.01 ^e
	0.6	4.61±0.18 ^b	0.32±0.04 ^d	3.01±0.17 ^{bc}	4.01±0.06 ^{bc}	4.93±0.13 ^b	7.02±0.11 ^c	1.34±0.10 ^{ab}	9.49±0.01 ^d
	0.8	5.69±0.30 ^a	0.21±0.04 ^e	2.46±0.13 ^c	3.91±0.16 ^{cd}	5.91±0.26 ^a	6.36±0.30 ^d	1.59±0.03 ^a	9.55±0.01 ^c
	1.0	5.65±0.08 ^a	0.24±0.03 ^e	2.47±0.15 ^c	3.41±0.23 ^{de}	5.89±0.11 ^a	5.87±0.38 ^{de}	1.39±0.01 ^{ab}	9.60±0.01 ^b
	1.2	5.83±0.08 ^a	0.24±0.03 ^e	2.56±0.09 ^{de}	3.23±0.04 ^e	6.07±0.04 ^a	5.78±0.13 ^c	1.27±0.04 ^b	9.66±0.01 ^a
众麦 2 号	0(空白)	2.45±0.03 ^g	0.65±0.01 ^a	2.84±0.12 ^a	4.41±0.15 ^a	3.10±0.04 ^g	7.25±0.03 ^a	1.55±0.12 ^{cd}	5.08±0.01 ^h
	0.1	3.02±0.07 ^f	0.44±0.01 ^b	2.68±0.09 ^a	3.39±0.05 ^c	3.46±0.08 ^f	6.07±0.05 ^c	1.26±0.06 ^e	7.31±0.03 ^g
	0.2	3.15±0.08 ^f	0.43±0.00 ^b	2.79±0.00 ^a	3.69±0.29 ^b	3.58±0.09 ^f	6.49±0.28 ^b	1.32±0.10 ^{de}	8.44±0.01 ^f
	0.4	4.17±0.07 ^e	0.38±0.00 ^c	2.37±0.01 ^b	3.74±0.02 ^b	4.55±0.07 ^e	6.10±0.01 ^c	1.58±0.02 ^c	9.13±0.01 ^e
	0.6	4.41±0.01 ^d	0.34±0.02 ^d	2.02±0.12 ^c	3.71±0.08 ^b	4.75±0.00 ^d	5.73±0.05 ^d	1.84±0.15 ^b	9.44±0.01 ^d
	0.8	4.70±0.02 ^c	0.29±0.00 ^e	1.64±0.01 ^d	3.61±0.02 ^{bc}	4.99±0.02 ^c	5.24±0.03 ^e	2.21±0.00 ^a	9.56±0.01 ^c
	1.0	5.21±0.09 ^b	0.28±0.01 ^e	1.91±0.11 ^c	2.89±0.11 ^d	5.49±0.10 ^b	4.80±0.01 ^f	1.52±0.15 ^{cd}	9.64±0.01 ^b
	1.2	5.53±0.08 ^a	0.27±0.01 ^e	1.59±0.12 ^d	2.71±0.01 ^d	5.79±0.06 ^a	4.30±0.13 ^g	1.70±0.12 ^{bc}	9.66±0.01 ^a

碱性盐对面条中各蛋白组分含量都有一定影响，但不同品种小麦粉面条中蛋白组分随 K_2CO_3 和碱性盐添加量的改变变化规律不尽相同。随着 K_2CO_3 质量百分比的增加，矮抗 58 的清蛋白含量呈逐渐减少而醇溶蛋白逐渐增加的趋势，而球蛋白含量在 K_2CO_3 质量百分比为 0~80% 范围内无显著变化 ($p>0.05$) 只在 100% 时相对于 80% 时显著 ($p<0.05$) 增加，矮抗 58 制得的

面条中谷蛋白在 K_2CO_3 质量百分比为 0~40% 范围内先由 3.83% 增加至 4.27%，在 K_2CO_3 质量百分比为 40%~80% 范围内由 4.27% 降至 3.63%，而其中面筋蛋白含量在 K_2CO_3 质量百分比为 0~40% 范围内先由 6.49% 增加至 7.08%，在 K_2CO_3 质量百分比为 40%~80% 范围内由 7.08% 降至 6.76%；盐溶蛋白在 K_2CO_3 质量百分比为 0~40% 范围内由 5.65% 降至

4.92%,在60%处增加至5.13%后又逐渐下降至4.55%;西农979的醇溶蛋白有一定的增加但不显著($p>0.05$),而谷蛋白、面筋蛋白含量和Glu/Gli整体均无显著差异($p>0.05$);众麦2号的清蛋白整体无显著变化($p>0.05$),且其中球蛋白、醇溶蛋白、谷蛋白、面筋蛋白含量和Glu/Gli在 K_2CO_3 质量百分比为0~60%之间均无显著差异($p>0.05$),这可能与不同小麦品种的蛋白质特性不同有关,小麦筋力强弱主要小麦中蛋白组成、蛋白质之二级结构与四级结构的相互作用等因素有关,小麦品种不同,其蛋白组成和蛋白质结构和相互作用也有差异^[16],碱性盐对不同组成和结构的蛋白质的作用效果也可能存在差异。

由以上结果可以看出,随着碱性盐添加量的增加,三种小麦粉面条的清蛋白含量整体上显著($p<0.05$)增加而球蛋白含量整体上均逐渐减少,但清蛋白增加的幅度大于球蛋白减少的幅度故而使得盐溶蛋白含量整体上显著($p<0.05$)增加,醇溶蛋白和谷蛋白含量整体上显著($p<0.05$)减少故使得面筋蛋白随之也显著($p<0.05$)减少。原因可能是随着碱性盐添加量的增加面团的pH增加,破坏了面条粉中醇溶蛋白和麦谷蛋白的结构及相互作用,使得更多的醇溶蛋白和麦谷蛋白碎片溶解到水和盐溶液中^[17]。碱性盐的添加量对不同品种小麦制得的面条中Glu/Gli的影响却不尽一致,随着碱性盐添加量的增加,矮抗58的Glu/Gli呈波浪形增加的趋势,西农979的Glu/Gli却无显著($p>0.05$)变化,而众麦2号面条中Glu/Gli则是在0.1%~0.8%之间呈逐渐增加趋势。

综合表2、表3可知,在实验范围内,添加碱性盐使得三种小麦粉面条中的清蛋白和盐溶蛋白含量整体上显著($p<0.05$)增加而球蛋白含量整体上显著($p<0.05$)减少;醇溶蛋白和谷蛋白含量均减少,而面筋蛋白含量显著($p<0.05$)减少,但对不同品种小麦粉面条中Glu/Gli的影响却不尽一致。

2.3.2 碱性盐对面条中GMP含量的影响

由图2可知,添加碱性盐对三种小麦粉面条中GMP的含量有一定影响,但整体变化趋势并不明显。Ong^[18]在研究白盐面条和碱式面条面团时也发现,制备面条过程中,添加碱性盐后,GMP含量有所下降,醒面后基本不增加,或即使有所增加,但和添加NaCl的面团相比,其增加程度较小,Ong等^[18]认为这可能是由于在碱性面团和面过程中,有更多的GMP发生解聚,而在醒面过程中会有部分GMP重新聚合的缘故。而石林凡^[19]研究发现,添加碳酸盐后面条面团中GMP含量升高。随着 K_2CO_3 比例的增加,众麦2号的GMP含量先有所增加,N/K为0.2:0.8之后又呈逐

渐减少趋势,但整体变化并不显著($p<0.05$),而西农979和矮抗58的GMP含量变化没有明显规律性。随着碱性盐添加量的增加,三种小麦粉面条的GMP含量变化规律不一致,且整体变化不显著。综上可知,碱性盐中钾盐和钠盐比例及碱性盐添加量对面条中GMP的含量无显著影响。

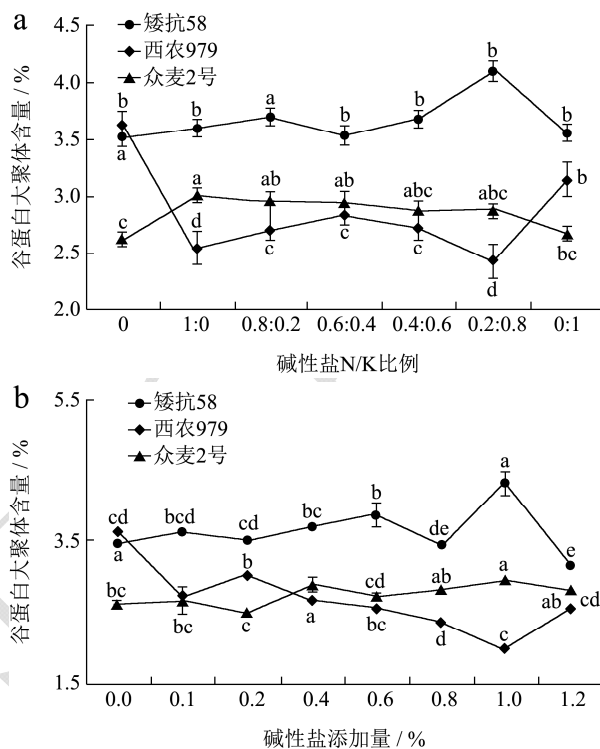


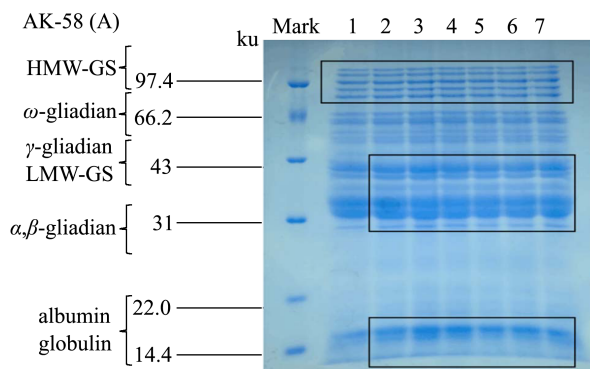
图2 碱性盐对GMP含量的影响

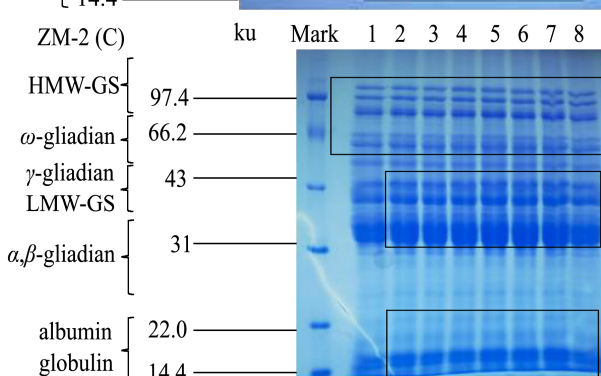
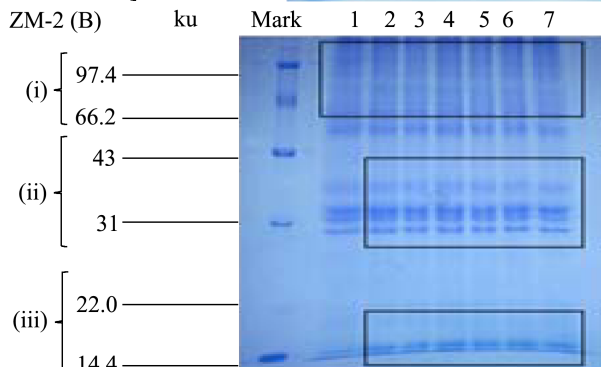
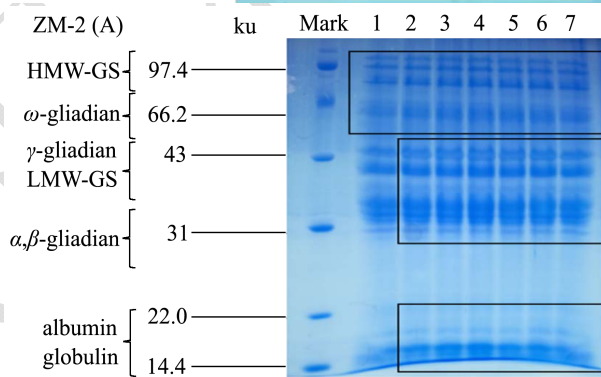
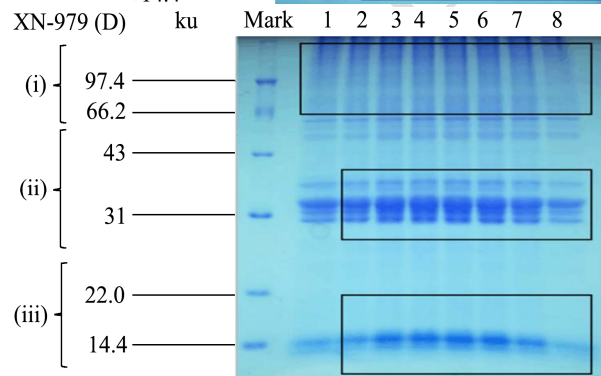
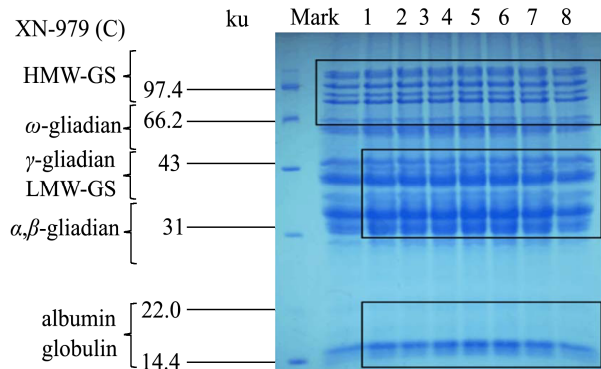
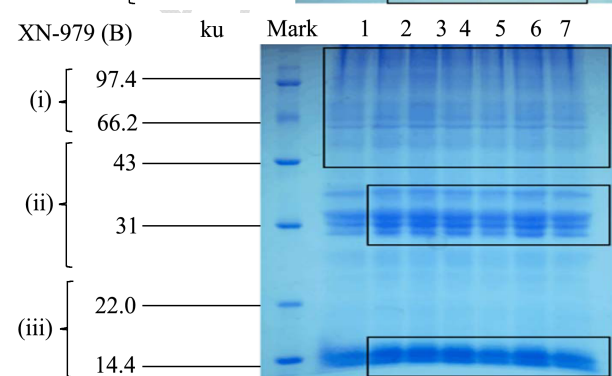
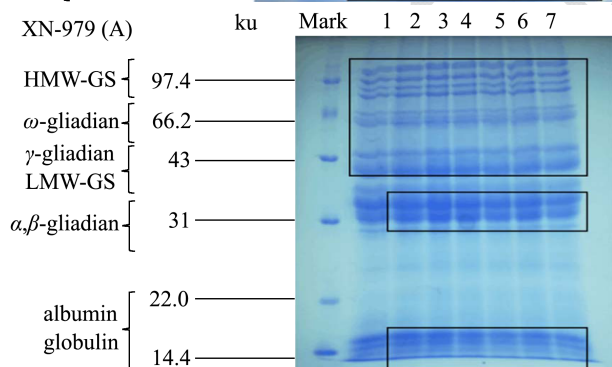
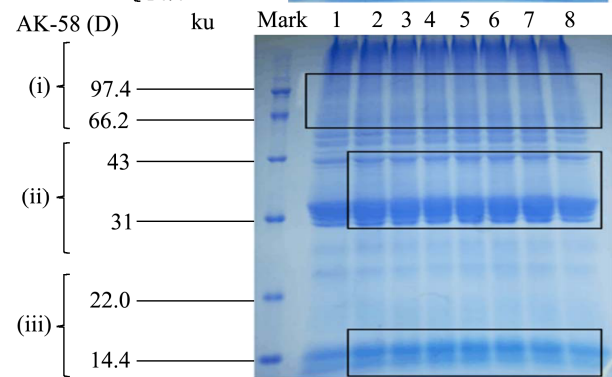
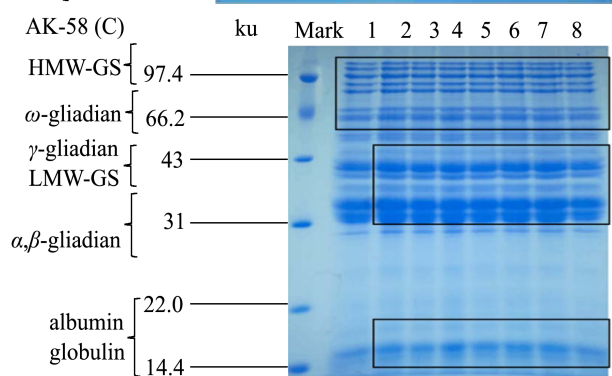
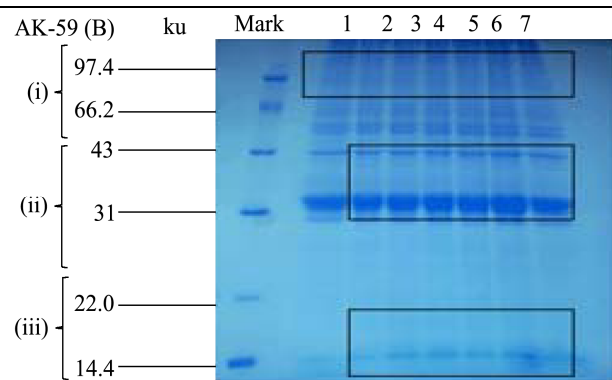
Fig.2 Effect of alkaline salts on glutenin macropolymer content

注:同一小麦品种不同字母表示有显著差异性($p<0.05$)。

2.3.3 碱性盐对面条中蛋白质分子量分布的影响

尽管蛋白质在小麦粉仅占12%左右,但其中的面筋蛋白由于其独特性质对面制品加工及食用品质起着至关重要的作用,面条制作过程中由于添加辅料而造成的对蛋白质组分的影响会进一步影响到面条终产品的品质。因此,通过考察碱性盐添加量及N/K比对面条制作过程中蛋白组分的影响,可以为生产实际中调控面条品质提供一定参考。





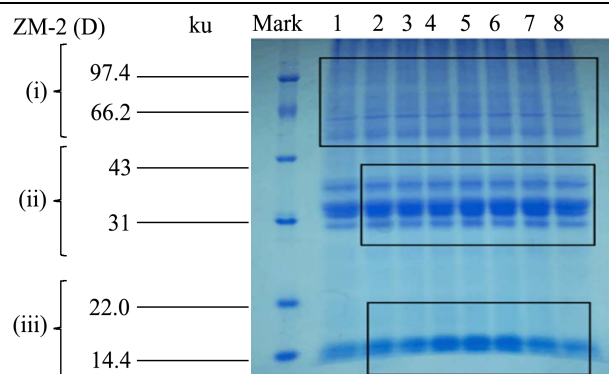


图3 碱性盐不同 N/K 比例和添加量的 SDS-PAGE 图谱

Fig.3 Electrophotograms for alkaline salts with different N/K ration and addition

注: 图中 AK 58 表示样品矮抗 58, XN 979 表示西农 979, ZM 2 表示众麦 2 号; (a) 为碱性盐不同 N/K 比例还原性图谱; (b) 为碱性盐不同 N/K 比例未还原图谱; (c) 为碱性盐不同添加量的还原性图谱; (d) 为碱性盐不同添加量的未还原图谱; 图谱中的 1~7 分别代表 N/K 比例为: 0、1:0、0.8:0.2、0.6:0.4、0.4:0.6、0.2:0.8、0:1; 图谱中的 1~8 分别代表 N/K 比例为: 0、0.1%、0.2%、0.4%、0.6%、0.8%、1.0%、1.2%; (i)、(ii)、(iii) 分别代表高分子量区、中分子量区和低分子量区。

SDS-PAGE 是测定蛋白质分子质量常用的一种方法。在 SDS-PAGE 凝胶电泳中, 蛋白质亚基的迁移速率主要取决于蛋白质亚基的相对分子质量, 即蛋白质亚基的相对分子质量越大, 迁移率越慢, 反之则迁移速率越快^[20], 因此 SDS-PAGE 能反映蛋白质亚基间分子量大小。碱性盐中 N/K 比例和碱性盐添加量对面条中蛋白质组分分子量分布影响的 SDS-PAGE 图谱见图 3。由图 3 中电泳图谱可知, 面条中的蛋白质在非还原处理时, 蛋白亚基之间的二硫键没有被破坏, 部分蛋白亚基相互交联其相对分子质量较大、结构复杂, 以大聚体的形式存在, 电泳过程中不能进入分离胶孔径而滞留于上样泳道中^[21]。与对照组相比, 碱性盐使得三种小麦粉面条中蛋白质亚基的低分子区和中分子区的光密度都有所增加, 这可能是由于在蛋白质中仍然存在一些次级作用力, 碱性盐的添加不同程度的破坏了这些次级作用力, 这和前面碱性盐对面条中蛋白质组分变化规律结果一致。随着 K_2CO_3 质量百分比的不断增大, 碱性盐对矮抗 58 面条中的低分子区和高分子区的促进作用先逐渐增加而后又减少, 且在 K_2CO_3 质量百分比为 80% 达到最大; 而对西农 979 面条的促进作用却逐渐减少, 对于众麦 2 号的促进作用则差异不明显。随着碱性盐添加量的不断增大, 促进作用先增加后减少且都在碱性盐添加量为 0.4% 时对促进低分子区和中分子区的促进作用达到最大程度, 但都并未引起三种小麦粉面条中的蛋白亚基有任何条

带发生移动或者缺失现象, 蛋白质电泳条带的增强可能是由于原来聚集在浓缩胶的高分子量蛋白发生解聚, 小分子量蛋白得以释放至分离胶中^[19]。以上结果进一步说明了添加碱性盐会使得部分大分子量的蛋白发生解聚形成小分子蛋白组分, 导致面筋蛋白含量降低。

3 结论

碱性盐使得 3 种小麦粉的湿面筋和干面筋含量减少而面筋指数增加, 碱性盐中 N/K 比例变化对小麦粉的湿面筋、干面筋含及面筋指数影响不显著; 碱性盐使得 3 种小麦面条粉中清蛋白和盐溶蛋白的含量整体上显著增加而球蛋白含量整体上显著减少; 醇溶蛋白和谷蛋白含量均减少, 面筋蛋白含量显著减少, GMP 含量增加; 碱性盐中 N/K 比例变化对强筋、中筋和弱筋三种不同小麦中蛋白组分影响规律不一致。

参考文献

- [1] 刘锐, 魏益民, 邢亚楠, 等. 小麦淀粉与面条质量关系的研究进展[J]. 麦类作物学报, 2013, 33(5): 1058-1063
- LIU Rui, WEI Yi-min, XING Ya-nan, et al. Review on relationship between wheat protein and noodle quality [J]. Journal of Triticeae Crops, 2013, 33(5): 1058-1063
- [2] 董彬. 小麦面粉组分及特点与面条品质关系[J]. 粮食与油脂, 2005, 10: 35-36
- DONG Bin. Relationship between components in wheat flour and quality of noodles [J]. Grain and Oil, 2005, 10: 35-36
- [3] 胡瑞波, 田继春. 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
- HU Rui-bo, TIAN Ji-chun. Factors related to chinses yellow alkaline noodle color [J]. Journal of The Chinese Cereals and Oils Association, 2006, 21(6): 22-26
- [4] 董育红, 吴冰. 碳酸钾对面条品质改良作用的研究[J]. 西部粮油科技, 1997, 22(1): 9-11
- DONG Yu-hong, WU Bing. Effects of K_2CO_3 on noodle quality improvement [J]. Journal of West Cereals and Oils, 1997, 22(1): 9-11
- [5] 王冠岳, 陈洁, 王春, 等. 碳酸钠和碳酸钾对面条品质改良效应的比较[J]. 粮油加工, 2008, 2: 80-82
- WANG Guan-yue, CHEN Jie, WANG Chun, et al. Comparison on the effect of Na_2CO_3 and K_2CO_3 on noodle quality improvement [J]. Grain Processing, 2008, 2: 80-82
- [6] 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
- FAN Hui-ping, CHEN Yue-hua, BIAN Ke, et al. The effect of

- alkaline salt on rheological properties of dough and noodle quality [J]. Food and Fermentation Industries, 2018, 44(4): 97-103
- [7] Kruger James E, Matsuo Robert B Matsuo, Dick Joel W. Pasta and Noodle Technology [M]. Eagan: American Association of Cereal Chemists, 1996.
- [8] 魏益民.谷物品质与食品品质-小麦籽粒品质与食品品质 [M].西安:陕西人民出版社,2002
WEI Yi-min. Grain Quality and Food Quality-Wheat Kernel Quality and Food Quality [M]. Xi'an: Shaanxi People's Publishing House, 2002
- [9] 陆启玉,林敏刚.面粉中蛋白质和淀粉含量对面条品质的影响[C].First International Conference on Cellular, molecular Biology, Biophysics and Bioengineering, 2010
LU Qi-yu, LIN Min-gang. Influence of protein and starch content in wheat flour on noodle quality [C]. First International Conference on Cellular, molecular Biology, Biophysics and Bioengineering, 2010
- [10] 刘锐,魏益民,张波.小麦蛋白质与面条品质关系的研究进展[J].2011,31(6):1183-1187
LIU Rui, WEI Yi-min, ZHANG Bo. Review on relationship between wheat protein and noodle quality [J]. Journal of Triticeae Crops, 2011, 31(6): 1183-1187
- [11] 刘锐,魏益民,张波,等.面条制作过程中蛋白质组成的变化 [J].中国食品学报,2013,13(11):198-204
LIU Rui, WEI Yi-min, ZHANG Bo, et al. Changes of composition in the noodle processing and cooking [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2013, 13(11): 198-204
- [12] 赵清宇.小麦蛋白特性对面条品质的影响[D].郑州:河南工业大学, 2012
ZHAO Qing-yu. The influence of protein characteristics on noodles quality [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2012
- [13] 李佳佳.吸风细粉的品质特性及对面制品的影响研究[D].郑州:河南工业大学, 2013
LI Jia-jia. Research on the quality characteristics of filter flour and the effect of its flour products [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2013
- [14] 张晓燕,陆启玉, 蔡凤仪,等.面粉面筋数量和质量与鲜湿面条品质的关系[J].河南工业大学学报(自然科学版),2006, 27(2):25-28
ZHANG Xiao-yan, LU Qi-yu, CAI Feng-yi, et al. Relationship between gluten and the qualities of noodles [J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2006, 27(2): 25-28
- [15] 郑子懿,陆启玉,章绍兵. 面条冷冻过程中蛋白质组分和二硫键的变化研究[J].粮食与饲料工业, 2013, 12(7): 34-37
ZHENG Zi-yi, LU Qi-yu, ZHANG Shao-bing. Research on change of protein and disulfide bond in noodled during frozen storage [J]. Cereal and Feed Industry, 2013, 12(7): 34-37
- [16] Jazaeri Sahar, Bock Jayne E, Bagagli Marcela P, et al. Structural modifications of gluten proteins in strong and weak wheat dough During Mixing [J]. Cereal Chemistry, 2015, 92(1): 105-113
- [17] 董育红,吴冰.碳酸钾对面条品质改良作用的研究[J].食品工业,1996,5:13-14
DONG Yun-hong, WU Bing. Effects of K_2CO_3 on noodle quality improvement [J]. Food Industry, 1996, 5: 13-14
- [18] Ong Y L, Ross A S, Engle D. A. Glutenin macropolymer in salted and alkaline noodle doughs [J]. Cereal Chemistry, 2010, 87(1): 79-85
- [19] 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
SHI Lin-fan. Microstructure of ramen dough and quality improving [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2015
- [20] 王瑞.小麦籽粒后熟期间蛋白质变化机理探究[D].郑州:河南工业大学, 2016
WANG Rui. Investigation on mechanism of changes in protein of wheat seeds during after-ripening [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2016
- [21] 王沛.冷冻面团中小麦面筋蛋白质劣变机理及改良研究 [D].无锡:江南大学,2016
WANG Pei. Gluten deterioration in frozen dough: mechanism and improvement study [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2016