

高温高湿处理对小麦中蛋白质性质的影响

Effects of high-temperature and high-humidity treatment on the properties of the proteins from wheat flour

周小玲 李娜 张冬生

ZHOU Xiao-ling LI Na ZHANG Dong-sheng

(克明面业股份有限公司, 湖南 长沙 414000)

(Kemen Noodle Manufacturing Co., Ltd., Changsha, Hunan 414000, China)

摘要:目的:探索高温高湿工艺对小麦及其制品蛋白质性质的影响。方法:分析了经高温高湿工艺处理后小麦粉及其制品的面筋蛋白、麦谷蛋白及麦醇溶蛋白的理化性质、分子性质和超微结构。结果:小麦粉和挂面中蛋白质的水溶性随处理时间的延长而降低;挂面面筋蛋白的持水力优于小麦粉,其中麦谷蛋白的持水能力占主要作用;随着处理时间的延长,小麦蛋白质中相对分子量较大的麦谷蛋白含量增多,而分子量较小的麦醇溶蛋白含量减少。SEM 分析发现,热变性使谷蛋白由原来的膜状结构逐渐变成多孔结构,此结构使面筋网络中的孔隙变大,孔隙变大可以更好地包裹淀粉颗粒。结论:高温高湿处理工艺对小麦和面条中的蛋白质性质影响具有差异。小麦粉中的蛋白质持水能力经处理后基本没有变化,而水溶能力则呈下降趋势;面条经高温高湿处理后持水力与水溶力均提高。

关键词:面筋蛋白;谷蛋白;醇溶蛋白;小麦粉

Abstract: Objective: To clarify the influence of the high temperature and high humidity process on the properties of the protein in wheat. **Methods:** Gluten, glutenin and gliadin in wheat flour and its products were extracted after high temperature and high humidity, and its physical and chemical properties, molecular properties and ultrastructure were determined. **Results:** The water solubility of the protein in wheat flour and dried noodles decreases with increasing time; The water holding capacity of dried noodles gluten protein is better than that of wheat flour, and the water holding capacity of dried noodles glutenin plays a significant role; the glutenin with relatively higher molecular weight was increased, while the content of gliadin with small molecular weight decreased. SEM analysis found that the heat denaturation

makes the gluten change from the original membrane structure to the porous structure, making the gluten network pores larger, which can better encapsulate the starch particles. **Conclusion:** The high temperature and high humidity treatment process have different effects on wheat and noodles' protein properties. The water-holding capacity of the protein in wheat flour is unchanged after treatment, but the water-soluble capacity shows a downward trend; the water-holding capacity and water-solubility of noodles are improved after the treatment of high temperature and high humidity. The change in the protein properties of noodles is speculated to be that the gluten network gradually undergoes molecular aggregation after high-temperature and high-humidity processing, forming high-molecular-weight glutenin polymers and a more solid bone structure. The reason why the gluten protein cannot be washed out due to a long time of high temperature and high humidity treatment needs to be further studied.

Keywords: gluten; glutenin; gliadin; wheat flour

蛋白质是小麦粉的主要组成成分之一,占 10% 左右^[1]。众多研究者^[2-7]报道了小麦蛋白质的组成和比例在面团的流变学特性和面制品的品质中发挥的作用,其中面筋蛋白作为小麦粉中的一种独特蛋白,在面制品的加工过程中起着不可取代的重要作用。干燥是挂面生产的重要工艺环节,对终产品的品质有重要的影响^[8-9]。挂面属不良湿热导体,较高的干燥温度能够加速挂面表面水分蒸发,但如果内部水分向外迁移速度慢,就会造成“酥面”“劈条”等质量问题。但由于温度过高时烤房内湿度较难控制,易导致质量问题,因此高温高湿工艺还未在挂面生产中得到广泛应用。

目前热处理对挂面或小麦粉的影响研究报道较多,郭颖等^[10]研究了烘干温度对挂面中淀粉和蛋白组分变化的影响,发现挂面蛋白组分中清蛋白、球蛋白、醇溶蛋白

基金项目:十三五国家重点研发计划(编号:2018YFD0401000)

作者简介:周小玲(1984—),女,克明面业股份有限公司中级工程师,硕士。E-mail:254836532@qq.com

收稿日期:2021-01-12

和麦谷蛋白大聚体的含量有不同程度的变化;林江涛等^[11]研究了不同受热条件下小麦粉品质及其面团特性的变化,发现随着温度升高和时间延长,清蛋白和球蛋白含量降低,醇溶蛋白和麦谷蛋白含量先升高后降低;Shomer等^[12]研究发现,醇溶蛋白为集中的膜状体,受热后会变成一种松散的胶体状态,其延展性增加而弹性减少;Tsiami等^[13]研究发现,未加热前,聚集度小的麦谷蛋白显黏性,而聚集度高的麦谷蛋白则表现为胶体特性,当温度上升到 40~50 ℃时,小聚集体的聚合程度增大,其胶体特性增强,而黏性减小。上述研究证明,麦谷蛋白是造成面筋具有强大抗延伸能力的主要原因。然而同步分析高温高湿处理对小麦原料及制品的影响研究涉及较少。惠滢^[14]研究了高温高湿干燥工艺对干挂面质量特性、煮制挂面特性、挂面中的淀粉理化性质及其与挂面品质的相

关性,但未研究其对挂面中蛋白质性质的影响,同时其中的高温高湿工艺为恒定条件(80 ℃、85%),也未对挂面所使用的小麦粉原料受到的影响进行同步研究。

研究拟以小麦粉及其制品为主要原料,经高温高湿工艺处理后,测定小麦粉及小麦面条中蛋白质水溶性、持水性、分子性质和微观结构的变化,探索高温高湿工艺对小麦及其制品蛋白质性质的影响,以期小麦深加工提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

小麦粉:基本理化指标如表 1 所示,河南驻马店地区;所用化学试剂均为国产分析纯。

表 1 面粉理化性质

Table 1 The physicochemical properties of wheat flour

水分/ %	灰分/ %	脂肪酸值/ (10 ⁻² mg · g ⁻¹)	湿面筋/ %	面筋指数/ %	稳定时间/ min	吸水率/ %	弱化度/ FU	蛋白质/ (10 ⁻² g · g ⁻¹)
14.5	0.60	32.4	38.4	93.0	15.8	65.4	26.0	13.7

1.1.2 主要仪器

制面机:SK-1240 型,成都索拉泰克精密机械有限公司;

智能挂面干燥试验台:SYT-030 型,中国农业机械化科学研究院;

面筋洗涤仪器:JJJM54S 型,上海嘉定粮油仪器有限公司;

水浴恒温振荡器:SHA-CD 型,常州澳华仪器有限公司;

低温离心机:Allgera 64 型,美国贝克曼公司;

冷冻干燥机:SCIENTZ-50F 型,宁波新芝生物科技股份有限公司;

紫外可见分光光度计:UV-2450 型,日本岛津公司;

pH 计:DELTA 320 型,梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司;

高效液相色谱仪:Agilent1100 型,美国安捷伦公司;

蛋白柱:Shodex KW804 型,日本 Shodex 公司;

扫描电子显微镜:JSM-6700F 型,日本电子株式会社。

1.2 方法

1.2.1 高温高湿处理工艺 将样品置于温度 100 ℃、湿度为(85±5)%的条件下处理 60,85,120,190,300,600,1 000 min,以未进行处理的样品作为对照。

1.2.2 小麦粉蛋白样品的制备

(1) 面筋蛋白(PG):参照 GB/T 5506.4—2008 的方法制备干面筋,将制备的干面筋采用高温高湿工艺处理

60,85,120,190,300,600,1 000 min。以未经处理的为空白,记为 PG-0,处理的样品依次记为 PG-1,PG-2,PG-3,PG-4,PG-5,PG-6,PG-7。

(2) 麦谷蛋白(PGu):采用碱提酸沉法^{[15]13}提取小麦粉中的麦谷蛋白,冷冻干燥(预冻温度为-50 ℃,干燥时间为 28 h)获得麦谷蛋白。采用高温高湿工艺处理麦谷蛋白 60,85,120,190,300,600,1 000 min。以未经处理的为空白,记为 PGu-0,处理的样品依次记为 PGu-1,PGu-2,PGu-3,PGu-4,PGu-5,PGu-6,PGu-7。

1.2.3 挂面蛋白样品的制备

(1) 面筋蛋白(KG):将经高温高湿处理的样品按 GB/T 5506.2—2008 方法水洗得到湿面筋 Kw,进行冷冻干燥(预冻温度为-50 ℃,干燥时间为 35 h)获得挂面面筋蛋白 KG。以未经处理的为空白,记为 Kw-0 和 KG-0,将经过高温高湿工艺处理 60,85,120,190,300,600,1 000 min 的挂面得到的湿面筋 Kw 和挂面面筋蛋白 KG 依次记为 Kw-1 和 KG-1,Kw-2 和 KG-2,Kw-3 和 KG-3,Kw-4 和 KG-4,Kw-5 和 KG-5,Kw-6 和 KG-6,Kw-7 和 KG-7。

(2) 麦谷蛋白(KGu)的制备:将经高温高湿处理的样品采用碱提酸沉方法提取谷蛋白,具体操作方法同 1.2.2 (2)。以未经处理的为空白,记为 KGu-0,将经过高温高湿工艺处理 60,85,120,190,300,600,1 000 min 的挂面提取得到的麦谷蛋白依次记为 KGu-1,KGu-2,KGu-3,KGu-4,KGu-5,KGu-6,KGu-7。

(4) 醇溶蛋白(KGi)的制备:将经高温高湿处理的样

品采用文献[15]¹³方法提取醇溶蛋白,冷冻干燥后(预冻温度为-50℃,干燥时间为28h)得醇溶蛋白粉,以未经处理的为空白,记为KGi-0,将经过高温高湿工艺处理60,85,120,190,300,600,1000min的挂面提取的醇溶蛋白依次记为KGi-1,KGi-2,KGi-3,KGi-4,KGi-5,KGi-6,KGi-7。

1.2.4 蛋白质水溶性测定 采用福林酚试剂法[15]¹⁴测定pH7条件下蛋白质的水溶性。

1.2.5 蛋白质持水能力测定 参照文献[15]²⁴⁻²⁵。

1.2.6 蛋白质相对分子质量分布测定 采用体积排阻色谱法[15]³⁶。

1.2.7 蛋白质超微结构分析 样品经喷金处理后,采用扫描电子显微镜(SEM)观察样品的显微结构。

1.3 数据处理

所有试验至少进行两次平行试验,采用Excel进行数据统计。采用SPSS 20软件对数据进行显著性分析,字母不同表示不同处理时间的样品间存在显著差异($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 蛋白质理化性质

2.1.1 面筋蛋白的变化 面筋蛋白是小麦中独特的成分,需在水的催化作用下,谷蛋白与醇溶蛋白吸水后相互结合,形成面筋蛋白(Kw),经过干燥后形成干面筋(KG)。从面条中将面筋蛋白洗出是一个相反的过程,即将干面筋(KG)加水膨胀并提取出湿面筋(Kw),通常反过程提取的湿面筋含量低于正过程。由图1可知,湿面筋含量随处理时间的延长呈逐渐下降的趋势,直至面条经过1000min的高温高湿处理后湿面筋的洗出量为0。由此可见高温高湿会促进面筋结构的致密性,随着处理时间的延长,面筋发生热变性,当面筋受热程度过大时,面筋热变性越大,直至完全失去被水洗出来的能力。Ragatsis^[16]研究发现,在80℃干燥小麦时,湿面筋含量急剧降低,在更高的温度无法洗出面筋,与试验的结果类似。

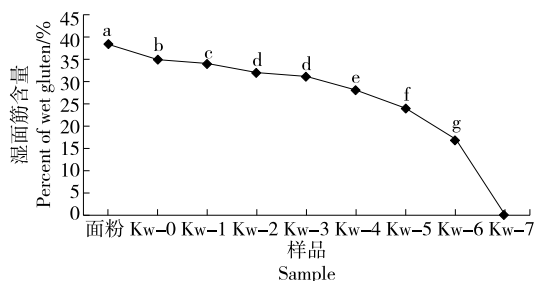


图1 高温高湿工艺处理挂面中的湿面筋含量

Figure 1 The percent of wet gluten in noodles with high temperature and relative humidity

2.1.2 蛋白质水溶性的变化 Mann等^[17]研究了热处理对小麦粉的影响,发现热处理能降低蛋白质溶解度和面团网络强度。由图2可知,小麦粉中的水洗蛋白(PG)与挂面中的水洗蛋白(KG)在处理时间 ≤ 85 min时,水溶性基本没有变化,但处理时间继续增加,PG与KG的水溶性分别在18h明显降低。由图3可知,小麦粉中的谷蛋白及挂面中的谷蛋白、醇溶蛋白的溶解性与PG、KG的溶解性的表现不同,随着处理时间的延长,水溶性呈上升趋势。由此可推测,蛋白质受热后,谷蛋白与醇溶蛋白的高级结构首先被打开,暴露出带有氢键的极性基团,提高溶解性,其次是谷蛋白与醇溶蛋白的相互作用,使蛋白质发生热固性,从而降低蛋白质的溶解性。热变性主要是肽键受到过大的热振荡,造成次级键被破坏,使肽键特定的构象被扰乱所致。

2.1.3 蛋白质持水能力的影响 由图4可知,挂面面筋蛋白的持水能力远远大于小麦面筋蛋白,说明挂面面筋蛋白在制面过程中已经形成了网络结构,而小麦粉蛋白没有制面过程,因此小麦粉本身的持水能力有限;挂面中的面筋蛋白,尤其是麦谷蛋白因为吸热膨胀作用,使网状孔隙增大,从而吸附更多的水分子;小麦蛋白具有一定的持水能力,是由于其中的麦谷蛋白具有一定的持水能力。

由图5可知,小麦中的谷蛋白持水能力有限,随着处理时间增加其变化幅度不大,主要原因是谷蛋白经过高

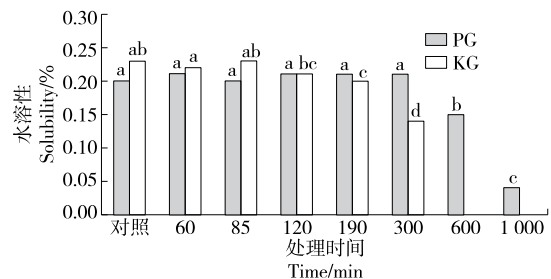


图2 不同面筋蛋白在中性溶液中的水溶性

Figure 2 Time-dependent solubility changes of different gluten

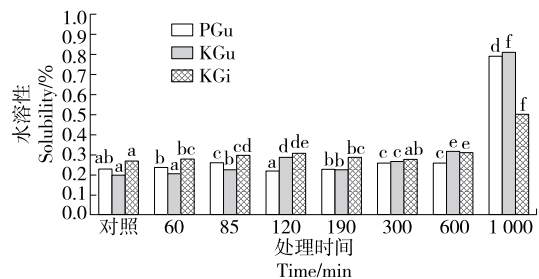


图3 不同面筋蛋白中的谷蛋白与醇溶蛋白在中性溶液中的水溶性

Figure 3 Time-dependent solubility changes of glutenin and gliadin from different gluten

温处理后逐渐失去形成多孔结构的能力,从而使其持水能力没有很大的改变,甚至在更长时间的高温处理下有降低的趋势。

蛋白质持水能力从侧面反映面筋蛋白的结构,从而进一步反映挂面的弹性。当蛋白质发生胶凝作用时,形成的三维网状结构可容纳大量的水,不仅提高了蛋白质的持水能力,同时赋予挂面一定的黏弹性,使挂面在咀嚼时表现出对牙齿的反作用力大,从而表现出较好的弹性。

2.2 蛋白质分子性质的变化

检测小麦粉面筋蛋白及麦谷蛋白、挂面中面筋蛋白

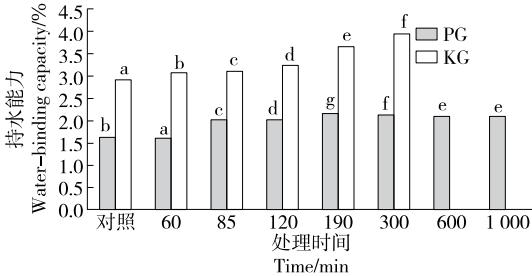


图 4 蛋白质的持水能力

Figure 4 Time-dependent water-binding capacity changes of protein

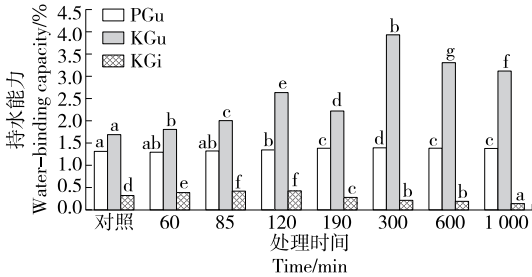


图 5 不同蛋白质中的谷蛋白与醇溶蛋白的持水能力

Figure 5 Time-dependent water-binding capacity changes of gluten and gliadin from different protein

及麦谷蛋白、麦醇溶蛋白 5 种蛋白的相对分子量分布,结果如表 2~表 4 所示。小麦及挂面中的蛋白主要以麦谷蛋白、麦醇溶蛋白为主,挂面面筋中的麦谷蛋白主要以高分子量谷蛋白(HMW-GS)、低分子量谷蛋白(LMW-GS)为主,挂面面筋中麦醇溶蛋白主要以分子量<75 kDa 的 α 、 β 、 γ 、 Ψ 醇溶蛋白为主,占麦醇溶蛋白总量的 85.00%,占面筋蛋白总量的 60.42%。

由表 2 可知,随着高温高湿处理时间的增加分子量较小的麦醇溶蛋白含量越来越少,可推测麦醇溶蛋白在高温持续作用下,肽键伸展开,部分暴露出的巯基与相邻肽键上的巯基结合,生成分子间二硫键,从而使麦醇溶蛋白分子发生交联作用,生成分子量更大的麦谷蛋白,由此可见较大分子量的麦谷蛋白含量的增加是挂面硬度增加的主要原因。挂面中面筋蛋白中的麦谷蛋白的含量也是随高温高湿处理时间的升高而增加,与此结论相吻合。相关文献^[18]显示,面筋中的麦谷蛋白为挂面提供硬度,其含量越高,硬度越大,反之亦然。

由表 3 可知,麦谷蛋白在高温高湿处理时间达到 1 000 min 时发生了明显的变化,即 HMW-GS 的含量发生了量的飞跃。其中挂面中的麦谷蛋白达到 63%,而 LMW-GS 的含量仅有 30%,与对照的相反,而 LMW-GS 的含量在处理 190~300 min 时最多,可推测主要由 LMW-GS 提供弹性。

由表 4 可知,赋予挂面良好延伸性的麦醇溶蛋白含量也有明显的变化,随着高温高湿处理时间的延长,分子量<10 kDa 的醇溶蛋白含量有增加的趋势,但在 1 000 min 急剧降低,相对分子量较大的亚基含量明显增加。通过品尝也发现挂面在 300 min 时的耐嚼性较好,但 1 000 min 的挂面耐嚼性下降,脆性增加,说明当处理时间达到 1 000 min 后挂面的延伸性变差,从而使挂面的耐嚼性下降。

表 2 小麦粉和挂面中的面筋蛋白分子量分布[†]

Table 2 Molecular weight distributions of gluten from wheat flour and noodles %

处理时间/min	小麦粉			挂面		
	麦谷蛋白	麦醇溶蛋白	小分子蛋白	麦谷蛋白	麦醇溶蛋白	小分子蛋白
未处理	16.0	77.1	5.6	19.4	71.0	8.2
60	16.2	77.0	5.6	19.8	69.1	6.1
85	16.0	77.1	5.3	20.0	70.1	5.8
120	16.0	77.3	5.4	21.1	72.9	6.0
190	17.4	76.8	5.3	22.5	72.4	5.1
300	34.7	58.4	5.4	24.4	69.4	2.7
600	34.5	59.1	2.3	—	—	—
1 000	35.2	62.0	1.2	—	—	—

[†] 相对分子量范围:麦谷蛋白>100 kDa;麦醇溶蛋白 10~100 kDa;小分子蛋白<10 kDa。

表 3 小麦粉和挂面中的麦谷蛋白分子量分布[†]

Table 3 Molecular weight distributions of glutenin from wheat flour and noodles %

处理时间/min	小麦粉			挂面		
	HMW-GS	LMW-GS	小分子蛋白	HMW-GS	LMW-GS	小分子蛋白
未处理	24.8	69.7	5.5	27.0	72.0	0.8
60	25.5	73.0	1.5	27.0	72.0	0.9
85	27.2	70.5	2.1	26.2	72.5	0.9
120	33.3	63.6	3.0	24.3	74.1	1.2
190	32.9	65.0	2.1	21.1	76.5	2.2
300	32.2	66.1	1.6	22.0	76.0	1.3
600	38.5	54.7	6.8	56.7	38.4	4.9
1 000	51.6	42.9	5.5	63.3	30.9	5.8

[†] 相对分子质量范围:HMW-GS>10⁶ kDa;LMW-GS 12~60 kDa;小分子蛋白<10 kDa。

表 4 挂面中麦醇溶蛋白分子量分布[†]

Table 4 Molecular weight distributions of gliadin from noodles %

处理时间/ min	α 、 β 、 γ 、 Ψ 醇溶蛋白	高分子量亚基	小分子蛋白	处理时间/ min	α 、 β 、 γ 、 Ψ 醇溶蛋白	高分子量亚基	小分子蛋白
未处理	85.1	0.0	1.8	190	86.2	0.0	2.4
60	85.7	0.0	1.6	300	86.5	0.0	1.5
85	85.2	0.0	1.5	600	59.7	21.6	18.7
120	85.6	0.0	1.9	1 000	53.4	31.2	3.2

[†] 相对分子质量范围: α 、 β 、 γ 、 Ψ 醇溶蛋白 28~75 kDa;高分子量亚基 95~136 kDa;小分子蛋白<10 kDa。

2.3 蛋白质外貌性质的变化

2.3.1 小麦粉中面筋蛋白及谷蛋白的微观结构 由图 6 可知,小麦粉面筋蛋白未形成网络结构,因此其吸水能力低于挂面面筋蛋白的持水能力;谷蛋白具有加热后失去形成多孔结构的能力,但表面还具有醇溶蛋白与淀粉的结合位点,因此也可结合部分水分子,从而使小麦水洗蛋白具有一定的持水能力。

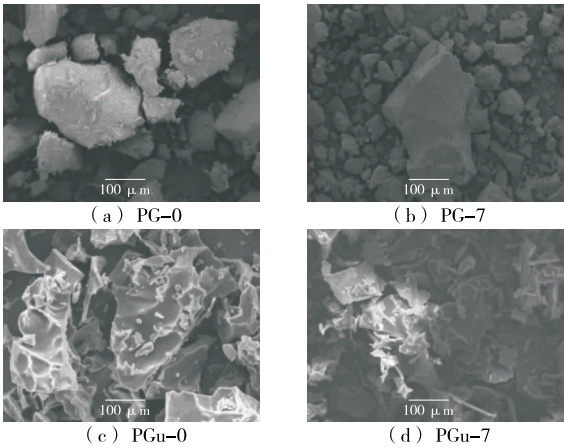


图 6 小麦粉中面筋蛋白及谷蛋白微观结构图
Figure 6 The microstructure of gluten and gliadin in wheat flour

2.3.2 挂面中面筋蛋白、谷蛋白及醇溶蛋白的微观结构

由图 7 可知,挂面面筋蛋白 KG 呈三维网状结构,表面的凹痕及孔隙是结合淀粉的部位。未经高温高湿处理时,淀粉以结合在面筋表面为主,即有凹痕的地方;经过

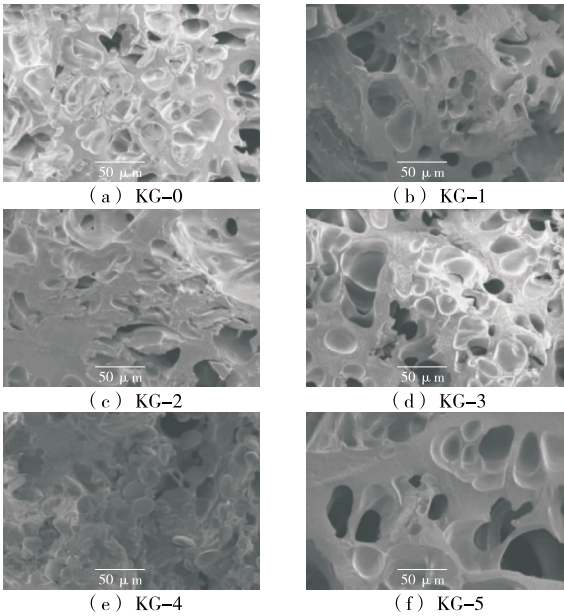


图 7 挂面中的面筋蛋白微观结构图
Figure 7 The microstructure of gluten in noodles

高温高湿处理后,淀粉结合部位由表面向面筋内部延伸,凹痕变深,直至凹痕变成空隙,且随着处理时间的增加,孔隙逐渐变大,如表 5 所示。随着处理时间的增加,面筋网络结构中的空隙增加,进而更有利于淀粉颗粒的填充,从而使整个体系更加致密,提高挂面的硬度,减少挂面的烹调损失。由此可见,处理时间越长,越有利于淀粉颗粒与蛋白网络结构的结合,这也是导致挂面经长时间高温高湿处理后,其淀粉难以提纯的原因。

由图 8 可知,处理初期谷蛋白结构无明显变化,但处理 190 min 后麦谷蛋白表面开始变得不平整,出现凹痕,至 300 min 时出现多孔结构。此处与小麦粉中的麦谷蛋白变化趋势不同,小麦蛋白中的麦谷蛋白加热后失去了形成多孔的能力,但挂面中的麦谷蛋白由于在制面过程已经形成了网络结构,因此加热使面筋网络中的空隙变大,从而使谷蛋白的空隙更大。由此可见高温使面筋中的水分和空气逃逸,使麦谷蛋白产生多孔结构,增强了面

表 5 面筋蛋白微观结构中孔隙平均大小(横径×纵径)

Table 5 The average pore size of microstructure in the gluten μm^2					
KG-0	KG-1	KG-2	KG-3	KG-4	KG-5
40×50	40×50	40×50	50×70	60×70	90×110

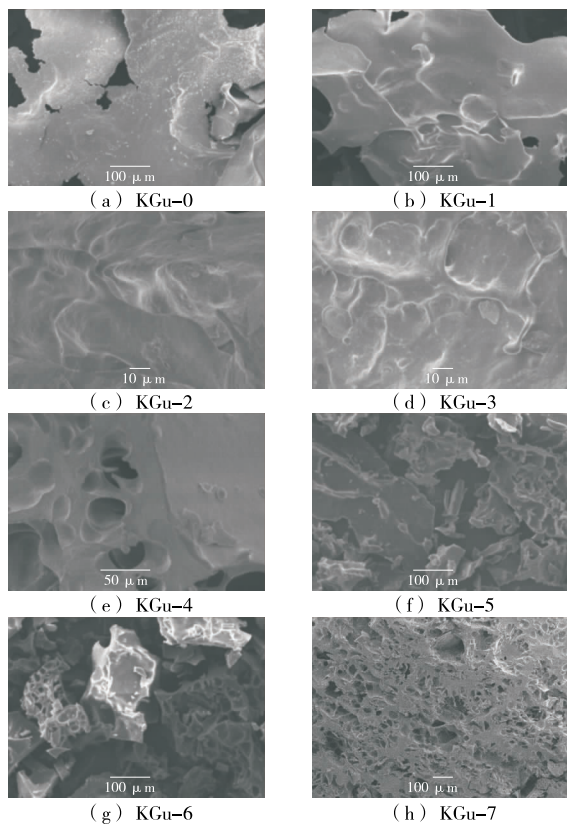


图 8 挂面中的谷蛋白微观结构图

Figure 8 The microstructure of gluten in noodles

筋蛋白的持水能力,从而提高挂面的弹性。

由 9 可知,未处理与处理 300 min 及以下的醇溶蛋白的外貌形状基本无变化,醇溶蛋白的颗粒外观依然可见,但随着处理时间的增加,醇溶蛋白分子间的黏结性增加,分子簇间的结合更加紧密;当处理时间达到 600 min 时,醇溶蛋白的颗粒外观发生不规则变化,醇溶蛋白大量结合在一起。这可能是当处理时间较短时,醇溶蛋白呈颗粒状的膜状体,随着处理时间的延长,膜状体变得松散,弹性下降,黏性增加,导致分子间相互黏结。

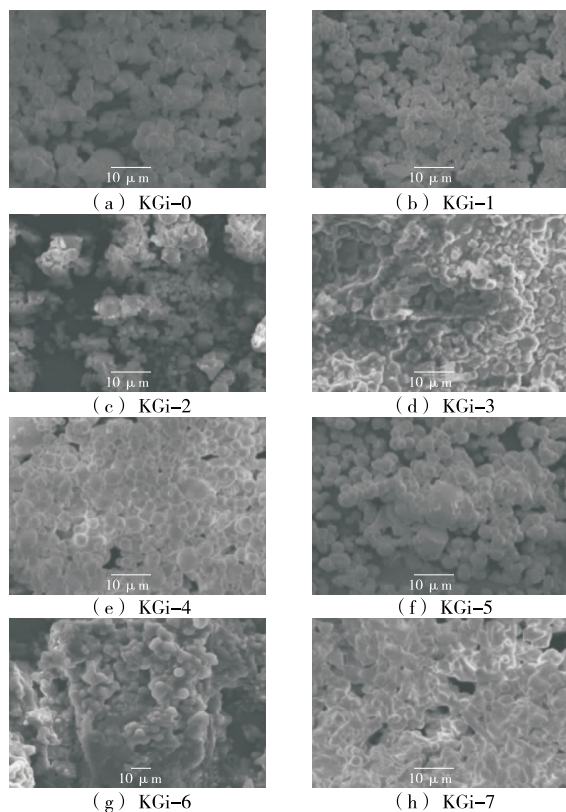


图 9 挂面中的醇溶蛋白微观结构图

Figure 9 The microstructure of gliadin in noodles

3 结论

高温高湿处理工艺对小麦和面条中的蛋白质性质影响有差异。小麦粉经过高温高湿处理后,面筋蛋白与谷蛋白的持水能力基本没有变化、而水溶能力随着处理时间的延长呈逐步下降趋势;面条经高温高湿处理后,面筋蛋白与谷蛋白的持水能力随处理时间延长而逐步升高,且显著高于小麦粉,水溶能力则逐步升高。通过研究分子质量及微观结构,推测导致面条蛋白质性质发生变化的原因是谷蛋白与醇溶蛋白形成的面筋网络经过高温高湿工艺处理后逐步发生分子聚集,形成高分子质量的麦谷蛋白聚合体和更坚实的筋骨结构,但长时间高温高湿处理导致面筋蛋白不能被洗出的原因有待进一步研究。

参考文献

- [1] 石彦国. 食品原料学[M]. 北京: 科学出版社, 2016: 19-26.
SHI Yan-guo. Food materia[M]. Beijing: Science Press, 2016: 19-26.
- [2] 郭兴凤, 张莹莹, 任聪, 等. 小麦蛋白质的组成与面筋网络结构、面制品品质关系的研究进展[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2018, 39(6): 119-124.
GUO Xing-feng, ZHANG Ying-ying, REN Cong, et al. Progresses about the relationship between the composition of wheat proteins and gluten network and their correlation with the quality of wheat flour foods[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2018, 39(6): 119-124.
- [3] 李翠翠, 陆启玉. 面筋蛋白对面条品质影响的研究进展[J]. 粮食与油脂, 2018, 31(7): 4-5.
LI Cui-cui, LU Qi-yu. Progress on the effect of gluten protein on noodle quality[J]. Cereals & Oils, 2018, 31(7): 4-5.
- [4] 张莹莹, 陈园园, 郭兴凤. 面制品制作过程中蛋白质的行为及作用[J]. 粮食加工, 2019, 44(1): 9-14.
ZHANG Ying-ying, CHEN Yuan-yuan, GUO Xing-feng. Behavior and function of proteins in flour products processing[J]. Grain Processing, 2019, 44(1): 9-14.
- [5] CHO Seong-woo, KANG Chon-sik, KO Hyeon Seok, et al. Influence of protein characteristics and the proportion of gluten on end-use quality in Korean wheat cultivars[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2018, 17(8): 1 706-1 719.
- [6] 李芳, 张影全, 李明, 等. 小麦面筋形成及其理化特性影响因素研究进展[J]. 中国食品学报, 2019, 19(11): 278-285.
LI Fang, ZHANG Ying-quan, LI Ming, et al. Research progress on affecting factors of wheat gluten formation and physicochemical properties[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(11): 278-285.
- [7] 张国治, 王慧洁, 刘忠思, 等. 小麦面筋蛋白的组成、功能特性及产业化应用[J]. 粮食加工, 2019, 44(3): 1-4.
ZHANG Guo-zhi, WANG Hui-jie, LIU Zhong-si, et al. Composition, functional characteristics and industrial application of gluten protein in wheat grain processing[J]. Grain Processing, 2019, 44(3): 1-4.
- [8] 刘锐, 张影全, 武亮, 等. 挂面生产工艺及设备研发进展[J]. 食品与机械, 2016, 32(5): 204-208.
LIU Rui, ZHANG Ying-quan, WU Liang, et al. A review of production technology and equipment of dried Chinese noodle[J]. Food & Machinery, 2016, 32(5): 204-208.
- [9] 高国祥, 孙君庚, 阴志刚. 挂面加工品质变化研究进展[J]. 粮食与食品工业, 2019, 26(5): 19-24.
GAO Guo-xiang, SUN Jun-geng, YIN Zhi-gang. Research progress on quality change of noodle processing [J]. Cereal and Food Industry, 2019, 26(5): 19-24.
- [10] 郭颖, 陆启玉. 不同烘干温度挂面中淀粉和蛋白组分变化研究[J]. 粮食与油脂, 2015, 28(2): 13-16.
GUO Ying, LU Qi-yu. Research on the change of starch and protein components in different drying temperature vermicelli[J]. Cereals & Oils, 2015, 28(2): 13-16.
- [11] 林江涛, 黄美琳, 苏东民. 受热对小麦粉品质及其面团特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(6): 54-59.
LIN Jiang-tao, HUANG Mei-lin, SU Dong-min. Effect of heat on the quality of wheat flour and dough[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(6): 54-59.
- [12] SHOMER Ilan, LOOKHART George L, VASILIVER Rosa, et al. Ultrastructure of consecutively extracted and flocculated gliadins and glutenins[J]. Journal of Cereal Science, 1998, 27(1): 27-36.
- [13] TSIAMI A A, BOT A, AGTEROF W G M, et al. Rheological properties of glutenin subfractions in relation to their molecular weight[J]. Journal of Cereal Science, 1997, 26(1): 15-27.
- [14] 惠滢. 高温高湿干燥工艺对挂面产品质量影响研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2018: 7-10.
HUI Ying. Research on influence of high temperature and relative humidity drying technology on quality of CDNS[D]. Xianyang: Northwest A & F University, 2018: 7-10.
- [15] 周小玲. 米谷蛋白的酶法脱酰胺及其功能性质的研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2011.
ZHOU Xiao-ling. The research on the modification and functional properties of rice glutenin[D]. Changsha: Changsha University of Science & Technology, 2011.
- [16] RAGASITS I. Effect of drying on the baking quality of wheat[J]. Cereal Res Commun, 1993, 21(1): 87-92.
- [17] MANN J, SCHIEDT B, BAUMANN A, et al. Effect of heat treatment on wheat dough rheology and wheat protein solubility[J]. Food Science and Technology International, 2013, 20(5): 341-351.
- [18] 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]. 麦类作物学报, 2011, 31(6): 1 183-1 187.
LIU Rui, WEI Yi-min, XING Ya-nan, et al. Review on the relationship between starch and noodle quality in wheat[J]. Journal of Triticeae Crops, 2011, 31(6): 1 183-1 187.