

小麦粉吸水速率与其蛋白组成特性的关系

林江涛¹, 郭晓丹¹, 苏东民^{1,2}

(1. 河南工业大学粮油食品学院, 河南郑州 450000)(2. 郑州轻工业大学食品与生物工程学院, 河南郑州 450000)

摘要: 蛋白质理化特性的差异会导致小麦粉吸水速率的不同。本文以不同吸水速率的小麦粉为研究对象, 测定面粉中粗蛋白含量、面筋蛋白含量、湿面筋含量、面筋指数、沉降值、谷蛋白溶胀指数、氨基酸含量及观测面团内部微观网络结构。结果表明, 当粗蛋白含量 13.25%降低到 6.98%时, 小麦粉的吸水速率从 0.17 g/s 增大到 3.87 g/s; 当麦醇溶蛋白含量从 4.02%下降到 1.53%及麦谷蛋白含量从 5.28%下降到 2.77%时, 因形成的面筋膜的质量下降使小麦粉的吸水速率增大。同时吸水速率随湿面筋含量的减小而显著性增大, 面筋指数对吸水速率无显著性影响。沉降值从 69.50 mL 降到 32.50 mL, 谷蛋白溶胀指数从 5.24%下降到 3.33%, 均与吸水速率呈显著性负相关 ($p < 0.05$)。半胱氨酸含量从 0.14%降低到 0.04%, 导致二硫键含量下降, 使蛋白质间的分子作用力下降。当面团内部面筋网络结构紧密时, 面粉成团时的阻力越大, 其吸水速率越小。本研究表明蛋白质性质与小麦粉吸水速率呈负相关。

关键词: 小麦粉; 蛋白质; 吸水速率

文章编号: 1673-9078(2021)06-108-114

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.6.1036

Study on the Relationship between Water Absorption Speed and Protein Composition Characteristics of Wheat Flour

LIN Jiang-tao¹, GUO Xiao-dan¹, SU Dong-min^{1,2}

(1.College of Food Science and Technology, Henan University of Technology, Zhengzhou 45000, China)

(2.College of Food and Bioengineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 45000, China)

Abstract: The difference in the physical and chemical properties of protein causes the difference in the water absorption speed of wheat flour. Taking the wheat flours with different water absorption speed as research objects, the crude protein content, gluten protein content, wet gluten content, gluten index, sedimentation value, gluten swelling index, amino acid content and the internal micro network structure of the dough were measured in this paper. Results showed that the water absorption speed of wheat flour increased from 0.17 g/s to 3.87 g/s when the crude protein content was reduced from 13.25% to 6.98%. Besides, when the gliadin content decreased from 4.02% to 1.53% and the glutenin content decreased from 5.28% to 2.77%, the quality of the gluten membrane decreased, making the dough easier to shape, and increasing the water absorption speed of wheat flour. Meanwhile, the water absorption speed increased significantly with the decrease of wet gluten content, and the gluten index had no significant effect on the water absorption speed. The sedimentation value decreased from 69.50 mL to 32.50 mL, and the gluten swelling index decreased from 5.24% to 3.33%, both of which were significantly negatively correlated with the water absorption speed ($p < 0.05$). The amino acid content affected the molecular force of the protein. The cysteine content was reduced from 0.14% to 0.04%, resulting in a decrease in the formation of disulfide bonds, and thereby affecting the protein structure. When the internal micro network structure of the dough was tight, the greater the resistance of the flour to agglomerate, the lower the water absorption speed. The results showed that there was a negative correlation between protein properties and water absorption speed of wheat flour.

Key words: wheat flour; protein; water absorption speed

引文格式:

林江涛,郭晓丹,苏东民.小麦粉吸水速率与其蛋白组成特性的关系[J].现代食品科技,2021,37(6):108-114,+97

LIN Jiang-tao, GUO Xiao-dan, SU Dong-min. Study on the relationship between water absorption speed and protein composition characteristics of wheat flour [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(6): 108-114, +97

收稿日期: 2020-11-10

基金项目: 国家重点研发计划重点专项 (2018YFD0401001); 河南省科技厅重大专项 (141100110900)

作者简介: 林江涛 (1973-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 谷物加工技术与品质

通讯作者: 苏东民 (1963-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 粮食资源利用与转化

和面过程是面粉与水充分混合形成面团的必经阶段。依据蛋白质的亲水性,面筋蛋白吸水膨胀形成的面筋作为支撑面团立体的骨架,在面团的形成中起到重要作用^[1]。Baudouin 等发现在水与能量的输入下,水分子进入蛋白质分子内部,与内部非极性基团发生排斥作用,导致非极性基团外翻,外翻后与外面的极性基团发生内聚作用,肽链相互交织形成复杂聚合物麦醇溶蛋白与麦谷蛋白^[2]。二者吸水膨胀形成复杂的立体网状结构,作为面团的骨架使面团保持一定的形状并维持面团特性^[3]。在面团的均质化作用下,吸水膨胀的淀粉颗粒通过氢键作用开始形成淀粉-水-淀粉体系,此时面团形成大而较为空洞的面筋网络。在搅拌力的作用下,面筋网络不断展开,将膨胀的淀粉颗粒包裹于其中,逐渐形成具有延伸性与弹性的面团^[4]。即在整個和面过程中水分充分渗透至小麦粉颗粒内部,促进蛋白质、淀粉吸水的充足性和均匀性,才保证了面筋网络能在和面过程中充分形成^[5]。

实践表明不同品种的小麦粉在同样的和面条件下形成面团时消耗的时间不同,即涉及到小麦粉吸水速率的问题。小麦粉吸水速率分为静态吸水速率与动态吸水速率。王明洁等人将高、中、低筋小麦粉放置在不同温度与湿度条件下测量小麦粉的静态吸水速率,研究发现面筋含量对静态吸水速率无显著性影响^[6]。动态吸水速率即小麦粉遇水并在搅拌力作用下成团的速率,其可分为瞬时吸水速率与平均吸水速率。目前尚无测定小麦粉吸水速率的仪器,通过文献知粉质仪的测试结果中有加水量与形成时间,可以作为表征吸水速率的参数^[7]。即含有 14%水分的小麦粉所能吸收的水量除以当小麦粉面团达到最大稠度时的时间,将其比值定义为小麦粉吸水速率。受限于检测仪器的局限性本文研究对象为动态平均吸水速率。吸水速率可用来描述同等重量的小麦粉从加水开始到和制成为一定稠度特性的面团快慢的能力。本文以不同吸水速率的小麦粉为研究对象,通过对其粗蛋白含量、面筋蛋白含量、湿面筋含量、面筋指数、氨基酸含量进行测定并观测面团内部微观网络结构变化,来分析蛋白质含量和特性对小麦粉吸水速率的影响。

1 材料与方法

1.1 原料

克明高筋、低筋小麦粉,豫粮集团濮阳专用面粉有限公司;金像小麦粉,江苏南顺食品有限公司;百钻中筋、低筋小麦粉,安琪酵母股份有限公司;维良中筋小麦粉,青岛维良食品有限公司;福临门中筋小

麦粉、麦芯粉,中粮面业(海宁)有限公司;思丰超级雪花粉,新乡市思丰粉业有限公司;新良低筋小麦粉,新乡市新良粮油加工有限公司。

1.2 仪器与设备

FA2204B 型电子天平,上海越平科学仪器(苏州)制造有限公司;MJ-III型面筋数量和质量测定仪,杭州大成光电仪器有限公司;MJZ 型面筋指数测定仪,杭州大成光电仪器有限公司;L550 型医用离心机,湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;SHZ-B 型水浴恒温振荡器,上海博讯医疗生物仪器股份有限公司;Kjeltec 8400 全自动凯氏定氮仪,瑞典福斯分析仪器公司;冷冻干燥机,北京博医康实验仪器有限公司;S-433(D)氨基酸分析仪,德国 Sykam(赛卡姆);810152 自动型粉质仪,德国 Brabender 公司。

1.3 实验方法

1.3.1 小麦粉吸水速率的测定

参照 GB/T 14614-2206,使用粉质仪法测定,选用 300 g 和面钵。

$$V = \frac{WZ}{DDT}$$

式中:V,小麦粉吸水速率,g/s;WZ,加水量,g;DDT,面团形成时间,s。

1.3.2 小麦粉中粗蛋白含量的测定

称取 0.35 g 小麦粉放入消化管中,后加入 0.5 g 硫酸铜与 4.5 g 硫酸钾,加入 10 mL 浓硫酸后放置在消化炉消化,冷却消化管后用凯氏定氮仪进行测量。换算系数 5.7。

1.3.3 面筋蛋白组分的提取及含量的测定

采用连续振荡法提取面筋蛋白^[8]。称取 1 g 小麦粉于 15 mL 离心管中,加入 10 mL 蒸馏水,用玻璃棒搅拌成匀浆。将离心管放入 50 °C 恒温水浴振荡 0.5 h。后 4000 r/min 离心 20 min,上清液倒入 50 mL 离心管中。用蒸馏水洗残渣 2 次,每次加水 10 mL,水浴振荡 10 min,离心 10 min,上清液并入提取液中,此为清蛋白组分。上述残渣中加入 10 mL 10%的氯化钠溶液,同前方法提取离心,上清液并入提取液中,此为球蛋白组分。

向上述残渣中加入 10 mL 75%乙醇,先放入 50 °C 水浴振荡 5 min,后在 5 °C 下水浴振荡 30 min。同前离心。用乙醇洗残渣两次,每次于 25 °C 水浴振荡 5 min。上清液并入提取液中,此为麦醇溶蛋白组分。向上述残渣中加入 0.2%氢氧化钠溶液 10 mL,同清蛋白的方法提取离心。上清液并入离心管中,此为麦谷

蛋白组分。

将麦醇溶蛋白与麦谷蛋白提取液倒入消化管后,后加入 0.5 g 硫酸铜与 4.5 g 硫酸钾,加入 10 mL 浓硫酸后放置 12 h。后续测定与粗蛋白步骤一致。

1.3.4 湿面筋含量及面筋指数的测定

参照 GB/T 5506.2-2008 进行湿面筋含量测定。参照 LS/T 6102-1995 进行面筋指数测定。

1.3.5 SDS 沉降值及谷蛋白溶胀指数的测定

参照 GB/T 15685-2011 进行小麦沉降值测定。参照 GB/T 26627.1-2011 进行小麦谷蛋白溶胀指数测定。

1.3.6 氨基酸含量的测定

参照 GB 5009.124-2016 中的方法测定小麦粉中氨基酸含量。

1.3.7 面筋网络微观结构测定

采用共聚焦激光扫描显微镜 (CLSM) 对面团进行微观结构的观测,样品制备参照 Huang 等人^[9]的方法,并有改动。准确称取 10 g 面粉,加 5 mL 蒸馏水,使用面筋仪和面 3 min 后制得 1 cm³ 左右的小块。-20 ℃ 冷冻 24 h 后,用冷冻切片机切成 10 μm 左右薄片置于载玻片上。室温条件下用二甲基甲酰胺溶液制备罗丹明 B (0.0025%) 15 min 后用蒸馏水冲洗掉多余染料。每个待测薄片进行 4 次不同部位观测,所有样品均在较高倍数 (20×40) 下进行观察,以便给出更直观的面团网络结构形态。

表 1 不同品牌小麦粉吸水速率的差异

Table 1 Determination of water absorption speed of wheat flour

不同吸水速率小麦粉	形成时间/min	加水量/g	吸水速率/(g/s)
克明高筋粉	20.98	208.5	0.17
金像粉	10.10	198	0.33
百钻中筋粉	5.65	183.9	0.54
维良中筋粉	4.93	188.4	0.64
福临门中筋粉	2.22	190.5	1.43
思丰超级粉	1.63	174.9	1.83
克明低筋粉	1.47	170.4	1.94
百钻低筋粉	1.52	176.4	2.09
福临门麦芯粉	1.40	190.5	2.27
新良低筋粉	0.73	170.1	3.87
平均值	5.06	208.5	1.51
变幅	0.73~20.98	170.1~208.5	0.17~3.87
变异系数	124.32	6.7	55

1.4 数据处理

数据结果以“平均值±标准偏差”来表示。采用 SPSS 20 软件对数据进行显著性分析,不同字母表示

样品间存在显著性差异 ($p<0.05$)。

2 结果与讨论

2.1 不同品牌小麦粉吸水速率分析

如表 1 所示,不同品种小麦粉间吸水速率变幅为 0.17~3.87,不同品种间差异性显著,平均值为 1.51。在下文的叙述中不同品牌的小麦粉将按吸水速率从低到高排序, V1~V10。

2.2 不同吸水速率小麦粉的粗蛋白含量

小麦粉中的粗蛋白含量与面制品品质密切相关^[10]。图 1 表明,随着小麦粉吸水速率的增大,其粗蛋白含量从 13.25% 降低到 6.98%,显著性下降 ($p<0.05$)。粗蛋白含量下降,相应的其面粉中淀粉含量呈上升趋势。淀粉的吸水量为自身重量的 0.5 倍左右,但因其较为疏松的内部空间,使得淀粉的吸水速率相对蛋白质来说较大^[11]。Bean 等人^[12]研究发现小麦面粉蛋白质含量和不可溶的聚合体蛋白质含量高度相关,即面粉具有较高的蛋白质含量,可具有高含量的不可溶聚合体蛋白质。因此随着小麦粉蛋白质含量的下降,其中能吸水形成湿面筋的水不溶性蛋白质也随之下降。面筋含量越少,面团在搅拌时所受阻力越小,小麦粉越容易吸水。

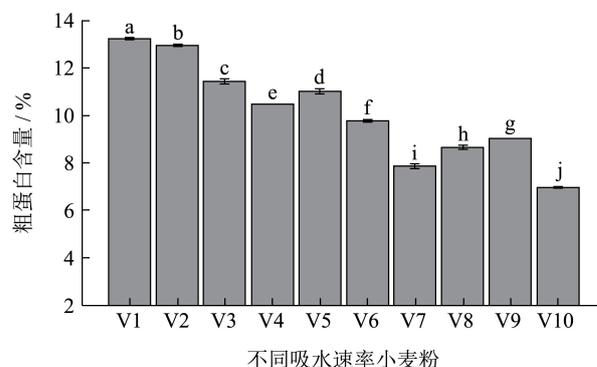


图 1 不同吸水速率小麦粉中的粗蛋白含量

Fig.1 Crude protein content in wheat flour at different water absorption speed

注:不同小写字母表示差异性显著, $p<0.05$ 。

2.3 不同吸水速率小麦粉面筋蛋白含量

麦醇溶蛋白与麦谷蛋白相互交联共同形成了面筋网络,赋予面团黏弹性^[13]。由图 2 所示,在面筋蛋白的组成中,麦谷蛋白含量要显著高于麦醇溶蛋白。同时随着小麦粉吸水速率的增大,麦醇溶蛋白含量从 4.02% 下降到 1.53%,麦谷蛋白含量从 5.28% 降低到 2.77%,显著性下降 ($p<0.05$)。Ceresino 等人^[14]研究

发现在面团的形成初期, 麦谷蛋白首先吸水胀润, 麦醇溶蛋白逐渐胀润, 形成混乱不规则的面筋网络结构。其后二者在搅拌力的继续作用下使网络结构得到规则伸展, 形成光滑且富有粘弹性的面筋膜^[15]。麦醇溶蛋白与麦谷蛋白的含量越高, 形成的面筋膜的韧性越好。面团在形成的过程中, 需要不断被破坏已经形成的面筋膜, 才能让吸水作用继续进行。在相同的搅拌条件下, 面筋膜的韧性越好, 需要消耗的时间越多。因此随着麦醇溶蛋白与麦谷蛋白含量的下降, 其面筋膜的韧性也随之下降, 使面团的形成时间缩短, 因此小麦粉的吸水速率也随之增大。

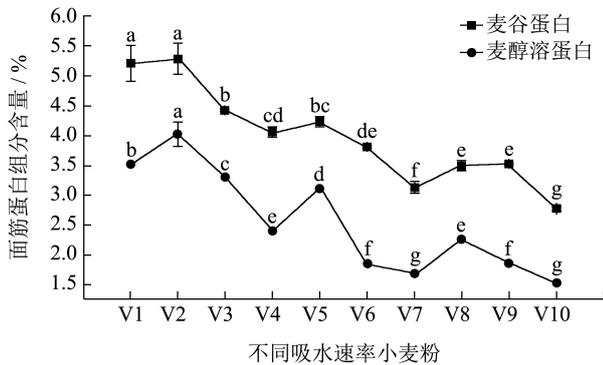


图2 不同吸水速率小麦粉中面筋蛋白含量

Fig.2 Gluten protein content in wheat flour at different water absorption speed

注: 同一指标不同小写字母表示样品间差异显著, $p < 0.05$ 。

2.4 不同吸水速率小麦粉湿面筋含量与面筋指数

当面粉加水后, 水分开始与醇溶蛋白及麦谷蛋白分子外侧的极性基团结合。Nutter 等人^[16]研究发现随着蛋白质分子吸水过程的不断延续, 水分子渗入蛋白质分子内部, 使内部非极性基团外翻, 水化了的极性基团内聚, 相互交织在一起, 形成面筋网络, 并将面粉中的其它成分如淀粉和脂质包围起来, 形成独特的具有粘弹性的面团。因此面筋的含量与质量对面团的品质有着决定性的作用。面筋指数是反映面团中面筋质量的标准, 面筋指数越大, 面筋质量越好, 反之越差^[17]。

由图3可知, 随着小麦粉吸水速率的增大, 湿面筋含量从 38.81%降低到 19.19%, 显著性下降 ($p < 0.05$)。面筋指数对吸水速率无显著性影响。面筋形成过程主要是蛋白质分子通过氢键发生水合作用。由于水合作用, 面筋蛋白产生一定的内聚性和黏附性。由2.3可知随着小麦粉吸水速率的增加, 其麦醇溶蛋白与麦谷蛋白的含量显著性下降趋势, 因此导致了湿

面筋含量的下降。面筋蛋白含量高即在面粉在成团搅拌过程中所形成的面筋膜的量及韧性越好, 反之则面筋膜的质量较弱, 容易被搅破, 从而使小麦粉的吸水速率增加。

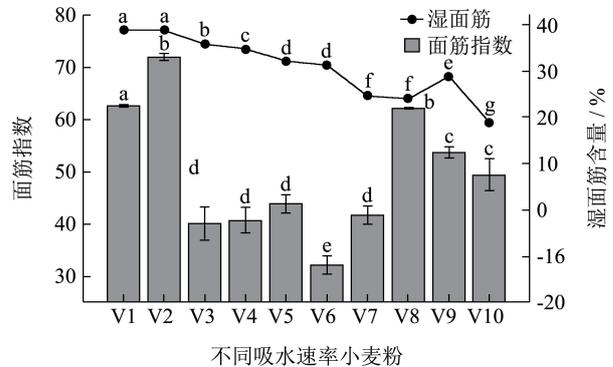


图3 不同吸水速率小麦粉中湿面筋含量及面筋指数

Fig.3 Content and gluten index of wet gluten in wheat flour at different water absorption speed

注: 不同小写字母表示差异性显著, $p < 0.05$ 。

2.5 不同吸水速率小麦粉沉淀指数与谷蛋白溶胀指数

沉降值是悬浮液中的面粉面筋与表面活性剂 SDS 结合, 在酸的作用下发生膨胀, 形成絮状沉积物。沉降值是反映面筋蛋白质数量及质量的一个综合指标, 沉降值越大, 表明面筋的量多或者质较好^[18]。谷蛋白溶胀指数 (SIG) 反映谷蛋白的溶胀特性, 赵清宇等人^[19]研究发现谷蛋白溶胀指数是不溶性谷蛋白含量 (GMP) 和谷蛋白含量的一个间接反映指标。

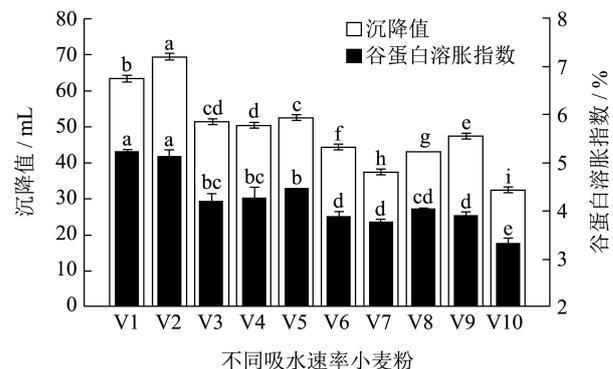


图4 不同吸水速率小麦粉沉降值与谷蛋白溶胀指数

Fig.4 Settlement values of wheat flour at different water absorption speed and glutenin swelling index

注: 同一指标不同小写字母表示样品间差异显著, $p < 0.05$ 。

由图4可知, 随着小麦粉吸水速率的增大, 沉降值从 69.50 mL降低到 32.50 mL, 谷蛋白溶胀指数从 5.24%下降到 3.33%, 显著性下降 ($p < 0.05$), 且沉降值与 SIG 有较强的相关性。从2.4可知面筋含量随小

麦粉吸水速率增大呈下降趋势,这与前人研究一致,沉降值与面筋蛋白含量有极强的相关性。在向面粉中加入 SDS 乳酸溶液后,不溶性谷蛋白很快就处于溶胀和完全溶胀的阶段,而可溶性谷蛋白此时正处于溶胀

和分解的阶段。当谷蛋白含量较高时,谷蛋白的溶胀量与离心后的沉淀量越大,从而 SIG 越大。沉降值与 SIG 与小麦粉的吸水速率皆呈负相关,因此可以作为衡量小麦粉吸水速率的重要指标。

表 2 不同吸水速率小麦粉中氨基酸含量变化

Table 2 Changes of amino acid content in wheat flour at different water absorption speed

氨基酸种类	V1	V2	V3	V4	V5
天冬氨酸	0.47±0.02 ^b	0.53±0.00 ^a	0.45±0.01 ^{bc}	0.39±0.02 ^{de}	0.45±0.04 ^{bc}
苏氨酸	0.32±0.02 ^{ab}	0.33±0.00 ^a	0.29±0.02 ^{bc}	0.24±0.01 ^{de}	0.27±0.03 ^{cd}
丝氨酸	0.56±0.03 ^{ab}	0.62±0.00 ^a	0.52±0.02 ^{bc}	0.45±0.02 ^{de}	0.48±0.05 ^{cd}
谷氨酸	4.54±0.24 ^b	5.13±0.01 ^a	4.10±0.10 ^c	3.65±0.18 ^d	3.75±0.35 ^{cd}
甘氨酸	0.45±0.05 ^b	0.50±0.02 ^a	0.40±0.01 ^{bc}	0.34±0.02 ^d	0.36±0.01 ^{cd}
丙氨酸	0.35±0.02 ^b	0.39±0.01 ^a	0.33±0.00 ^{bc}	0.27±0.02 ^d	0.31±0.00 ^c
半胱氨酸	0.11±0.04 ^{ab}	0.14±0.03 ^a	0.13±0.02 ^a	0.11±0.00 ^{ab}	0.08±0.02 ^{bc}
缬氨酸	0.48±0.02 ^b	0.56±0.01 ^a	0.47±0.01 ^{bc}	0.41±0.02 ^{cd}	0.44±0.04 ^{bc}
蛋氨酸	0.16±0.01 ^b	0.19±0.00 ^a	0.14±0.02 ^{bc}	0.12±0.01 ^{cd}	0.15±0.02 ^b
异亮氨酸	0.45±0.00 ^b	0.48±0.00 ^a	0.41±0.01 ^c	0.36±0.02 ^d	0.36±0.02 ^d
亮氨酸	0.83±0.02 ^b	0.92±0.01 ^a	0.77±0.02 ^{bc}	0.68±0.04 ^d	0.72±0.07 ^{cd}
酪氨酸	0.43±0.02 ^a	0.40±0.01 ^{ab}	0.38±0.01 ^{bc}	0.28±0.01 ^{ef}	0.34±0.02 ^{cd}
苯丙氨酸	0.61±0.01 ^b	0.68±0.00 ^a	0.54±0.01 ^c	0.47±0.01 ^d	0.5±0.04 ^{cd}
组氨酸	0.40±0.06 ^a	0.4±0.01 ^{ab}	0.37±0.00 ^{abc}	0.33±0.03 ^{bcd}	0.33±0.03 ^{bcd}
赖氨酸	0.23±0.01 ^b	0.26±0.00 ^a	0.23±0.00 ^{bc}	0.19±0.01 ^d	0.22±0.02 ^{bc}
精氨酸	0.43±0.00 ^b	0.49±0.00 ^a	0.42±0.01 ^b	0.35±0.01 ^c	0.42±0.04 ^b
脯氨酸	1.40±0.01 ^b	1.68±0.00 ^a	1.40±0.04 ^b	1.31±0.05 ^c	1.23±0.01 ^d
氨基酸种类	V6	V7	V8	V9	V10
天冬氨酸	0.43±0.01 ^{bcd}	0.35±0.02 ^{ef}	0.38±0.03 ^{de}	0.41±0.02 ^{cd}	0.30±0.01 ^f
苏氨酸	0.23±0.00 ^e	0.19±0.01 ^f	0.23±0.02 ^e	0.23±0.00 ^e	0.18±0.01 ^f
丝氨酸	0.39±0.00 ^{ef}	0.31±0.01 ^g	0.36±0.05 ^{fg}	0.41±0.00 ^{ef}	0.32±0.02 ^g
谷氨酸	3.40±0.03 ^d	2.69±0.01 ^{ef}	2.93±0.33 ^e	3.46±0.05 ^d	2.48±0.12 ^f
甘氨酸	0.33±0.02 ^d	0.28±0.02 ^e	0.34±0.02 ^d	0.34±0.02 ^d	0.27±0.00 ^e
丙氨酸	0.28±0.00 ^d	0.23±0.00 ^e	0.27±0.02 ^d	0.28±0.00 ^d	0.22±0.00 ^e
半胱氨酸	0.06±0.01 ^{bc}	0.05±0.00 ^c	0.06±0.01 ^{bc}	0.07±0.00 ^{bc}	0.04±0.02 ^c
缬氨酸	0.4±0.00 ^{de}	0.32±0.00 ^f	0.36±0.03 ^e	0.39±0.00 ^{de}	0.29±0.01 ^f
蛋氨酸	0.12±0.02 ^{bcd}	0.11±0.00 ^d	0.12±0.01 ^{bcd}	0.13±0.00 ^{bcd}	0.08±0.02 ^e
异亮氨酸	0.36±0.01 ^d	0.28±0.00 ^{ef}	0.31±0.03 ^e	0.36±0.01 ^d	0.27±0.00 ^f
亮氨酸	0.65±0.01 ^{de}	0.52±0.00 ^{fg}	0.59±0.06 ^{ef}	0.66±0.00 ^{de}	0.49±0.00 ^g
酪氨酸	0.31±0.00 ^{de}	0.24±0.04 ^f	0.28±0.02 ^{ef}	0.31±0.03 ^{de}	0.25±0.00 ^f
苯丙氨酸	0.45±0.01 ^{de}	0.37±0.01 ^f	0.41±0.04 ^{ef}	0.45±0.01 ^{de}	0.37±0.02 ^f
组氨酸	0.33±0.02 ^{cd}	0.26±0.01 ^e	0.3±0.02 ^{de}	0.31±0.01 ^{cde}	0.26±0.03 ^e
赖氨酸	0.19±0.00 ^d	0.15±0.00 ^e	0.2±0.02 ^{cd}	0.20±0.00 ^d	0.15±0.00 ^e
精氨酸	0.35±0.00 ^c	0.27±0.01 ^d	0.34±0.03 ^c	0.34±0.01 ^c	0.27±0.01 ^d
脯氨酸	1.13±0.00 ^e	0.85±0.07 ^{fg}	0.92±0.00 ^f	1.16±0.01 ^{de}	0.83±0.04 ^g

注:同一列中不同字母代表数据间具有显著性差异($p<0.05$)。

2.6 不同吸水速率小麦粉中氨基酸含量

由表 2 可知小麦粉中谷氨酸、脯氨酸、亮氨酸含量较高。随着小麦粉吸水速率的增大,天冬氨酸、

苏氨酸、丝氨酸、缬氨酸、异亮氨酸含量显著性下降 ($p < 0.05$), 其余氨基酸含量呈现部分下降趋势。Dangi 等人^[20]研究表明, 麦醇溶蛋白多由非极性氨基酸组成, 其中含量丰富的谷氨酸主要以谷氨酰胺的形式存在, 谷氨酰胺和非极性氨基酸以氢键方式键合蛋白质。半胱氨酸含量虽少, 但大部分是以氧化的形式存在, 即游离巯基在面粉的加工过程中形成分子间二硫键, 这对面筋结构的形成有着重要作用。同时极性氨基酸以静电的方式键合蛋白质^[21]。麦谷蛋白亚基之间凭借二硫键形成大分子聚合体, 并通过非共价力等连接成紧密、有序的三维结构, 而体积较小的球状麦醇溶蛋白则通过氢键和疏水键结合到麦谷蛋白形成的网络主干结构中^[22]。谷氨酸含量从 4.54% 降低到 2.48%、脯氨酸含量从 1.40% 降低到 0.83%、半胱氨酸含量从 0.14% 降低到 0.04%, 因此随着氨基酸含量的下降, 蛋白质分子间的作用力随之下落, 使蛋白质的结构相对较差, 从而面筋蛋白的结构韧性变弱, 相对较易形成面团, 从而使小麦粉的吸水速率增大。

2.7 不同吸水速率对面团微观网络结构的影响

面筋蛋白在水合作用和能量输入的条件下, 形成连续立体的立体网状结构并将淀粉颗粒包裹于其中^[23], 这是面团形成的基础。由于小麦粉的吸水速率不同, 在相同的揉混条件下, 面团达到的状态也不尽相同。通过 CLSM 可以观测面团内部面筋网络的结构差异。

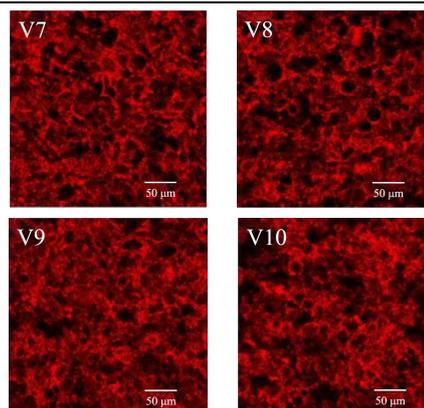
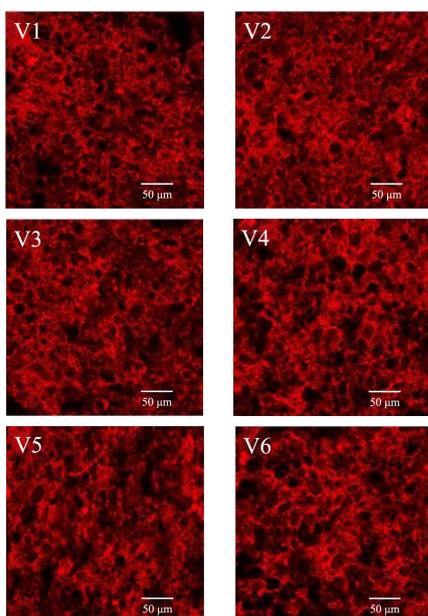


图5 不同吸水速率面团中的微观网络结构

Fig.5 Microstructure of dough with different water absorption speed

如图5所示, 红色部分是面筋网络结构及水溶性蛋白质, 小块的椭圆或圆形黑色部分是淀粉颗粒, 大块不规则空隙为面团内部的空洞^[24]。从图中可以看出在吸水速率较小的小麦粉中, 淀粉与蛋白的结合较为紧密, 这可能是由于面筋蛋白含量较高, 形成的面筋网络更为紧致, 将淀粉颗粒紧紧包裹。吸水速率较大的粉中, 面筋网络结构较为疏松, 可能是由于淀粉含量较高, 稀懈了面筋结构。因此面团内部结构紧密时水分不易渗入, 导致小麦粉的吸水速率较低。而面团内部疏松多空时, 水分更易渗入, 故使小麦粉有较高的吸水速率。

3 结论

本文以不同吸水速率小麦粉为基础, 测定了粗蛋白含量、面筋蛋白含量、湿面筋含量、面筋指数、沉降值、谷蛋白溶胀指数、氨基酸含量及观测了面团的微观网络结构。实验结果表明蛋白质特性对小麦粉吸水速率有显著性影响。蛋白质含量越高, 小麦粉的吸水速率越低; 面筋蛋白含量越高从而形成的面筋膜质量越好, 使面团的形成消耗较多的时间; 湿面筋含量随吸水速率的增大而显著性减小, 面筋指数对吸水速率无显著性影响; 沉降值与谷蛋白溶胀指数与吸水速率呈显著性负相关; 小麦粉中半胱氨酸含量下降时会影响麦谷蛋白分子间的二硫键形成, 导致分子间作用力下降, 使面筋结构疏松, 小麦粉吸水速率升高。同时面团内部结构也会对吸水速率产生影响, 面团内部结构紧密时, 水分子不易渗透, 从而小麦粉吸水速率较低, 反之则高。因此应当根据生产的实际需要, 选择适宜吸水速率的小麦粉。

参考文献

- [1] Baudouin F, Nogueira T L, Mijnsbrugge A, et al. Mechanochemical activation of gluten network development during dough mixing [J]. *Journal of Food Engineering*, 2020, 39(6): 21-31
- [2] Peighambardoust S H, Goot A J V D, Boom R M, et al. Mixing behaviour of a zero-developed dough compared to a flour-water mixture [J]. *Journal of Cereal Science*, 2006, 44(1): 12-20
- [3] 王录通.和面工艺对面团及馒头品质的影响研究[D].郑州:河南工业大学,2018
WANG Lu-tong. Study on the effect of mixing dough's process to steamed bread quality and dough [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2018
- [4] 何承云,林向阳,郑丹丹.淀粉和面筋蛋白对面团流变特性的影响[J].农产品加工,2006,5(9):36-37
HE Cheng-yun, LIN Xiang-yang, ZENG Dan-dan. Effects of starch and gluten on the rheological properties of dough [J]. *Farm Products Processing*, 2006, 5(9): 36-37
- [5] Liu R, Zhang Y, Zhang B, et al. Influence of vacuum mixing on structural characteristics and physical properties of noodle dough [J]. *Cereal Chemistry Journal*, 2016, 93(3): 226-233
- [6] 王明洁,吴小丽,袁建,等.小麦粉水分的吸附与解吸特性[J].食品科学,2012,33(19):45-51
WANG Ming-jie, WU Xiao-li, YUAN Jian, et al. Moisture adsorption and desorption characteristics of wheat flour [J]. *Food Science*, 2012, 33(19): 45-51
- [7] 刘志伟,何宁,赵阳,等.粉质仪和拉伸仪在面粉生产中的应用[J].农业科技与装备,2008,30(5):47-49
LIU Zhi-wei, HE Ning, ZHAO Yang, et al. Application of farinograph and extensograph in the flour production [J]. *Agricultural Science & Technology and Equipment*, 2008, 30(5): 47-49
- [8] 王晓曦,付苗苗.小麦胚乳中蛋白质组分分布及其对面团流变学特性影响的研究[J].河南工业大学学报(自然科学版),2007,28(3):9-12
WANG Xiao-xi, FU Miao-miao. Study on protein components distribution in wheat endosperm and their impacts on dough dough rheological properties [J]. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, 2007, 28(3): 9-12
- [9] Huang Y C, Lai H M. Noodle quality affected by different cereal starches [J]. *Journal of Food Engineering*, 2009, 97(2): 135-143
- [10] 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. 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
- [11] 付苗苗,牛桂芬.面粉中淀粉及组分和面筋蛋白对面团粉质特性的影响[J].食品研究与开发,2015,36(16):28-33
FU Miao-miao, NIU Gui-fen. The influence of starch and composition and gluten protein on silty properties of dough [J]. *Food Research and Development*, 2015, 36(16): 28-33
- [12] Bean S R, Bietz J A, Lookhart G L. High-performance capillary electrophoresis of cereal proteins [J]. *Journal of Chromatography*, 1998, 6(1-2): 25-41
- [13] Koga S, Böcker U, Moldestad A, et al. Influence of temperature during grain filling on gluten viscoelastic properties and gluten protein composition [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2016, 96(1): 122-130
- [14] Ceresino E B, Kuktaitė R, Sato H H, et al. Impact of gluten separation process and transglutaminase source on gluten based dough properties [J]. *Food Hydrocolloids*, 2018, 8(10): 661-669
- [15] 刘传富,董海洲,万本屹,等.面粉面筋及其对焙烤食品影响[J].粮食与油脂,2002,16(1):35-37
LIU Chuan-fu, DONG Hai-zhou, WAN Ben-yi, et al. Flour gluten and its effect on baked goods [J]. *Cereals & Oils*, 2002, 16(1): 35-37
- [16] Nutter J, Saiz A I, Iurlina M O. Microstructural and conformational changes of gluten proteins in wheat-rye sourdough [J]. *Journal of Cereal Science*, 2019, 87(3): 91-97
- [17] 陆启玉,杨宏黎,韩旭.面筋含量与面筋指数在面团熟化过程中的变化[J].粮油食品科技,2008,18(3):13-14,19
LU Qi-yu, YANG Hong-li, HAN Xu. The changes of gluten content and gluten index during dough rest [J]. *Science and Technology of Cereals, Oils and Foods*, 2008, 18(3): 13-14, 19
- [18] 郑学玲,徐微微,李利民.不同系统面粉 Zeleny 沉降值和 SDS 沉降值的比较研究[J].河南工业大学学报(自然科学版),2007,28(4):22-25
ZHENG Xue-ling, XU Wei-wei, LI Li-min. Comparative research on Zeleny and SDS sedimentation value of different wheat milling streams [J]. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, 2007, 28(4): 22-25

