

面粉中破损淀粉含量对冷冻熟面品质的影响

Effects of damaged starch in wheat flour on qualities of frozen cooked noodles

岳凤玲^{1,2} 朱科学^{1,2} 郭晓娜^{1,2}

YUE Feng-ling^{1,2} ZHU Ke-xue^{1,2} GUO Xiao-na^{1,2}

(1. 江南大学食品学院, 江苏 无锡 214122; 2. 江苏省食品安全与质量控制协同创新中心, 江苏 无锡 214122)

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China;

2. Collaborative Innovation Center for Food Safety and Quality Control, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

摘要:为了研究面粉中破损淀粉含量对冷冻熟面品质的影响,通过从面粉中分离淀粉并对淀粉球磨处理,得到破损淀粉,并以一定比例添加到原面粉中,研究破损淀粉对面粉糊化品质和膨胀特性的影响,进而探究对冷冻熟面蒸煮品质、质构特性、可冻结水含量的影响,并采用激光共聚焦显微镜观察面条微观结构的变化。结果表明,随着面粉中破损淀粉的含量从 4.3% 增加到 7.9%,面粉的峰值黏度、终值黏度、崩解值和回生值均显著降低($P \leq 0.05$),面粉的膨胀势显著增加($P \leq 0.05$),冷冻熟面的全质构特性硬度、咀嚼性、弹性以及黏附性均显著增加($P \leq 0.05$),经微观结构观察吸水膨胀的破损淀粉对冷冻熟面的面筋网络有一定的破坏作用,冷冻熟面的可冻结水含量、蒸煮损失率和断条率显著增大,拉伸力和拉伸距离显著降低($P \leq 0.05$)。该研究可为探究冷冻熟面专用粉的特性提供参考。

关键词:破损淀粉;冷冻熟面;面条品质;可冻结水含量;微观结构

Abstract: In order to determine the effects of damaged starch in wheat flour on the quality of frozen cooked noodles, starch was isolated from wheat flour and then ball milled to obtain damaged starch. The damaged starch was added into wheat flour with a certain percentage. The effects of damaged starch on the pasting properties and swelling power of wheat flour, as well as on the cooking qualities, texture properties, amount of freezable water and microstructure observed by confocal laser scanning microscopy (CLSM) of frozen cooked noodles were investigated. Results showed with the increment of damaged starch content from 4.3% to 7.9%, the pasting properties including peak viscosity (PV), final viscosity (FV), breakdown vis-

cosity (BDV) and setback viscosity (SBV) of wheat flour decreased significantly ($P \leq 0.05$). Meanwhile, the swelling power of wheat flour increased significantly ($P \leq 0.05$). Furthermore, the hardness, chewiness, springiness and adhesiveness of frozen cooked noodles increased with the addition of damaged starch. However, as the content of damaged starch increased, it was observed by CLSM swollen damaged starch destroyed the gluten network structure of frozen cooked noodles to some degree. The amount of freezable water, cooking loss and broken rate increased while tension force and tension distance decreased significantly ($P \leq 0.05$). The results provided an important reference to the unique characteristics of wheat flour for the frozen cooked noodles.

Keywords: damaged starch; frozen cooked noodles; noodle quality; freezable water; microstructure

小麦粉在加工过程中,由于机械力的作用不可避免地会使淀粉颗粒的外表形状和内部结构受到损伤,产生破损淀粉^[1]。破损淀粉由于结构受到损伤使面团的吸水率比原淀粉的更高^[2],并且破损淀粉受到机械损伤使淀粉颗粒的内部结构更易暴露在外面,对酶的敏感性更强^[3]。小麦粉中破损淀粉的含量对面条品质具有重要影响,已有研究报道^[4-6]破损淀粉含量的增加会使面条的蒸煮品质有所劣变,面条颜色加深,黏性减小,适口性差,食用品质差。

目前研究较多的是破损淀粉对生鲜面品质的影响,而破损淀粉对冷冻熟面品质影响的研究没有相关报道,冷冻熟面是面条煮至其食用状态后快速冷冻,并在冻结状态下能长期保存,复热解冻后经简单调理即可食用^[7],具有水分含量高、口感光滑、保质期长、食用方便等优点。但由于冷冻熟面的加工工艺不同于一般的面条,是将面条熟制后进行冻藏,在冻藏过程中,淀粉和蛋白质均发生变化^{[8]46-47},复热后口感不同于其他面条。因此,破损淀粉对冷冻熟面品质的影响不同于其他的面条。本通过改变小麦粉中破损淀粉的含量,首

基金项目:国家自然科学基金项目(编号:31571871)

作者简介:岳凤玲,女,江南大学在读硕士研究生。

通信作者:朱科学(1978—),男,江南大学教授,博士。

E-mail: kxzh@jiangnan.edu.cn

收稿日期:2017-01-22

先研究破损淀粉的含量从4.3%增加到7.9%,对小麦粉糊化品质和膨胀特性的影响,进而更好地探究对冷冻熟面品质的影响机理。

1 材料与方法

1.1 材料

香雪面粉:水分含量12.16%,灰分含量0.41%,蛋白质含量11.05%,淀粉含量67.36%,中粮集团有限公司。

1.2 仪器与设备

真空和面机:ZHM5-S型,郑州东方尚武食品机械有限公司;

自动连续压面机:YJ-241型,阳政机械有限公司;
面条机:SK-240型,成都索拉泰克精密机械有限公司;
医用低温箱(温度范围:−40~−20℃):MDF-U5412型,三洋电机株式会社;

行星式球磨机:XMMM型,嘉兴中俄技术转化中心;
快速黏度分析仪:RVA 4500型,澳大利亚波通公司;
物性分析仪:TA.XT plus型,英国Stable Micro Systems公司;

差示扫描量热仪:DSC8500型,美国Perkin Elluer公司;
激光共聚焦显微镜:LSM710型,德国蔡司公司。

1.3 方法

1.3.1 破损淀粉的制备 根据陆启玉等^[9]的方法,从小麦粉中分离出淀粉,采用球磨机于25 Hz球磨12 min得到含有破损淀粉的样品。

1.3.2 破损淀粉含量的测定 破损淀粉含量的测定参照AACC方法76-31,测得小麦粉中的破损淀粉含量为4.3%,球磨后的淀粉中破损淀粉含量为44.5%。

1.3.3 冷冻熟面的制作 以0%,3%,6%,9%的比例添加含有破损淀粉的淀粉到小麦粉中得到混合粉,则混合粉中破损淀粉的含量按式(1)计算:

$$C = P \times 44.5\% + (1 - P) \times 4.3\%, \quad (1)$$

式中:

C——混合粉中破损淀粉的含量,%;

P——添加比例,依次为0%,3%,6%,9%。

因此,由式(1)计算得出混合粉中的破损淀粉含量依次为4.3%,5.5%,6.7%,7.9%。

由混合粉制作冷冻熟面,制作工艺:

混合粉+46%水+1.5%盐→和面(真空度−0.08 MPa,真空和面5 min)→连续揉面12道→静置10 min→压片切条→煮3 min→冷却1 min→沥水1 min→−40℃速冻60 min→−18℃贮藏

1.3.4 混合粉糊化品质的测定 参照GB/T 24853—2010,准确称取(3.50±0.01) g的一定比例的混合粉(按14%湿基矫正),置于干燥洁净的样品筒中,并量取(25.0±0.1) mL的水,将搅拌棒置于样品筒中并上下快速搅动10次,使样品充分混匀,用RVA测定淀粉的糊化曲线。升温 and 降温程序选择STD1,具体如下:50℃平衡1 min,然后以12℃/min的速率升温至95℃,95℃恒温3.5 min,再以12℃/min的速率降至50℃,50℃恒温2 min。

1.3.5 混合粉膨胀势的测定 参照Waterschoot等^[10]的方法并稍加改动,即称取一定比例的混粉0.20 g(m_0)(按干基计),放入已称重编号的离心管中,每管加入10 mL的去离子水,充分混匀,在65,80,95℃的水浴中震荡加热30 min,在0℃水中迅速冷却至室温,4 000 r/min离心30 min,收集上清液,105℃下干燥至恒重,称重,即得水溶淀粉质量 m_1 ,下层沉淀为 m_2 。溶解度、膨胀势按式(2)、(3)计算:

$$S = \frac{m_1}{m_0} \times 100\%, \quad (2)$$

$$SP = \frac{m_2}{m_0 \times (100\% - S)}, \quad (3)$$

式中:

S——溶解度,%;

SP——膨胀势,g/g;

m_0 ——称取的面粉质量,g;

m_1 ——上清液中水溶物质量,g;

m_2 ——下层沉淀质量,g。

1.3.6 冷冻熟面蒸煮品质的测定

(1) 复煮损失率和吸水率的测定:参照Rombouts等^[11]的方法并稍加改动,称取25 g的生面条制作成冷冻熟面,冷冻熟面复热90 s后,收集面条复热过程中的面汤,冷却至室温后,转移到500 mL的容量瓶中,定容并混合均匀。量取50 mL面汤于250 mL烧杯(已恒重 W_1)中,在电炉上蒸发掉大部分水分后,将烧杯移入到105℃烘箱中烘至恒重 W_2 。将冷冻熟面复热90 s后,用滤纸吸干面条表面水分,称重 W_3 。冷冻熟面的复煮损失和吸水率按式(4)、(5)计算:

$$CL = \frac{40 \times (W_2 - W_1)}{100} \times 100\%, \quad (4)$$

$$WA = \frac{4 \times (W_3 - 25)}{100} \times 100\%, \quad (5)$$

式中:

CL——复煮损失率,%;

WA——吸水率,%;

W_1 ——煮前恒重的烧杯质量,g;

W_2 ——煮后恒重的含有烘干物质的烧杯质量,g;

W_3 ——煮后面条的质量,g。

(2) 冷冻熟面断条率的测定:参照SB/T 10137—93方法并稍加改动,称取50 g冷冻熟面,数面条的根数为 M_1 ,放入到500 mL煮沸的蒸馏水中,复煮90 s,捞出沥干,数面条的根数为 M_2 。冷冻熟面的断条率按式(6)计算:

$$B = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100\%, \quad (6)$$

式中:

B——断条率,%;

M_1 ——煮前面条的根数;

M_2 ——煮后面条的根数。

1.3.7 冷冻熟面质构特性的测定 通过物性分析仪测定冷冻熟面的品质,测定方法根据文献[12],修改如下:将冷冻熟面复热90 s后捞出,冷水淋洗,用滤纸吸去表面的水分后,保鲜膜包裹待测。仪器使用前用1 kg砝码进行校准,测试需在面条复热30 min内完成,每个样品至少测试10次。

全质构测定(TPA):选用的探头为 HDP/PFS 型,校准距离为 15 mm,测试模式为 TPA,测试前、中、后速度均为 0.8 mm/s,压缩比为 75%,触发力为 5 g,两次压缩的时间间隔为 2 s;每次测定时选取 2 根面条平行放置于载物台上。

拉伸测定:选用的探头为 A/SPR 型,校准距离为 60 mm,测试模式为 Measure Force in Tension,测试前、中、后速度分别为 1.5,1.5,5.0 mm/s,拉伸距离为 90 mm,触发力为 5 g。

1.3.8 冷冻熟面可冻结水含量的测定 通过差示扫描量热仪(DSC)测定冷冻熟面的可冻结水含量,根据郑子懿^{[8]23-24}的方法,修改如下:用刀片切取冷冻熟面的样品(<10 mg)密封于小坩埚中,并记录样品质量。将坩埚放于 DSC 中,以空坩埚作对照,以氮气作载气,降温至-40℃并保持 5 min,然后升温至 40℃,升温速率为 10℃/min,记录可冻结水的焓变 Hw ,每组样品重复测试两次取平均值。

$$F = \frac{Hw}{Hi \times Tw} \times 100\%,$$

(7)

式中:
 F ——可冻结水含量,%;
 Hw ——样品中的熔化焓值,J/g;
 Hi ——纯水结冰的熔化焓值,335 J/g;
 Tw ——样品含水量,%。

1.3.9 冷冻熟面微观结构的测定 利用激光共聚焦显微镜(CLSM)观察冷冻熟面的微观结构,参照 Silva 等^[13]的方法并稍加改动,将复热后的冷冻熟面切成长约 5 mm 的小段,并用

冷冻切片机将其切成 10 μm 的切片,用含有 0.25 g/100 mL 异硫氰酸荧光素和 0.025 g/100 mL 罗丹明 B 的溶液对其染色 2 min。用去离子水洗去多余染色液后,盖上盖玻片,置于显微镜下观察。

1.3.10 数据统计与分析 利用 excel 2010 和 Origin 8.5 对数据进行整理和绘制,采用 SPSS 16.0 软件进行分析,选取 Duncan 分析,在 $P \leq 0.05$ 检验水平上对数据进行显著性分析。所得数据结果均来自 3 次以上独立试验测定结果的平均值。

2 结果与讨论

2.1 破损淀粉对面粉糊化品质的影响

通过 RVA 可测定不同含量破损淀粉的面粉在加热和冷却过程中糊化品质的变化,由表 1 可知,随着破损淀粉含量的增加,峰值黏度、终值黏度、崩解值和回生值均显著降低($P \leq 0.05$)。峰值黏度和终值黏度的降低可能是破损淀粉的加入降低了原淀粉溶液的浓度,破损淀粉易吸水膨胀,占有较多的空间,因此使糊化的淀粉糊浓度降低,峰值黏度和终值黏度下降^[14]。面粉糊的崩解值降低,表明面粉糊在加热和冷却过程中冷热稳定性增加,并且耐剪切性增强。回生值可反映淀粉颗粒的短期回生,破损淀粉的添加引起面粉糊回生值的降低,可能是溶胀淀粉和破损淀粉出现在直链淀粉结构中,改变了淀粉短期回生特性^[14]。因此,面粉中破损淀粉含量的变化可影响面粉的糊化品质,面粉的糊化品质与面条的品质有着重要的联系^[15],进而可以探究破损淀粉对冷冻熟面品质的影响。

表 1 面粉中破损淀粉的含量变化对面粉糊化品质的影响[†]

Table 1 Effects of damaged starch in wheat flour on the pasting properties of wheat flour

破损淀粉含量/%	峰值黏度/cP	低谷黏度/cP	崩解值/cP	终值黏度/cP	回生值/cP
4.3	2 637.0±29.70 ^a	1 719.0±66.47 ^a	868.0±25.46 ^a	3 069.0±9.90 ^a	1 350.0±14.14 ^a
5.5	2 570.5±12.02 ^b	1 694.5±54.45 ^a	826.0±4.24 ^b	3 003.0±1.41 ^b	1 325.0±1.41 ^{ab}
6.7	2 500.0±15.56 ^c	1 673.0±1.41 ^a	812.0±1.41 ^b	2 992.0±1.41 ^b	1 313.0±1.41 ^{bc}
7.9	2 484.0±4.24 ^c	1 693.5±4.95 ^a	790.5±0.71 ^b	2 986.5±6.36 ^b	1 293.0±11.31 ^c

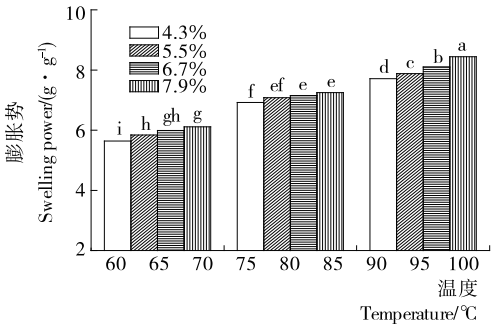
[†] 同列中不同字母表示有显著性差异($P \leq 0.05$)。

2.2 破损淀粉对面粉膨胀特性的影响

膨胀势是小麦粉品质特性的一个重要参数,可以根据小麦粉膨胀势的变化判定其制作的面条的品质^[16]。由图 1 可知,随着温度的升高,面粉中的淀粉不断糊化,淀粉颗粒内部分子间的氢键断裂,淀粉粒吸水膨胀,晶体结构被破坏,形成黏稠的淀粉糊^[17],因而,此过程中面粉的淀粉膨胀势不断增加。并且,随着小麦粉中破损淀粉含量的增加,由于破损淀粉易吸水膨胀,淀粉膨胀势也不断增加,有研究报道^[18]较高的膨胀势可使面条表面光滑并且有弹性,口感好。因此,根据膨胀势的改变,可更好地探究破损淀粉对冷冻熟面品质的影响。

2.3 破损淀粉对冷冻熟面蒸煮品质的影响

面条的蒸煮品质通常用蒸煮损失率、吸水率和断条率来评价。在面条的煮制过程中,直链淀粉和一些可溶性蛋白会溶入到水中,因而煮面的水变得浑浊和黏稠^[19]。结合冷冻



不同字母表示数值在 $P \leq 0.05$ 水平上存在显著性差异

图 1 面粉中破损淀粉的含量变化对面粉膨胀势的影响
Figure 1 Effects of damaged starch in wheat flour on swelling power of wheat flour

熟面的制作工艺,本试验测定了冷冻熟面加工中的复煮损失率。由图 2(a)和(c)可知,随着小麦粉中破损淀粉含量的增

加,冷冻熟面的复煮损失率和断条率不断增加,可能是破损淀粉的加入增加了面条中淀粉吸水后的溶胀程度,使得面条表面的淀粉糊化后,更容易从面条表面脱离面筋蛋白网络结构的束缚^[20],从而使得面条蒸煮损失增大,断条率增加。而由图 2(b)可知,随着破损淀粉的含量从 4.3%增加到 7.9%,对冷冻熟面吸水率的影响不显著。本试验中破损淀粉对冷冻熟面蒸煮损失率和吸水率的影响结果,与尹寿伟等^[6]研究破损淀粉对生鲜面品质影响的结果相一致。因此,小麦粉中破损淀粉的含量从 4.3%增加到 7.9%,使冷冻熟面的蒸煮品质降低。

2.4 破损淀粉对冷冻熟面质构特性的影响

质构特性是消费者关注产品的主要品质指标之一,可客观地反映面条的品质^[21]。为了更全面地评价面条的质构特性,本试验采用全质构和拉伸两种测试方法。由表 2 可知,随着小麦粉中破损淀粉的含量从 4.3%增加到 7.9%,冷冻熟面的硬度、咀嚼性、黏附性和弹性均不断增加。由于一定量破损淀粉的加入,吸水膨胀的淀粉镶嵌在面筋蛋白网络结构中^[22],使制作出的冷冻熟面径向膨润性好,所呈现的冷冻熟面的硬度大,咀嚼性好。面条的弹性和黏附性在很大程度上与淀粉的糊化性质有关^[18]。由表 1 可知,小麦粉中破损淀粉含量增加,崩解值降低,使面粉糊在加热和冷却过程中冷热稳定性增加,耐剪切性增强,因而冷冻熟面的弹性和黏附性增加,并且破损淀粉的加入增加了面粉的膨胀势,可能与冷冻熟面的弹性增加有关。

由表 2 可知,随着小麦粉中破损淀粉的含量从 4.3%增加到 7.9%,冷冻熟面的拉伸力和拉伸距离均不断降低。这可能是破损淀粉的加入,使面粉糊的峰值黏度和终值黏度降低,并且冷冻熟面表面的淀粉吸水膨胀糊化后易脱离面筋蛋白的束缚,面条的纵向筋力强度降低,拉伸力和拉伸距离降低。因此,小麦粉中破损淀粉的含量从 4.3%增加到 7.9%,有利于冷冻熟面全质构的提高,但拉伸特性变差。

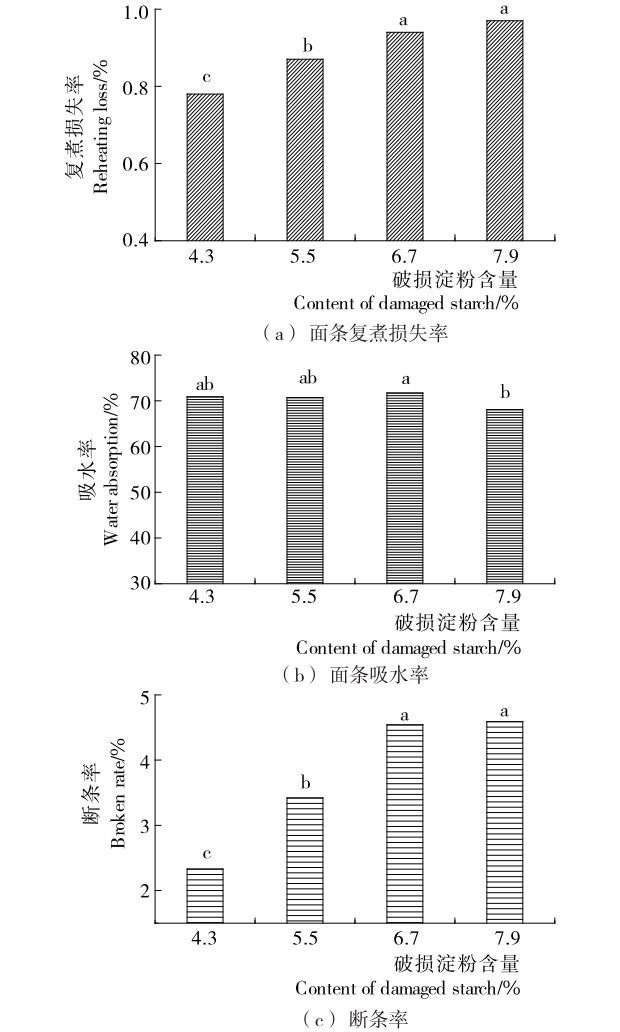
表 2 面粉中破损淀粉的含量变化对冷冻熟面质构特性的影响[†]
Table 2 Effects of damaged starch in wheat flour on texture qualities of frozen cooked noodles

破损淀粉含量/%	硬度/g	黏附性/(g·s)	弹性	咀嚼性	拉伸力/g	拉伸距离/mm
4.3	2 913.82±27.05 ^c	61.68±4.02 ^b	0.87±0.027 ^b	1 141.99±22.60 ^b	16.50±1.02 ^a	27.12±2.52 ^a
5.5	3 119.68±20.47 ^b	70.88±8.90 ^b	0.90±0.017 ^a	1 201.46±79.10 ^{ab}	15.68±0.82 ^a	23.38±2.23 ^b
6.7	3 275.50±64.50 ^{ab}	94.79±6.33 ^a	0.91±0.010 ^a	1 282.05±30.10 ^a	14.45±0.26 ^b	22.15±1.39 ^b
7.9	3 365.18±154.69 ^a	97.35±7.32 ^a	0.92±0.021 ^a	1 288.87±98.72 ^a	14.38±0.61 ^b	20.95±1.14 ^b

[†] 同列中不同字母表示有显著性差异(P≤0.05)。

2.5 破损淀粉对冷冻熟面可冻结水含量的影响

面条中的水分可分为可冻结水和非可冻结水,可冻结水在冻结后体积会增大,形成冰晶挤压面筋网络结构,非可冻结水被蛋白束缚,一般不结冰,不挤压面筋结构,但它以范德华力连接可被破坏^{[8]29}。可冻结水的含量可反映冰晶对面筋网络结构的破坏程度,通过 DSC 测定熔化焓值,由熔化焓值计算可冻结水含量^[23]。由图 3 可知,随着小麦粉中破损淀粉含量的增加,可冻结水含量不断增加,可能是在冻结过程中,可冻结水体积增大形成冰晶,并且破损淀粉易吸水膨胀,



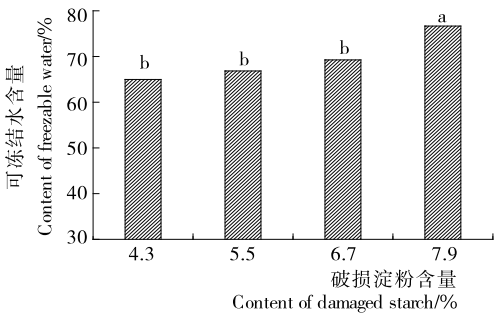
不同字母表示数值在 P≤0.05 水平上存在显著性差异
图 2 面粉中破损淀粉的含量变化对冷冻熟面蒸煮品质的影响
Figure 2 Effects of damaged starch in wheat flour on cooking qualities of frozen cooked noodles

体积也增大,在空间上对面筋网络结构有一定的挤压,破坏面筋网络结构,使被蛋白束缚的非可冻结水转化为可冻结水,可冻结水含量增加。因此,破损淀粉含量的增加会对面筋网络结构有一定的破坏作用,通过微观结构的观察进一步得到验证。

2.6 破损淀粉对冷冻熟面截面微观结构的影响

激光共聚焦显微镜是一种新型的显微成像设备,成像清晰、客观,通常用于测定具有荧光的样品。近年来,逐步运用到面制品如面包和面条微观结构的观察中^[24]。本试验采用

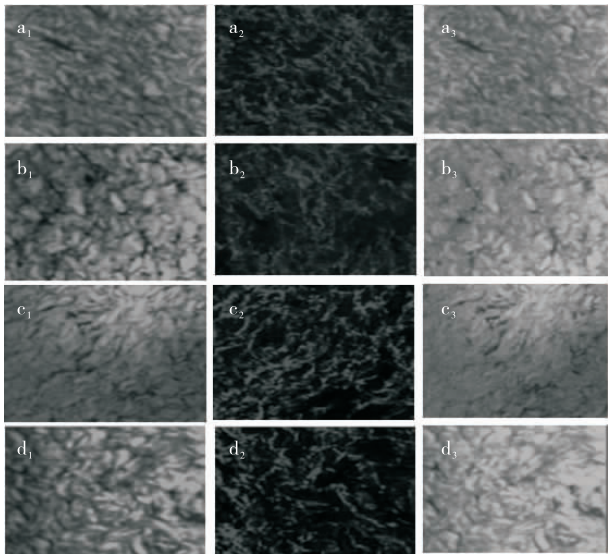
的荧光染料为异硫氰酸荧光素和罗丹明 B 混合溶液,其中异硫氰酸荧光素易与淀粉结合而呈现绿色,罗丹明 B 易与蛋白结合而呈现红色。由图 4 可知,a₁中冷冻熟面中大部分淀粉的颗粒形态较小,随着破损淀粉的含量的增加,淀粉膨胀,呈现大颗粒,并且 a₂的蛋白质网络结构连续致密,随着破损淀粉的增加,面筋网络结构显得松散不连续,表明膨胀的破损淀粉对面筋网络结构有一定的破坏作用。由图 4 的蛋白质和淀粉结合的复合结构可知,a₃中淀粉能很好地镶嵌在蛋白质网络结构中,b₃、c₃、d₃中有膨胀的淀粉与面筋网络结构结合得不紧密,使面筋网络结构不连续,面条的可冻结水含量增加。



不同字母表示数值在 $P\leq 0.05$ 水平上存在显著性差异

图 3 面粉中破损淀粉的含量变化对冷冻熟面可冻结水含量的影响

Figure 3 Effects of damaged starch in wheat flour on amount of freezable water of frozen cooked noodles



a₁~a₃. 依次为 4.3% 破损淀粉的面条的淀粉结构、蛋白质结构、复合结构 b₁~b₃. 依次为 5.5% 破损淀粉的面条的淀粉结构、蛋白质结构、复合结构 c₁~c₃. 依次为 6.7% 破损淀粉的面条的淀粉结构、蛋白质结构、复合结构 d₁~d₃. 依次为 7.9% 破损淀粉的面条的淀粉结构、蛋白质结构、复合结构

图 4 小麦粉中破损淀粉的含量变化对复热后冷冻熟面截面微观结构的影响

Figure 4 Effects of damaged starch in wheat flour on cross section microstructure of frozen cooked noodles

3 结论

本试验研究了小麦粉中破损淀粉的含量从 4.3% 增加到 7.9%, 对小麦粉糊化品质和膨胀特性的影响, 进而探究对冷冻熟面品质影响机理。结果表明: 随着小麦粉中破损淀粉添加量的增加, 面粉的峰值黏度、终值黏度、崩解值和回生值均不断降低, 破损淀粉易吸水膨胀, 面粉的膨胀势不断增加, 冷冻熟面的径向硬度、黏附性、弹性以及咀嚼性提高, 但观察面条微观结构, 发现吸水膨胀的破损淀粉体积增大, 对面筋网络结构有一定的破坏作用, 面条的可冻结水含量增加, 进而使冷冻熟面的蒸煮品质和拉伸特性变差, 纵向延伸性变差。本试验仅研究了面粉中破损淀粉的含量对冷冻熟面品质的影响, 因此在冷冻熟面专用粉的生产中, 通过选择合适的小麦品种和优化面粉生产工艺, 进而控制面粉中破损淀粉的含量有待进一步探讨。

参考文献

[1] 朱宝成. 破损淀粉的研究与应用[J]. 现代面粉工业, 2014, 6 (9): 9-11.

[2] 孙宇, 李利民, 张杰, 等. 小麦淀粉粒机械损伤程度与面粉品质关系[J]. 食品与机械, 2011, 27(6): 37-39.

[3] DHITAL S, SHRESTHA A K, GIDLEY M J. Effect of cryomilling on starches: Functionality and digestibility [J]. Food Hydrocolloids, 2010, 24(2/3): 152-163.

[4] HATCHER D W, ANDERSON M J, DESJARDINS R G, et al. Effects of flour particle size and starch damage on processing and quality of white salted noodles[J]. Cereal Chemistry, 2002, 79(1): 64-71.

[5] 王晓曦, 杨玉民. 小麦粉中破损淀粉含量对面条食用品质影响的研究[J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2005, 26(4): 39-41.

[6] 尹寿伟, 陆启玉, 杨秀改. 破损淀粉对面条蒸煮品质的影响研究[J]. 食品科技, 2005(10): 68-71.

[7] 潘治利, 王涛, 王娜, 等. 冷冻熟制面条保温加热及速冻节能加工工艺[J]. 农业工程学报, 2015, 31(6): 311-318.

[8] 郑子懿. 冷冻面条在储藏期间的品质变化研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2013.

[9] 陆启玉. 小麦面粉中主要组分对面条特性影响的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2010: 41-42.

[10] WATERSCHOOT J, GOMAND S V, DELCOUR J A. Impact of swelling power and granule size on pasting of blends of potato, waxy rice and maize starches [J]. Food Hydrocolloids, 2016, 52: 69-77.

[11] ROMBOUTS I, JANSSENS K J A, LAGRAIN B, et al. The impact of salt and alkali on gluten polymerization and quality of fresh wheat noodles[J]. Journal of Cereal Science, 2014, 60 (3): 507-513.

[12] LUO Li-jun, GUO Xiao-na, ZHU Ke-xue. Effect of steaming on the quality characteristics of frozen cooked noodles[J]. Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie, 2015, 62(2): 1 134-1 140.

[13] SILVA E, BIRKENHAKKE M, SCHOLTEN E, et al. Controlling rheology and structure of sweet potato starch noodles with high broccoli powder content by hydrocolloids[J]. Food Hydrocolloids, 2013, 30(1): 42-52.

(下转第 22 页)

Engineering, 2006, 73(2): 142-148.

[9] 陈锋亮, 魏益民, 张波, 等. 食品挤压过程中水分的作用及变化研究进展[J]. 食品科学, 2009, 30(21): 416-419.

[10] LIU Ke-shun, HSIEH F H. Protein-protein Interactions in High moisture-extruded meat analogs and heat-induced soy protein gels [J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2007, 84(8): 741-748.

[11] 张丙虎. 小麦谷朊粉挤压组织化特性研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2010: 33-36.

[12] 李诚. 小麦蛋白双螺杆挤压组织化工艺及机理研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2015.

[13] 马宁, 朱科学, 郭晓娜, 等. 挤压组织化对小麦面筋蛋白结构影响的研究[J]. 中国粮油学报, 2013, 28(1): 60-64.

[14] 孙照勇, 陈锋亮, 张波, 等. 植物蛋白高水分挤压组织化技术研究进展[J]. 农业工程学报, 2009, 25(3): 308-312.

[15] LIU Ke-shun, HSIEH F H. Protein-protein interactions during high-moisture extrusion for fibrous meat analogues and comparison of protein solubility methods using different solvent systems[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2008, 56(8): 2 681-2 687.

[16] 高扬, 卢淑雯, 任传英, 等. 高水分蛋白挤压工艺参数对系统参数及其理化特性的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(7): 10-13.

[17] 马宁, 张士康, 王彬, 等. 高水分挤压改性植物源蛋白质的研究进展[J]. 粮食与饲料工业, 2011(10): 26-28.

[18] 孙志欣, 于国萍, 朱秀清, 等. 高湿挤压技术生产组织化大豆蛋白工艺的优化研究[J]. 大豆科技, 2009(3): 44-48.

[19] LIN S, HUFF H E, HSIEH F. Texture and chemical characteristics of soy protein meat analog extruded at high moisture [J]. Journal of Food Science, 2000, 65(2): 264-269.

[20] ZHANG Wei, LI Shu-jing, ZHANG Bo, et al. Relationships between the gelatinization of starches and the textural properties of extruded texturized soybean protein-starch systems[J]. Journal of Food Engineering, 2015, 174: 29-36.

[21] EPSTEIN J, MORRIS C F, HUBER K C. Instrumental texture of white salted noodles prepared from recombinant inbred Lines of wheat differing in the three granule bound starch synthase (waxy) genes[J]. Journal of Cereal Science, 2002, 35(1): 51-63.

[22] 杨健, 赵康, 周君华. 面团 pH 对馒头膨松效果的影响[J]. 食品工业科技, 2002, 23(8): 28-29.

[23] ONWULATA C I, PHILLIPS J G, TUNIKE M H, et al. Texturized dairy proteins[J]. Journal of Food Science, 2010, 75(2): 100-109.

[24] 康立宁, 魏益民. 大豆蛋白及其组织化技术[J]. 食品科学, 2004, 25(s1): 112-116.

[25] 魏益民, 康立宁, 张波, 等. 高水分大豆蛋白组织化生产工艺和机理分析[J]. 农业工程学报, 2006, 22(10): 193-197.

[26] 汪建明, 陶杰, 赵慧, 等. 含水量对脱脂大豆粉挤压组织化产品特性的影响[J]. 天津科技大学学报, 2015, 30(3): 34-39.

[27] 马宁. 小麦组织化蛋白品质改良及应用研究[D]. 无锡: 江南大学, 2013: 12-15.

[28] 王亮, 张宝善, 李林强, 等. 猪牛羊肌肉组织质构特性差异比较及肌纤维分析[J]. 中国牛业科学, 2016, 42(3): 34-38.

[29] 杨晓宇. 大豆组织蛋白素食品的开发研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2005: 24-26.

[30] 李诚, 郑志, 罗水忠, 等. 挤压操作参数对组织化小麦蛋白复水性影响研究[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(6): 36-39.

[31] 侯建设, 梁歧, 张明镛, 等. 温度和水分对大豆组织蛋白挤压成型和褐变的影响[J]. 食品科学, 2002, 23(8): 38-40.

[32] LIN S, HUFF H E, HSIEH F. Texture and chemical characteristics of soy protein meat analog extruded at high moisture [J]. Journal of Food Science, 2000, 65(2): 264-269.

[33] 于国萍, 孙志欣. 高湿挤压对组织化大豆蛋白产品特性的影响[J]. 东北农业大学学报, 2009, 40(11): 104-107.

(上接第 8 页)

[14] BARRERA G N, BUSTOS M C, ITURRIAGA L, et al. Effect of damaged starch on the rheological properties of wheat starch suspensions[J]. Journal of Food Engineering, 2013, 116(1): 233-239.

[15] 赵登登, 周文化. 面粉的糊化特性与鲜湿面条品质的关系[J]. 食品与机械, 2013, 29(6): 26-29.

[16] CROSBIE G B. The relationship between starch swelling properties, paste viscosity, and noodle quality in wheat flours[J]. Journal of Cereal Science, 1991, 13(2): 145-150.

[17] DOUZALS J P, MARECHAL P A, COQUILLE J C, et al. Microscopic study of starch gelatinization under high hydrostatic pressure[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1996, 44(6): 1 403-1 408.

[18] LI Man, ZHU Ke-xue, WANG Bi-wen, et al. Evaluation the quality characteristics of wheat flour and shelf-life of fresh noodles as affected by ozone treatment[J]. Food Chemistry, 2012, 135(4): 2 163-2 169.

[19] PETITOT M, BOYER L, MINIER C, et al. Fortification of pasta with split pea and faba bean flours: Pasta processing and quality evaluation[J]. Food Research International, 2010, 43(2): 634-641.

[20] BRUNEEL C, PAREYT B, BRIJS K, et al. The impact of the protein network on the pasting and cooking properties of dry pasta products[J]. Food Chemistry, 2007, 120(2): 371-378.

[21] 赵延伟, 吕振磊, 王坤, 等. 面条的质构与感官评价的相关性研究[J]. 食品与机械, 2011, 27(4): 25-28.

[22] 师俊玲. 蛋白质和淀粉对挂面及方便面品质影响机理研究[D]. 杨凌 西北农林科技大学, 2001: 89-90.

[23] RIBOTTA P D, LEN A E, ANON M C, et al. Effect of freezing and frozen storage on the gelatinization and retrogradation of amylopectin in dough baked in a differential scanning calorimeter[J]. Food Research International, 2003, 36(4): 357-363.

[24] DURRENBERGER M B, HANDSCHIN S, CONDE-PETIT B, et al. Visualization of Food Structure by Confocal Laser Scanning Microscopy (CLSM) [J]. LWT-Food Science and Technology, 2001, 34(1): 11-17.