

碾磨程度对大米特征组分和米粉品质特性的影响

Effect of milling degree on content of characteristic components and quality properties of rice flour

王立峰^{1,2} 张磊^{1,2} 姚轶俊^{1,2}

WANG Li-feng^{1,2} ZHANG Lei^{1,2} YAO Yi-jun^{1,2}

王红玲^{1,2} 徐斐然^{1,2} 王海鸥³

WANG Hong-ling^{1,2} XU Fei-ran^{1,2} WANG Hai-ou³

(1. 南京财经大学食品科学与工程学院, 江苏 南京 210023; 2. 江苏省现代粮食流通与安全协同创新中心, 江苏 南京 210023; 3. 南京晓庄学院食品科学学院, 江苏 南京 211171)

(1. College of Food Science and Engineering, Nanjing University of Finance and Economics, Nanjing, Jiangsu 210023, China; 2. Jiangsu Collaborative Innovation Center for Modern Grain Circulation and Safety, Nanjing, Jiangsu 210023, China; 3. School of Food Science, Nanjing Xiaozhuang University, Nanjing, Jiangsu 211171, China)

摘要:通过测定不同碾磨程度下大米粉的组成含量、X射线衍射、糊化、流变和凝胶质构和结构特性,发现随着碾磨程度增加,大米粉的蛋白质含量从 $(11.24 \pm 0.06)\%$ 降到 $(7.89 \pm 0.27)\%$,直链淀粉含量从 $(8.51 \pm 0.27)\%$ 增加到 $(25.93 \pm 2.42)\%$,米粉中淀粉的XRD吸收峰增强。糊化峰值黏度从 $(2\,025.0 \pm 169.2)$ cp 增加到 $(4\,847.0 \pm 140.5)$ cp,糊化温度从 $(71.82 \pm 0.67)^\circ\text{C}$ 下降到 $(70.10 \pm 0.04)^\circ\text{C}$,米粉糊的黏度和弹性增加而流动性降低,凝胶微观结构区域均匀紧密。说明碾磨能够降低大米粉的蛋白质含量,增加直链淀粉含量且对大米粉的糊化和短期老化有促进作用,促进作用均随碾磨程度增加而加强。

关键词:大米;碾磨程度;糊化;流变;凝胶

Abstract: Exploring the effect of milling degree on rice flour quality is very important to develop rice processing mechanism for suitability. The composition, X-ray diffraction, gelatinization, rheological and gel texture and structure of rice flour under different milling degree were determined. The results suggested that with the milling degree increased, the protein content decreased from $(11.24 \pm 0.06)\%$ to $(7.89 \pm 0.27)\%$, and the amylose content increased from $(8.51 \pm 0.27)\%$ to $(25.93 \pm 2.42)\%$, with the increase of XRD absorption peak of starch. The peak gelatinization viscosity increased from $(2\,025.0 \pm 169.2)$ cp to $(4\,847.0 \pm 140.5)$ cp, and the gelatinization temperature decreased from $(71.82 \pm 0.67)^\circ\text{C}$ to $(70.10 \pm 0.04)^\circ\text{C}$. With the increase of the viscosity and elasticity and the decrease of the fluidity of rice flour paste, the gel microstructure region was found uniformed and compacted well. This indicated that milling could reduce the protein content of rice flour, increase amylose content and promote the gelatinization and short-term aging of rice flour, and the promotion effect was strengthened with the increase of milling degree.

Keywords: rice; milling degree; gelatinization; rheology; gel

碾磨是作为大米加工过程中不可缺少的关键步骤,会对大米的特征组分(蛋白质和淀粉)的含量产生影响,由此改变大米的糊化、流变、凝胶质构等的特性。碾磨的程度被称为DOM(Degree of milling)^[1],它不仅决定了大米的精度水平,而且由于各种营养物质(蛋白质、脂类、维生素和矿物质)都集中在大米的外层,DOM值也影响了大米的理化和营养特性。先前的研究^[1-3]表明,随着大米的碾磨程度增加,DOM值增加,大米米粉中蛋白质和脂肪含量下降,直链淀粉相对含量增加,米粉的糊化峰值黏度值增加,糊化温度下降。有研究^[4]表明,碾磨程度也会影响米饭的蒸煮品质,低DOM值的米饭由于膨胀吸水率更低,凝聚力和黏附力低,需要的蒸煮时间更长,随着碾磨程度的提高,米饭外观、口感、综合评分总体呈升高趋势。

目前的研究主要围绕碾磨程度对大米理化、糊化和

基金项目:国家重点研发计划(编号:2018YFD0400500)

作者简介:王立峰,男,南京财经大学教授,博士。

通信作者:王海鸥(1978—),男,南京晓庄学院副教授,博士。

E-mail: who1978@163.com

收稿日期:2019-03-09

米饭蒸煮品质方面的影响, Sandhu 等^[1]对比了碾磨程度对短链和长链大米的理化、结构、糊化和蒸煮性质的影响, 发现当 DOM 值增加时, 大米的灰分、蛋白质、脂肪和矿物质含量降低, 碘蓝值和矿物质含量增加, 米饭蒸煮时间降低, DOM 增加会使得长链和短链的大米的糊化的黏度增加。Billiris 等^[5]的研究结果表明, 未碾磨过的米比碾磨过的米需要更多的蒸煮时间和能量。对碾磨程度引起的特征组分的改变而导致的大米粉糊化后的流变和凝胶微观结构的变化, 以及不同组分对大米粉品质的相关研究相对较少, Chen 等^[6]采用不同的碾磨方式研究了碾磨对大米的影响, 表明碾磨过程中淀粉颗粒被破坏使得碾磨后的大米粉有更强的溶解性。Sandhu 等^[1]通过测定不同 DOM 值的大米的 X-射线结果表明, 碾磨去除了外层蛋白质和淀粉, 使得无定型区域吸收减少。但是对于碾磨程度引起特征组分改变的米粉的其他结构指标及碾磨后糊化的米粉糊的流变性、凝胶质构性质和电泳结构方面研究较少。本研究拟着重研究碾磨程度对特征组分改变而引起的对大米粉的糊化和凝胶结构方面的影响, 测定不同碾磨程度下米粉的糊化、流变性和微观结构等特征, 探究碾磨程度改变下, 特征组分含量改变对大米米粉品质产生影响的原因, 旨在为大米适度加工提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

特优 582 稻米: 浙江水稻研究所;

氢氧化钠: 分析纯, 国药集团化学试剂有限公司;

浓硫酸: 分析纯, 南京化学试剂有限公司;

直链淀粉支链淀粉标准品: 北京索莱宝科技有限公司;

实验砬谷机: BLH-3250 型, 浙江伯利恒仪器设备有限公司;

碾米机: JNMJ6 型, 浙江台州市粮仪厂;

凯式定氮仪: K-360 型, 威海市海拓仪器生产有限公司;

RVA 快速黏度仪: 4500 波通型, 波通瑞华科学仪器(北京)有限公司;

质构仪: TAXI plus 型, 苏州天昊仪器设备有限公司;

台式扫描电镜: TM-300 型, 日本株式会社日立制作所;

旋转流变仪: MCR302 型, 奥地利安东帕公司;

X 射线衍射仪: D8-Advance 型, 德国 Bruker 公司。

1.2 试验方法

特优 582 号稻谷经过挑选后用砬谷机脱壳得到糙米, 称取相同质量的糙米用碾米机分别碾磨 0, 15, 30, 45, 60 s 后称重, 按式(1)^[7]计算 DOM 值, 为了减少可能因碾

磨不均而导致的误差, 将不同 DOM 值的大米打粉过 100 目筛备用。

$$c = (1 - \frac{m_1}{m_2}) \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

c ——DOM, %;

m_1 ——碾磨后轻碾米的质量, g;

m_2 ——未碾磨的糙米的质量, g。

1.3 测定方法

1.3.1 蛋白质含量测定 按 GB 5009.5—2010《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中凯式定氮法执行。

1.3.2 淀粉含量测定 按 GB/T 5009.9—2008《食品中淀粉的测定》中酶水解法执行。

1.3.3 直链淀粉含量测定 按 GB/T 15683—2008《大米直链淀粉含量的测定》执行。

1.3.4 吸水指数的测定 参照 Derycke 等^[8]的方法稍作修改如下, 称取 1 g 左右由 1.2 制得的米粉于已知重量离心管中, 加入 25 mL 蒸馏水并分散均匀, 置于沸水浴中 30 min, 并且每隔 10 min 振荡 30 s, 冷却至室温后 8 000 r/min 离心 15 min, 上清液置于干燥恒重烧杯中 (105±5) °C 烘干至恒重, 称离心管重。米粉的吸水性指数、水溶性指数和溶胀指数分别按式(2)~(4)计算:

$$C_1 = \frac{W_4 - W_1}{W_0} \times 100\%, \quad (2)$$

$$C_2 = \frac{W_3 - W_2}{W_0} \times 100\%, \quad (3)$$

$$C_3 = \frac{W_4 - W_1}{W_0(1 - C_2)} \times 100\%, \quad (4)$$

式中,

C_1 ——吸水性指数;

C_2 ——水溶性指数;

C_3 ——溶胀指数;

W_0 ——米粉质量, g;

W_1 ——离心管质量, g;

W_2 ——干燥烧杯质量, g;

W_3 ——烘干后烧杯质量, g;

W_4 ——离心后离心管质量, g。

1.3.5 米粉的 XRD 检测 将 1.2.1 制得的米粉用 XRD 进行检测, 管电压 40 kV, 管流 30 mA, 扫描范围 3°~50°, 速率 2°/min, 步长 0.02°。

1.3.6 糊化性质的测定 将不同碾磨程度的米粉加入 25 mL 蒸馏水快速搅拌后用快速黏度分析仪检测, 采用系统检测程序标准 1, 即 5 °C/min 的升温速率升至 95 °C, 并在 95 °C 保持 5 min; 随后样品以 5 °C/min 的速度降温至 50 °C 并保温 4 min, 得到不同碾磨程度米粉的糊化参数曲线。

1.3.7 米粉糊流变性质的测定 经过 RVA 得到的米粉糊用动态流变仪测定其黏弹性能,将 1.2 制备的米粉糊转移到流变板上,使用 PP50 转子(直径 50 mm),将上平行板向下移动至 1 mm 间隙,然后去除多余的悬浮液。所有试验均在室温下进行。

(1) 静态流变扫描:将米粉糊样品放在扫描范围 0.1~300.0 s⁻¹,测定剪切应力随着剪切速率的变化趋势,试验结果使用 Power-law 幂律方程拟合:

$$\tau = K \times \epsilon^n,$$
 (5)

式中:
 τ ——剪切应力,Pa;
 K ——稠度系数,Pa·sⁿ;
 ϵ ——剪切速率,s⁻¹;
 n ——流体指数^[9]。

(2) 动态频率扫描:将米糊按之前的方法放好,扫描应变 2%,频率范围 0.2~20.0 Hz,得到储存模量(G')和损耗模量(G''),并计算 $\tan\delta(G''/G')$,以表示凝胶弹性和黏性的变化。

1.3.8 米粉糊凝胶质构的测定 从 1.3.6 制备的样品转移到有盖子的小瓶子中冷却至室温,密封好以防止水分流失,并在 4℃ 下储存 12 h。TPA 测试采用直径为 10 mm 的 P/6 圆柱探头,测试速度为 0.5 mm/s,测试距离 10.0 mm,测量凝胶的硬度、弹性、咀嚼性等特性。在试验过程中除去明显断裂的凝胶,并测试相同批次的凝胶以避免凝胶变化的影响。

1.3.9 米粉糊凝胶微观结构观察 利用 1.3.6 处理得到的米粉糊放入模具冷却成型,用 3% 戊二醛固定凝胶结构,用 0.1 mol/L 的磷酸缓冲液冲洗后,分别用 30%,50%,70%,90%,100% 的乙醇梯度洗脱除去戊二醛,经冷冻干燥后,离子溅射喷金,置于扫描电子显微镜下观察其表面微观结构。

1.4 数据分析

所有试验 3 次平行,结果用(平均值±标准差)表示。采用 SPSS 16.0 对邓肯检验进行方差分析(ANOVA),P<0.05 的概率值认为有显著性差异。

2 结果与分析

2.1 不同碾磨程度大米的组成

脱除稻壳的糙米经碾米机分别碾磨 0,15,30,45,60 s 后,DOM 值分别为 0.00%,10.89%,17.39%,22.21%,24.10%,分别定义为 D1、D2、D3、D4 和 D5。不同 DOM 值大米的理化指标如表 1 所示。D1~D5 碾磨程度逐步加深,蛋白质含量从(11.24±0.06)% 降到(7.89±0.27)%,D2 与 D3 之间的差异最显著,淀粉含量从(70.24±1.53)% 增加到(65.74±0.17)%,未呈现显著规律。直链淀粉含量从(18.51±0.27)% 增加到(25.93±2.42)%。贺财俊^[10]和周晓晴^[7]表明,碾磨过程逐渐加深,使得大米蛋白质含量降低,直链淀粉含量随碾磨时间增加而增加,可能是碾磨去除了米糠层的营养物质,表层的蛋白质和脂肪被不均匀去除,促使淀粉和直链淀粉不同程度溶出。

表 1 不同碾磨程度大米粉特征组分的含量[†]

Table 1 Characteristic components of rice with different milling degrees				
碾磨程度	蛋白质含量/%	淀粉含量/%	直链淀粉含量/%	蛋白质/淀粉
D1	11.24±0.06 ^a	70.24±1.53 ^a	18.51±0.27 ^a	0.16
D2	11.02±0.06 ^a	61.24±1.60 ^b	20.09±0.78 ^a	0.18
D3	9.05±0.31 ^b	60.32±0.82 ^c	23.40±1.23 ^b	0.15
D4	8.86±0.16 ^c	63.32±0.03 ^{cd}	25.07±0.13 ^b	0.14
D5	7.89±0.27 ^c	65.74±0.17 ^d	25.93±2.42 ^b	0.12

† 字母不同代表具有显著性差异(P<0.05)。

2.2 吸水性质的变化

不同碾磨程度的大米粉的吸水性性质如表 2 所示,各项吸水指数均随着碾磨程度的增加而增加,吸水性指数从(11.21±0.78)% 增加到(12.28±0.29)%,水溶性指数从(0.15±0.01)% 增加到(0.20±0.01)%,溶胀指数从(13.24±0.93)% 增加到(15.35±0.51)%。吸水性指数增加说明淀粉颗粒间隙增大,水分子很容易进入,淀粉与水分子作用加强,更多氢键形成了更稳定的结构也导致了水分子的不可逆吸收。从 D1 增加到 D5,大米粉的吸水性、水溶性指数增加,直链淀粉含量增加,二者变化趋势

表 2 不同碾磨程度米粉的吸水性[†]

Table 2 Water absorption of rice flour with different milling			
碾磨程度	吸水性指数/%	水溶性指数/%	溶胀指数
D1	11.21±0.78 ^a	0.15±0.01 ^a	13.24±0.93 ^a
D2	11.24±0.20 ^a	0.16±0.01 ^{ab}	13.43±0.32 ^a
D3	11.72±0.18 ^{ab}	0.17±0.01 ^{bc}	14.12±0.28 ^{ab}
D4	11.84±0.20 ^{ab}	0.18±0.01 ^c	14.44±0.19 ^{bc}
D5	12.28±0.29 ^b	0.20±0.01 ^d	15.35±0.51 ^c

† 字母不同代表具有显著性差异(P<0.05)。

相同,与 Cai 等^[11]水溶性与直链淀粉含量正相关的结论一致。加热过程中,淀粉颗粒水化,一些可溶性淀粉会浸出到液体中^[12]。蛋白质的存在会导致吸水性的降低,可能是蛋白质包裹着淀粉颗粒,限制了淀粉颗粒的膨胀和浸出能力^[13]。

2.3 不同碾磨程度米粉的 XRD 特征

由图 1 可知,所有样品的 X 射线衍射图谱相似,均显示出典型的 A 型衍射,在 2θ 为 15° 和 23° 左右出峰,未解析的双峰在 2θ 为 17° 和 18° 左右,与玉米、小麦和大米淀粉^[14]的 X 射线衍射图谱一致。随着碾磨程度的提高,峰值强度增大,可能是碾磨程度高的米粉中蛋白质和其他非淀粉成分含量较低所致。Sandhu 等^[1]的研究结果表明,非淀粉物质如蛋白质会使无定型区域吸收峰增强,结晶区域的吸收峰强度随着碾磨程度的增加而加强,其结论与本试验结果一致。此外,蛋白质的去除可促进水分子渗透和淀粉的相互作用,从而提高了峰的衍射强度。

2.4 不同碾磨程度米粉糊化性质

不同碾磨程度米粉的糊化曲线如图 2 所示,糊化参数如表 3 所示。随着碾磨程度加深,米粉糊化的峰值、谷值、最终黏度都显著上升,糊化温度显著下降,峰值黏度从 $(2\,025.0\pm169.2)$ cp 增加到 $(4\,847.0\pm140.5)$ cp,谷值黏度从 $(1\,169.0\pm100.8)$ cp 增加到 $(3\,246.0\pm90.2)$ cp,最终黏度从 $(2\,438.0\pm156.8)$ cp 增加到 $(5\,897.0\pm121.7)$ cp,糊化温度从 $(71.82\pm0.67)^\circ\text{C}$ 下降到 $(70.10\pm0.04)^\circ\text{C}$,其中 D2 和 D3 之间的数值差异最显著。

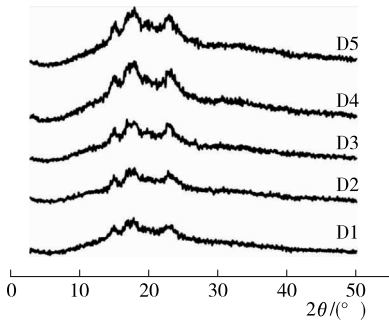


图 1 不同碾磨程度米粉 XRD
Figure 1 XRD of rice flour with different milling Degrees

峰值黏度是米粉在高温下快速剪切所能达到的最高黏度,反映了淀粉颗粒在糊化过程中溶胀和结合水的能力^[15],碾磨程度高的米粉峰值黏度也较高说明其吸水溶胀性能较好,且糊化稳定性高。崩解值是峰值黏度和谷值黏度的差值,通常与淀粉颗粒在高温剪切下的膨胀破裂趋势有关^[16]。崩解值增加,说明由于碾磨程度增加,蛋白质或其他物质对水分子进入淀粉颗粒的限制减少,同时淀粉颗粒吸水破裂的阻碍降低。回复值从 $(1\,269.0\pm56.6)$ cp 增加到 $(2\,650.0\pm49.6)$ cp,回复值反映了短期内淀粉分子的重排回生,回复值越大,表明形成的淀粉凝胶强度越大。碾磨过程中由于蛋白质等其他物质的含量减小,导致体系的回生能力增强。

李艳等^[2]对比了碱处理得到的不同蛋白质残留量的大米淀粉的糊化特性,蛋白质含量低的淀粉糊化黏度高,与本试验结论一致。糊化峰值黏度、谷值黏度、崩解值、峰值时间、回复值均增加,糊化温度降低,说明碾磨使得大米粉更易糊化。低碾磨程度的米粉的低黏度值可能是蛋白质和淀粉之间对水分子的竞争较高或者蛋白质分子包裹淀粉颗粒阻止水分子进入淀粉颗粒^[17-18]。

2.5 不同碾磨程度米粉糊的流变特性

2.5.1 静态流变特性 如图 3 所示,所有样品的剪切应力都随着剪切速率的增加而增加,同样剪切速率下,碾磨程度高的米粉体系有着更高的剪切应力,尤其是 D2 和 D3 之间的差值是最显著的,与之前 RVA 结果一致,高剪

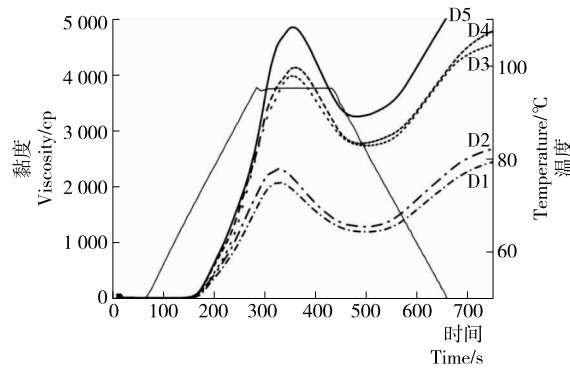


图 2 不同碾磨程度的米粉 RVA 黏度变化曲线
Figure 2 RVA viscosity curve of rice flour with different milling degree

表 3 不同碾磨程度米粉的糊化曲线参数[†]
Table 3 Gelatinization curve parameters of rice flour with different milling degree

碾磨程度	峰值黏度 /cp	谷值黏度/cp	崩解值/cp	最终黏度/cp	回复值/cp	峰值时间/min	糊化温度/ $^\circ\text{C}$
D1	$2\,025\pm169.2^a$	$1\,169\pm100.8^a$	856 ± 69.1^a	$2\,438\pm156.8^a$	$1\,269\pm56.6^a$	5.49 ± 0.06	71.82 ± 0.67^a
D2	$2\,237\pm82.9^a$	$1\,233\pm54.9^a$	$1\,004\pm28.1^a$	$2\,637\pm108.8^a$	$1\,404\pm56.0^b$	5.44 ± 0.03	71.25 ± 0.43^{ab}
D3	$3\,966\pm64.3^b$	$2\,726\pm150.7^b$	$1\,240\pm87.1^b$	$4\,568\pm112.7^b$	$1\,842\pm38.0^c$	5.91 ± 0.08	70.72 ± 0.40^{bc}
D4	$4\,125\pm174.7^b$	$2\,768\pm169.2^b$	$1\,357\pm44.7^b$	$4\,857\pm197.2^b$	$2\,089\pm31.8^d$	5.98 ± 0.03	70.65 ± 0.43^{bc}
D5	$4\,847\pm140.5^c$	$3\,246\pm90.2^c$	$1\,600\pm86.6^c$	$5\,897\pm121.7^c$	$2\,650\pm49.6^e$	5.93 ± 0.05	70.10 ± 0.04^c

[†] 字母不同代表具有显著性差异 ($P<0.05$)。

切力的样品结构往往具有更高的稳定性^[12],所以 D5 的剪切应力最高,说明碾磨程度更高的体系结构更稳定。曲线按照 Power-law 幂律方程拟合的结果如表 4 所示, $R^2>0.9$,说明幂函数能较好地描述流体曲线, $n<1$,说明不同碾磨程度的米粉糊均为非牛顿假塑性流体, K 值能反映流体的黏度特征, K 值越高,流体的增稠性、假塑性越大^[19],黏度越大^[20]。 K 值随着碾磨程度的提高而增加,从 $(161.46\pm3.58)\text{ Pa}\cdot\text{s}^n$ 增加到 $(296.618\pm8.229)\text{ Pa}\cdot\text{s}^n$,与 RVA 的结果趋势是一致的。

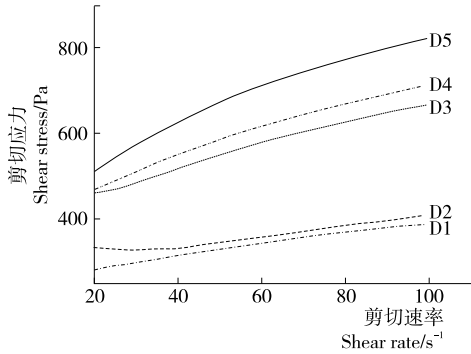


图 3 不同碾磨程度米粉糊静态流变图

Figure 3 Static rheological charts of rice flour paste with different milling degrees

表 4 不同碾磨程度米粉糊静态流变曲线幂律方程拟合结果[†]

Table 4 Fitting results of power law equation for static rheological curve of rice flour paste with different milling degrees

碾磨程度	$K/(\text{Pa}\cdot\text{s}^n)$	n	R^2
D1	161.460 ± 3.580^a	0.197 ± 0.060^a	0.997
D2	215.364 ± 8.044^b	0.182 ± 0.010^b	0.995
D3	276.167 ± 12.526^c	0.167 ± 0.183^c	0.987
D4	284.475 ± 11.510^c	0.151 ± 0.010^c	0.990
D5	296.618 ± 8.229^c	0.149 ± 0.008^c	0.982

[†] 字母不同代表具有显著性差异($P<0.05$)。

2.5.2 动态流变特性 如图 4 所示,不同碾磨程度的米粉糊在 25℃下储存模量(G')、损耗模量(G'')和 $\tan\delta(G''/G')$ 的值均随着扫描频率的增加而增加,碾磨程度 D2 与 D3 之间 G' 和 G'' 的差值最大,与之前的数据 2.4 趋势一致。动态流变的结果表明,碾磨程度增加, G' 和 G'' 的值均增加,说明样品的黏度和弹性均增加。 $\tan\delta$ 的变化趋势与 G' 和 G'' 的变化趋势相同,均随蛋白质含量的降低而增大。 $\tan\delta<1$,说明 G'' 的值远低于 G' ,凝胶黏度的变化远小于弹性的变化。因此,碾磨程度提高,蛋白质浓度降低,淀粉分子间的相互作用增强,凝胶的黏度、弹性及强度增加。

2.6 不同碾磨程度米粉的凝胶质构特性

由图 5 可知,随着碾磨程度的增加,凝胶的各项质构

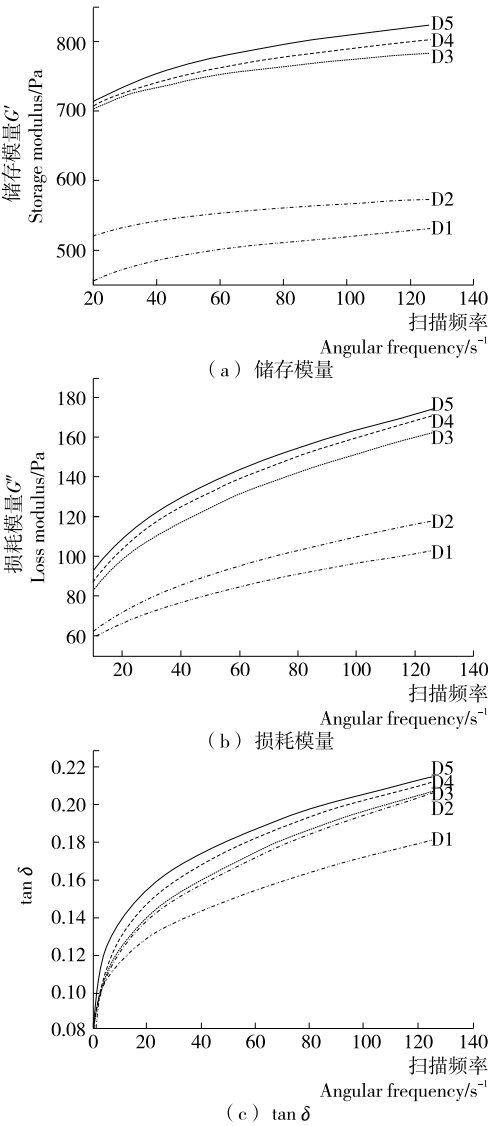


图 4 不同碾磨程度米粉糊动态流变特性

Figure 4 Dynamic rheological properties of rice flour with different milling degrees

参数尤其是硬度在显著增加,咀嚼性、黏聚性和回复性在 TPA 凝胶测试中的变化较小,直链淀粉老化是硬度增加的主要原因。碾磨程度较低的样品,会含有除淀粉之外的很多物质如蛋白质,阻碍淀粉分子之间通过氢键重排,随着碾磨程度的增加,米粉凝胶的硬度增强,说明通过碾磨去除了外层的蛋白质等物质后,米粉淀粉分子间的作用增强。质构结果表明碾磨过程降低了蛋白质浓度,削弱了蛋白质与淀粉尤其是与直链淀粉的相互作用,但是增强了淀粉分子内部氢键和凝胶网络的形成,所以碾磨程度高的米粉蛋白含量低而淀粉含量高,但是凝胶强度更大。

2.7 不同碾磨程度米粉凝胶微观结构

米粉糊化,凝胶固定,冻干,取完整部分观察微观结

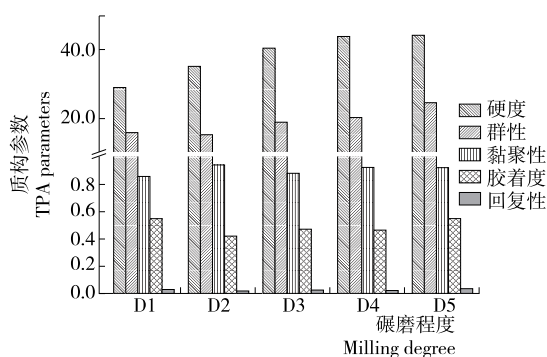


图 5 不同碾磨程度米粉的凝胶质构特性

Figure 5 TPA parameters of gels of rice flour with different milling degrees

构,不同凝胶在 500 倍和 1 200 倍下的结构如图 6 所示。随着研磨程度的增加,蛋白质比例降低,由于吸水膨化不完全的颗粒减少,凝胶层变薄,结构密度增强,凝胶结构更加均匀、光滑。相似地, Joshi 等^[21]的研究表明在扁豆

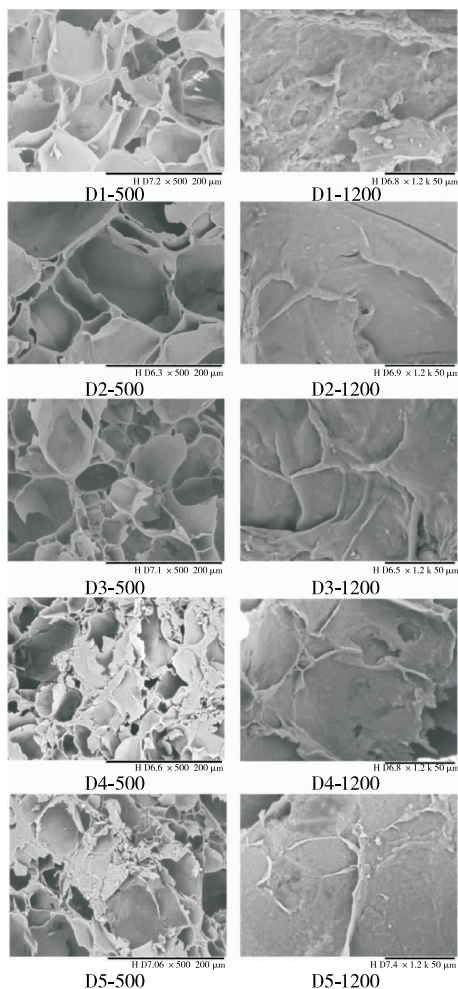


图 6 不同碾磨程度米粉凝胶微观结构

Figure 6 Microstructure of rice flour gel with different milling degrees

淀粉中添加扁豆蛋白,当淀粉比例高于蛋白时,蛋白比例越低凝胶电镜结构更加精细,说明淀粉凝胶网络的形成过程中,蛋白质会有部分阻碍作用。碾磨加工过程使得米粉的结构更加精细,削弱了蛋白质对淀粉凝胶结构的影响,米粉中淀粉分子间相互作用较强,凝胶结构更均匀光滑。

3 结论

随着碾磨程度的增加,大米中蛋白质含量降低,直链淀粉相对含量增加,大米粉的糊化黏度增加,糊化温度降低,糊化的米粉糊流动性降低,流体假塑性提高,老化后凝胶硬度更大,凝胶微观结构质地也更为均匀稳定,淀粉特征峰的吸收强度也相应增加。结果表明,碾磨加工对大米粉的糊化和短期老化有促进作用,碾磨程度高的大米粉在糊化期间稳定性更高,碾磨主要除去的是外层蛋白质,可以推测蛋白质对淀粉的糊化有阻碍作用,短期老化期间淀粉分子之间通过氢键的相互作用增强,蛋白质对淀粉分子间氢键的形成有阻碍作用。从大米特征组分变化角度说明了碾磨程度对大米粉品质特性的影响,不同碾磨程度的大米粉的不同特性可为大米生产加工及提高大米整体碾米利用率提供有效的理论依据,碾磨时间间隔均为 15 s,而 D2 和 D3 之间的各项指标参数差异最为显著,即碾磨 30 s 的大米与未加工的大米有显著差异。

参考文献

- [1] SANDHU R S, SINGH N, KALER R S S, et al. Effect of degree of milling on physicochemical, structural, pasting and cooking properties of short and long grain Indica rice cultivars[J]. Food Chemistry, 2018, 260(15): 231-238.
- [2] 李艳, 高文明, 易翠平. 碱提残余蛋白对籼米糊化特性的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(4): 5-8, 51.
- [3] 贺财俊, 李怡, 吴跃, 等. 籼米糊化特性与碾磨程度的相关性分析[J]. 食品科学, 2017(11): 66-70.
- [4] 骆啸. 加工精度对大米营养和食用品质的影响[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2017: 32-33.
- [5] BILLIRIS M A, SIEBENMORGEN T J, WANG Y J. Rice degree of milling effects on hydration, texture, sensory and energy characteristics Part 2: Cooking using fixed, water-to-rice ratios[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 113(4): 589-597.
- [6] CHEN J J, LU S, LII C Y. Effects of milling on the physicochemical characteristics of waxy rice in Taiwan[J]. Cereal Chemistry, 1999, 76(5): 796-799.
- [7] 周晓晴. 不同加工精度大米食味品质分析及其综合评价研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2013: 14-28.
- [8] DERYCKE V, VERAVERBEKE W S, VANDEPUTTE G E, et al. Impact of proteins on pasting and cooking properties of nonparboiled and parboiled rice[J]. Cereal Chemistry, 2005, 82(4): 468-474.

- [9] 李薇, 郑炯, 陈映衡, 等. 超声波处理对豌豆淀粉糊化、流变及质构特性的影响[J]. 食品与机械, 2018, 34(5): 32-37.
- [10] 贺财俊. 籼米碾磨程度与综合品质变化关联分析[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2017: 10-27.
- [11] CAI Jin-wen, MAN Jian-min, HUANG Jun, et al. Relationship between structure and functional properties of normal rice starches with different amylose contents[J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 125(10): 35-44.
- [12] LI Zhen-ni, WANG Li, CHEN Zheng-xing, et al. Impact of protein content on processing and texture properties of waxy rice flour and glutinous dumpling[J]. Journal of Cereal Science, 2018, 81: 30-36.
- [13] CARCEA M, ACQUISTUCCI R. Isolation and physico-chemical characterization of fonio (*Digitaria exilis* Stapf) starch[J]. Starch-Stärke, 1997, 49: 131-135.
- [14] CHEETHAM N W H, TAO Le-ping. Variation in crystalline type with amylose content in maize starch granules: An X-ray powder diffraction study[J]. Carbohydrate Polymers, 1998, 36(4): 277-284.
- [15] DEVI A F, FIBRIANTO K, TORLEY P J, et al. Physical properties of cryomilled rice starch[J]. Journal of Cereal Science, 2009, 49(2): 278-284.
- [16] RIBOTTA P D, ROSELL C M. Effects of enzymatic modification of soybean protein on the pasting and rheological profile of starch-protein systems[J]. Starch-Stärke, 2010, 62(7): 373-383.
- [17] NAWAB A, ALAM F, HASNAIN A. Functional properties of cowpea (*Vigna unguiculata*) starch as modified by guar, pectin, and xanthan gums[J]. Starch-Stärke, 2014, 66: 832-840.
- [18] ZHANG Bao, BAI Bin, PAN Yi, et al. Effects of pectin with different molecular weight on gelatinization behavior, textural properties, retrogradation and in vitro digestibility of corn starch[J]. Food Chemistry, 2018, 264(30): 58-63.
- [19] 裴晶莹, 赵佳慧, 李晓磊, 等. 刺槐豆胶与玉米淀粉混合物流变性分析[J]. 食品研究与开发, 2018(1): 1-4.
- [20] KUMAR P A, PUSHPADASS H A, FRANKLIN M E E, et al. Effect of enzymatic hydrolysis of starch on pasting, rheological and viscoelastic properties of milk-barnyard millet (*Echinochloa frumentacea*) blends meant for spray drying[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2016, 91: 838-845.
- [21] JOSHI M, ALDRED P, PANOZZO J F, et al. Rheological and microstructural characteristics of lentil starch-lentil protein composite pastes and gels[J]. Food Hydrocolloids, 2014, 35: 226-237.

(上接第 194 页)

酸菜中的本土菌种进行研究。在接下来的研究将从富源酸菜的分离本土乳酸菌, 采用筛选出的具有良好发酵能力和产香潜力的菌株, 进行发酵中试, 研究出特色鲜明的富源酸菜, 并在合作企业中进行产业化应用。

参考文献

- [1] 黄慧福, 潘丽君, 杨丽, 等. 降低富源酸菜中亚硝酸盐含量的研究[J]. 食品工业, 2018(4): 162-166.
- [2] 韩新锋, 刘书亮, 张艾青, 等. 产细菌素植物乳杆菌纯种半固态发酵对泡菜品质的影响[J]. 中国酿造, 2012, 31(7): 72-76.
- [3] 黄慧福, 杨丽, 潘丽君, 等. 降低叉烧肉中亚硝酸盐残留量的研究[J]. 食品科技, 2017, 42(12): 133-137.
- [4] 张庆乐, 王浩, 张丽青, 等. 茶溶液浸泡对黄瓜中硝酸盐和亚硝酸盐含量的影响[J]. 食品工业科技, 2009, 30(4): 131-133.
- [5] 王向阳, 金龙. 萝卜干腌制中亚硝酸盐的抑制研究[J]. 中国调味品, 2015, 40(2): 5-7.
- [6] 加列西, 马那甫, 德纳, 等. Vc清除酱油亚硝酸盐的响应面优化[J]. 东北农业大学学报, 2014, 45(7): 124-128.
- [7] 燕平梅, 薛文通, 张惠. 纯种发酵技术对发酵甘蓝中亚硝酸盐含量的影响[J]. 中国农业大学学报, 2007, 12(3): 70-74.
- [8] 王金菊, 崔宝宁, 张志洲. 泡菜风味形成的原理[J]. 食品研究与开发, 2008(12): 163-166.
- [9] 励慧敏. 提高酸菜风味包保存期品质的研究[J]. 食品研究与开发, 2011(8): 53-55.

信息窗

巴西拟制定用于鱼类及其制品的食品添加剂标准

2019年4月16日, 巴西卫生监督局发布第634号公众咨询文件, 拟制定用于鱼类及其制品的食品添加剂标准, 该标准列出了拟授权使用的食品添加剂名称、功能、最大使用量、使用条件等, 涉及焦糖 III、磷酸盐、

海藻酸、海藻酸钾、海藻酸钠、海藻酸铵、海藻酸钙、琼脂等食品添加剂品种。

向公众征求意见时间截至2019年6月25日。

(来源: <http://news.foodmate.net>)