

浸泡对稻米粉体应用品质的影响

田晓红^{1,2}, 吴娜娜¹, 张维清¹, 谭斌^{1*}, 方勇², 罗慧芳³

¹ 国家粮食和物资储备局科学研究院 北京 100037

² 江苏省现代粮食物流与安全协同创新中心 南京 210023

³ 湖南裕湘食品有限公司 湖南郴州 423000

摘要 为了评价浸泡工艺对稻米粉体应用品质的影响,将糙米和白米在 30 ℃下浸泡,评价不同浸泡时间(0.25,0.5,0.75,1,2,3,4,5,6,7,8 h)下糙米和大米的吸水率、微观结构、颗粒细度、损伤淀粉含量、蛋白质含量、微量元素含量及糊化特性。结果表明:白米在 1 h 内和糙米在 2 h 内吸水速率均快速增加,在 2 h 内糙米吸水速率显著低于白米,之后缓慢增加,在 5 h 达到平衡。随着浸泡时间的延长,白米表面出现蜂窝状结构增多,蜂窝变大,截面中细胞壁与细胞壁之前出现分离,淀粉颗粒之间结构变得松散,蛋白质含量、锰、锌、钾含量均呈下降趋势,而糙米结构随时间的变化不明显;白米浸泡 0.75 h 内和糙米浸泡 4 h 内,颗粒细度不断降低;白米粉的损失淀粉含量随浸泡时间的增加而不断降低,而糙米粉无显著变化。总之,因糙米外层被果皮包裹,水分需要较长时间才能进入到糙米内部,吸水速率低于白米。随着浸泡时间的延长,白米的结构和营养变化显著,糙米粉的结构和营养变化程度低于白米粉。

关键词 浸泡;糙米;大米;吸水率;微观结构;颗粒度;损伤淀粉

文章编号 1009-7848(2023)01-0184-10 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.01.018

米线(又名米粉条、米粉、米线)是我国具有悠久历史的传统食品,是米制品中的典型代表。据统计,我国大陆地区每年用于米线加工的大米约 100 万 t,占食品加工用米总量的三分之一左右,是我国消费量和消耗大米量最大的大米深加工产品^[1]。目前我国生产的米线以精白米线为主,相较于精白米,糙米含有丰富的植物化学素^[2-3],主要集中在米糠中^[4]。糙米的营养价值要高于精白米^[5],而利用糙米生产的糙米线产品极少。限制糙米线生产的一个原因是传统加工工艺是以淀粉为主要成分的精白米为原料,而糙米的糠层主要以膳食纤维为主,与精白米不同,传统加工工艺不适用,因此,亟待建立以糙米为加工对象的新加工工艺。

浸泡是谷物粉体加工过程中一道重要的前处理工序。在浸泡过程中,水分逐渐向谷物颗粒内部渗透,谷物的组织结构随之发生变化,当谷物籽粒吸收水分达到饱和时,皮层得以软化,结构强度降低,易于萌芽^[6]、磨粉等后续加工。谷物浸泡后,谷

物中的淀粉、蛋白质等营养成分^[7-8]、结构发生一定程度的变化,从而导致全谷物的糊化特性、流变学特性、质构特性等发生改变,谷物食品的营养品质和食用品质也随之发生变化。影响谷物浸泡效果的主要因素有谷物种类、浸泡液种类^[9]、料液比^[10]、浸泡温度^[11]、浸泡时间^[12]及辅助处理等。糙米表面含有蜡质皮层,结构紧密,吸水速率、最终含水量与精白米不同。本文以糙米和白米为原料,评价不同浸泡时间下米粉的营养品质和加工特性,对比糙米粉和白米粉粉体应用的差异,为糙米粉体应用提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

大米、糙米,江西省抚州市临川区东馆镇。

1.2 仪器与设备

离子溅射仪、S-300N 型扫描电镜,日本 Hitachi 公司;SDmatic 损伤淀粉测定仪,法国肖邦技术公司;RVA-4500 快速黏度测定仪,瑞典波通仪器公司;蛋白质测定仪-杜马斯燃烧法,Elementar 公司;Mastersizer2000 E 型激光粒度仪,英国马尔文公司;BGZ-140 电热恒温鼓风干燥箱、SHZ-B 水浴恒温振荡器,上海博讯医疗生物仪器股份有

收稿日期:2022-01-07

基金项目:“十四五”国家重点研发计划项目
(2021YFD2100203)

第一作者:田晓红,女,硕士,副研究员

通信作者:谭斌 E-mail:tb@ags.ac.cn

限公司;半干磨粉机,东莞陈辉球米粉设备有限公司;PL3002IC 和 AB304-S 分析天平,瑞士梅特勒托利多公司。

1.3 方法

1.3.1 吸水率 根据 Turhan 等^[13]的测定方法稍作调整。分别准确称取 10.00 g 大米(记为 m_1)(或糙米)放入 50 mL 离心管中,加入 30 mL 30 °C 的去离子水,轻轻摇晃使大米(或糙米)浸泡在水中后,立刻放入 30 °C 恒温水浴中,开始计时。浸泡 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 h 后取出,用纱布和滤纸吸干表面多余的水分,放到干净的培养皿上,置于分析天平上称重 m_2 ,按照公式(1)计算吸水率。

$$\text{吸水率}(\%) = \frac{(m_2 - m_1)}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

1.3.2 不同浸泡时间大米粉(糙米粉)的制备 将 20 kg 大米(糙米)淘洗 2 遍后浸泡在 30 °C 的水中,分别在浸泡 0.25, 0.5, 0.75, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 h 后取出 1 kg 左右的大米(糙米),控水 5 min,在半干磨粉机上粉碎成米粉,米粉过 100 目筛。将米粉平铺在托盘中,放入 45 °C 的电热鼓风干燥箱中烘干 8 h 以上,待水分降至 10% 以下取出,温度降至室温后装入自封袋中冷藏备用。未经过浸泡的原料粉碎后作为 0 min 的对照。

1.3.3 蛋白质含量测定 采用 GB/T 24318-2009 “杜马斯燃烧法测定饲料原料中总氮含量及粗蛋白质的计算”^[14]方法。

1.3.4 微量元素测定 采用 GB/T 35871-2018 “粮油检验 谷物及其制品中钙、钾、镁、钠、铁、磷、锌、铜、锰、硼、钡、钼、钴、铬、锂、锶、镍、硫、钒、硒、铷含量的测定 电感耦合等离子体发射光谱法”^[15]方法。

1.3.5 颗粒细度 参照参考文献[16],将 1.3.2 节得到的大米粉(糙米粉)适量放入激光粒度仪容器内,测定粉体的颗粒细度和分布。

1.3.6 损伤淀粉含量 采用 30 °C 浸泡后粉碎的原料,参照 GB/T 31577-2015 “粮油检验 小麦粉损伤淀粉测定 安培计法”^[17]的方法,使用 SD mat-ic 破损淀粉测定仪测定糙米粉中破损淀粉含量,以 UCDe 值计。

1.3.7 微观结构 将 1.3.1 节中称重后的样品放

入 -18 °C 冰箱中冷冻 1 h,取出后进行冷冻干燥,干燥后放入自封袋中备用。取干燥后有代表性的大米(糙米)用刀片轻轻切断,分别将横断面和表面用双面胶固定到载物台上,使用离子溅射仪喷金 90 s,大约喷上 10 nm 厚的金,在扫描电镜下用 10 kV 的加速电压观察横断面和表面。

1.3.8 黏度 (RVA) 采用 30 °C 浸泡后粉碎的原料,参照 GB/T 24852-2010 “大米及米粉糊化特性测定快速粘度仪法”^[18]的方法测定。

1.3.9 数据分析 采用 WPS、stats 进行数据处理。所有的试验结果表示为“平均值±标准差”。在所有的统计分析中, $P < 0.05$ 为显著差异,显著性差异用多重比较法中的标记字母法表示。

2 结果与分析

2.1 吸水率

吸水率反映的是稻米吸水程度的一个指标。从图 1 中可以看出,白米在 0~1 h 之间,糙米在 0~5 h 之间,随着浸泡时间的延长,白米和糙米的吸水率均呈显著增加趋势,之后白米和糙米的吸水率均无显著变化。在 0~2 h 之间,白米的吸水率高于糙米的吸水率,在浸泡 0.25 h 时,白米吸水率为 21.55%,在 2 h 时,白米吸水率为 23.86%,增加了 2.31%,随着浸泡时间的延长,吸水率增加的幅度比较小。而在 0~2 h 之间,糙米的吸水率呈近似线性递增的趋势,变化趋势与前人研究结果相同^[19-20],在 2~5 h 时,缓慢增加。谷物的吸水速率和最终含水量与谷物种类有关,糙米表面有蜡质层的保护,

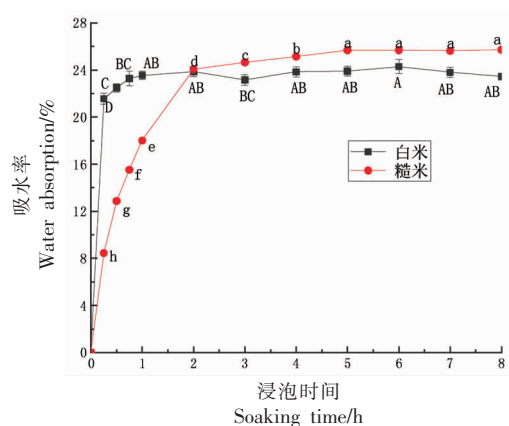


图 1 不同浸泡时间下的吸水率

Fig.1 Water absorption at different soaking time

不利于水分进入籽粒内部,导致糙米吸水速度慢,糙米糠层的主要成分是膳食纤维,其吸水率高于淀粉,使得糙米吸水速率慢,而最终吸水率高于精白米。精白米的主要成分是淀粉,浸泡到水中后,迅速吸水,很快即达到较高的吸水率,且随着浸泡时间的延长,精白米由于没有米糠层的保护而导致内容物溶出,吸水率下降。谷物的吸水率与浸泡温度有关,升高浸泡温度可增大水分扩散系数,缩短浸泡时间^[12],而浸泡温度不宜过高,因为过高的温度易造成谷物吸水过量,引起籽粒表面出现裂纹,导致部分内容物溶出^[9-13]。

2.2 蛋白质

不同浸泡时间下精白米和糙米的蛋白质含量见表1。精白米蛋白质含量没有明显的变化规律,在浸泡8 h时,精白米的蛋白质含量较高。糙米浸泡时,蛋白质含量的变化趋势与精白米不同,随着浸泡时间的延长,糙米蛋白质含量逐渐升高(5 h除外)。可能的原因是随着浸泡时间的延长,精白米和糙米本身的可溶性糖类物质溶解到水中^[21],使得蛋白质含量相对提高。也有可能是在浸泡过程中,糙米吸水萌动,低分子质量代谢物及细胞溶质从种子溶出,内源酶将不可溶成分分解成可溶性组分,从糙米中溶出^[22-23]。

2.3 微量元素

浸泡过程中,白米和糙米微量元素变化见图2,糙米中的微量元素显著高于白米中相应的微量元素(Cd均没有被检出),这是因为微量元素主要集中在米糠层中,糙米的营养价值高于白米^[24]。随着浸泡时间的延长,白米中,锌、锰、铁、钾4种微量元素含量逐渐减少,镁元素先减少后上升,钙、

表1 不同浸泡时间下的蛋白质含量

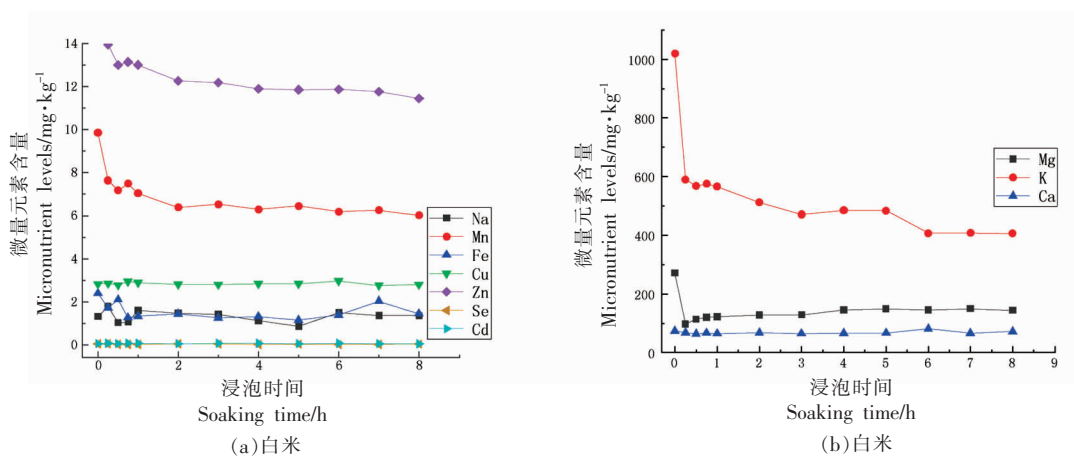
浸泡时间/h	白米蛋白质含量/%	糙米蛋白质含量/%
0	9.68 ± 0.05 ^{ab}	9.49 ± 0.04 ^c
0.25	9.55 ± 0.03 ^{bc}	9.53 ± 0.11 ^c
0.5	9.56 ± 0.11 ^{bc}	9.36 ± 0.06 ^c
0.75	9.77 ± 0.17 ^{ab}	9.83 ± 0.21 ^b
1	9.86 ± 0.08 ^a	9.59 ± 0.08 ^{bc}
3	9.57 ± 0.26 ^{bc}	9.59 ± 0.15 ^{bc}
5	9.43 ± 0.07 ^c	9.43 ± 0.15 ^c
8	9.66 ± 0.09 ^{abc}	10.08 ± 0.03 ^a

注:小写字母代表同一列数据的显著性差异($P < 0.05$)。

钠、铜、硒和镉元素基本保持不变(图2a、图2b),钾、镁、锰元素含量显著低于未浸泡白米;随着浸泡时间的延长,糙米中的锰元素先降低再升高,钾元素缓慢降低,锌元素先升高再降低,镁、钙、铁、钠、铜、硒和镉元素无显著性变化(图2c、图2d)。Albarraçin等^[25]在研究乳酸浸泡糙米48 h时,铁和锌分别损失了50%和64%,与此结果不一致。可能是因为本研究浸泡时间相对比较短,糙米中的酶还没有活动。

2.4 颗粒细度

颗粒细度是粉体的重要评价指标之一,在全谷物食品原料中尤其重要,它能决定谷物食品表面粗糙度。颗粒细度越小,皮层在全谷物粉中分布越均匀,全谷物食品的食品表面越光滑,口感越细腻^[26]。然而全谷物颗粒细度越小,麸皮中脂肪氧合酶与面粉中脂质发生氧化反应的概率越高^[27],全谷物食品颜色会偏暗。不同浸泡时间下白米粉和糙米粉的颗粒细度见表2,随着浸泡时间的延长,



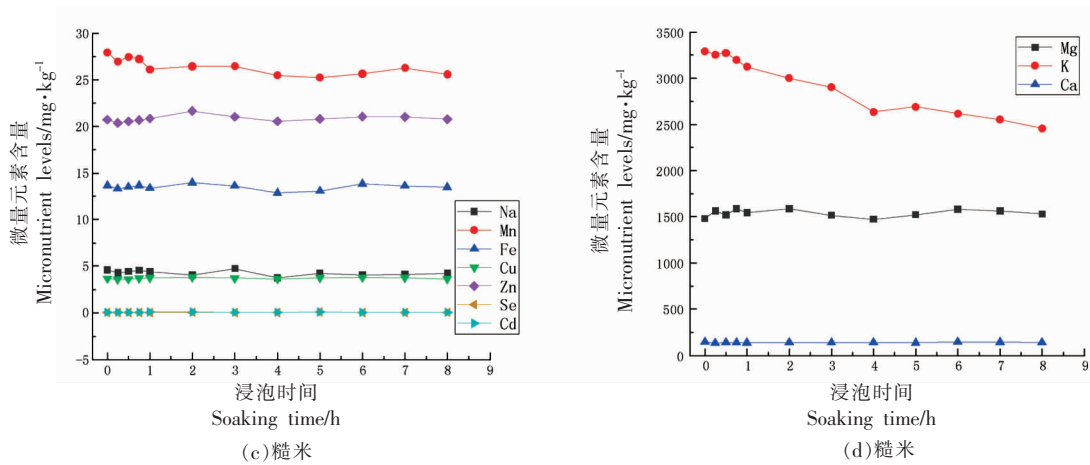


图 2 不同浸泡时间下白米粉和糙米粉的微量元素含量

Fig.2 Micronutrient levels of white rice flour and brown rice flour at different soaking time

表 2 不同浸泡时间下白米粉和糙米粉的颗粒细度

Table 2 Particle size of white rice flour and brown rice flour at different soaking time

类型	浸泡时间/h	D[4,3]-体积 加权平均	D[3,2]-表面积 加权平均	d(0.1)	d(0.5)	d(0.9)
白米	0	171.53 ± 0.95 ^d	80.55 ± 0.26 ^c	45.85 ± 0.20 ^b	170.38 ± 0.41 ^b	302.38 ± 2.67 ^d
	0.25	121.94 ± 0.22 ^g	47.73 ± 0.72 ^{ijk}	20.78 ± 0.33 ⁿ	87.15 ± 0.90 ^{hi}	269.08 ± 6.07 ^e
	0.5	114.52 ± 0.54 ^{hi}	46.57 ± 0.43 ^{kl}	22.49 ± 0.83 ^m	82.19 ± 0.40 ^j	247.87 ± 7.86 ^f
	0.75	91.74 ± 0.90 ^{kl}	44.76 ± 0.36 ^{kl}	23.26 ± 0.16 ^{lm}	76.70 ± 0.61 ^{kl}	178.67 ± 0.83 ^j
	1	94.09 ± 0.41 ^k	45.71 ± 0.11 ^{kl}	24.92 ± 0.12 ^{kl}	78.68 ± 0.21 ^{kl}	184.19 ± 1.16 ^j
	2	91.10 ± 0.46 ^{kl}	43.98 ± 0.42 ^l	22.90 ± 0.27 ^m	76.64 ± 0.25 ^{kl}	177.63 ± 1.12 ^{jk}
	3	92.02 ± 0.56 ^{kl}	45.53 ± 0.40 ^{kl}	24.51 ± 0.20 ^k	78.13 ± 0.26 ^{kl}	178.35 ± 1.64 ^{jk}
	4	98.85 ± 0.51 ^j	47.62 ± 0.38 ^{ij}	30.02 ± 0.22 ⁱ	82.08 ± 0.67 ^j	193.14 ± 1.81 ⁱ
	5	93.84 ± 1.13 ^k	46.90 ± 0.63 ^{ijk}	26.92 ± 0.51 ^j	78.85 ± 0.77 ^{kl}	181.61 ± 2.44 ^j
糙米	0	194.05 ± 0.48 ^a	88.52 ± 0.47 ^a	47.41 ± 0.67 ^a	172.77 ± 0.56 ^a	376.75 ± 2.36 ^{ab}
	0.25	187.31 ± 0.25 ^b	79.68 ± 0.20 ^c	39.78 ± 0.78 ^d	163.61 ± 0.29 ^c	375.69 ± 0.40 ^{ab}
	0.5	193.21 ± 0.80 ^a	84.19 ± 0.43 ^b	41.53 ± 0.26 ^c	170.84 ± 0.58 ^{ab}	382.38 ± 1.28 ^a
	0.75	178.68 ± 0.18 ^c	76.41 ± 0.09 ^d	37.66 ± 0.14 ^{ef}	150.80 ± 0.55 ^d	367.38 ± 0.10 ^b
	1	148.19 ± 0.91 ^e	63.01 ± 0.03 ^f	32.96 ± 0.56 ^h	110.73 ± 1.29 ^e	324.08 ± 1.40 ^c
	2	147.53 ± 0.49 ^e	66.36 ± 0.78 ^e	35.00 ± 0.36 ^g	110.78 ± 1.29 ^e	319.39 ± 0.95 ^c
	3	132.88 ± 1.08 ^f	64.30 ± 0.26 ^f	36.63 ± 0.04 ^f	98.90 ± 0.57 ^f	283.37 ± 3.15 ^e
	4	116.12 ± 0.48 ^{gh}	57.90 ± 0.32 ^h	32.37 ± 0.10 ^h	86.33 ± 0.69 ^j	247.49 ± 1.15 ^{fg}
	5	117.91 ± 1.86 ^h	59.56 ± 0.21 ^h	34.43 ± 0.40 ^g	88.74 ± 0.60 ^{hi}	247.56 ± 5.46 ^g
6	112.43 ± 1.36 ⁱ	57.80 ± 0.24 ^h	34.66 ± 0.07 ^g	85.90 ± 0.79 ⁱ	232.19 ± 4.18 ^h	
7	124.48 ± 2.36 ^g	64.21 ± 0.66 ^{fg}	38.38 ± 0.16 ^e	95.14 ± 1.19 ^g	257.77 ± 6.21 ^{fg}	
8	114.04 ± 0.99 ^{hi}	61.57 ± 0.35 ^g	36.97 ± 0.23 ^{ef}	90.43 ± 0.21 ^{gh}	229.61 ± 3.14 ^h	

注:小写字母代表同一列数据的显著性差异(P<0.05)。

颗粒细度均呈降低趋势。白米浸泡 0.75 h 后,颗粒细度变化不显著,而糙米浸泡 4 h 后,颗粒细度变化不显著。这是因为糙米表面的种皮结构致密,水分不容易进入到颗粒内部,需要浸泡较长时间,水分才能进入到颗粒内部。糙米粉的颗粒细度大于白米粉的颗粒细度,这是因为糙米中的米糠层纤维含量高,不容易被粉碎。颗粒细度与比表面积呈负相关,颗粒细度越小,比表面积越大,意味着全谷物粉的表面能越大,粉体的吸附性能越强,反应活性、分散性、溶解度等越高。

2.5 损伤淀粉

损伤淀粉主要在制粉过程中产生,其含量和损伤程度对食品加工具有重要影响。影响损伤淀粉产生的主要因素包括原料、制粉方式、颗粒细度和机械碾磨强度等。粉体颗粒细度和碾磨强度呈正相关,碾磨强度越大,颗粒细度越小,粉体损伤淀粉含量也越高^[28-29],随着浸泡时间的延长,白米的损伤淀粉含量呈减小趋势,浸泡 0.25 h 时,损伤淀粉含量最高,为(89.21±0.16)UCDc,这可能由于浸泡 0.25 h 时,白米表层被水浸湿,而籽粒内部大部分淀粉还没有被浸湿,在碾磨过程中,白米表层吸水,使得大米粉的流动性不如未浸泡的白米粉,不容易通过筛网,在磨粉机中停留的时间比浸泡 0 h 所需要的时间长,而碾磨所需要的力并不比未浸泡白米小,导致浸泡 0.25 h 的白米损伤淀粉含量比未浸泡的白米损伤淀粉含量高;随着浸泡时间的延长,损伤淀粉含量逐渐降低,在浸泡 8 h 时,损伤淀粉含量最低,为(84.09±0.12)UCDc。

随着浸泡时间的延长,糙米粉的损伤淀粉含量与白米粉不同,糙米粉的损伤淀粉含量最低为未经过浸泡的糙米(浸泡时间 0 h),经过浸泡后,糙米粉的损伤淀粉含量在 85.48 UCDc~87.96 UCDc 之间,均显著高于浸泡后的糙米。损伤淀粉含量与碾磨强度呈正相关^[30]。经过浸泡后,糙米表面的米糠层吸水后韧性增强,不易粉碎,若要通过 100 目筛,则需在磨粉机腔体内停留更长的时间,导致浸泡后的糙米粉损伤淀粉含量升高。

2.6 微观结构

白米和糙米浸泡前、后的表面、截面微观结构见图 3。浸泡后,白米表面出现蜂窝状结构,随着浸泡时间的延长,蜂窝结构变大变深;未经浸泡的

表 3 不同浸泡时间下白米粉和糙米粉的损伤淀粉含量

Table 3 Damage starch content of white rice flour and brown rice flour at different soaking time

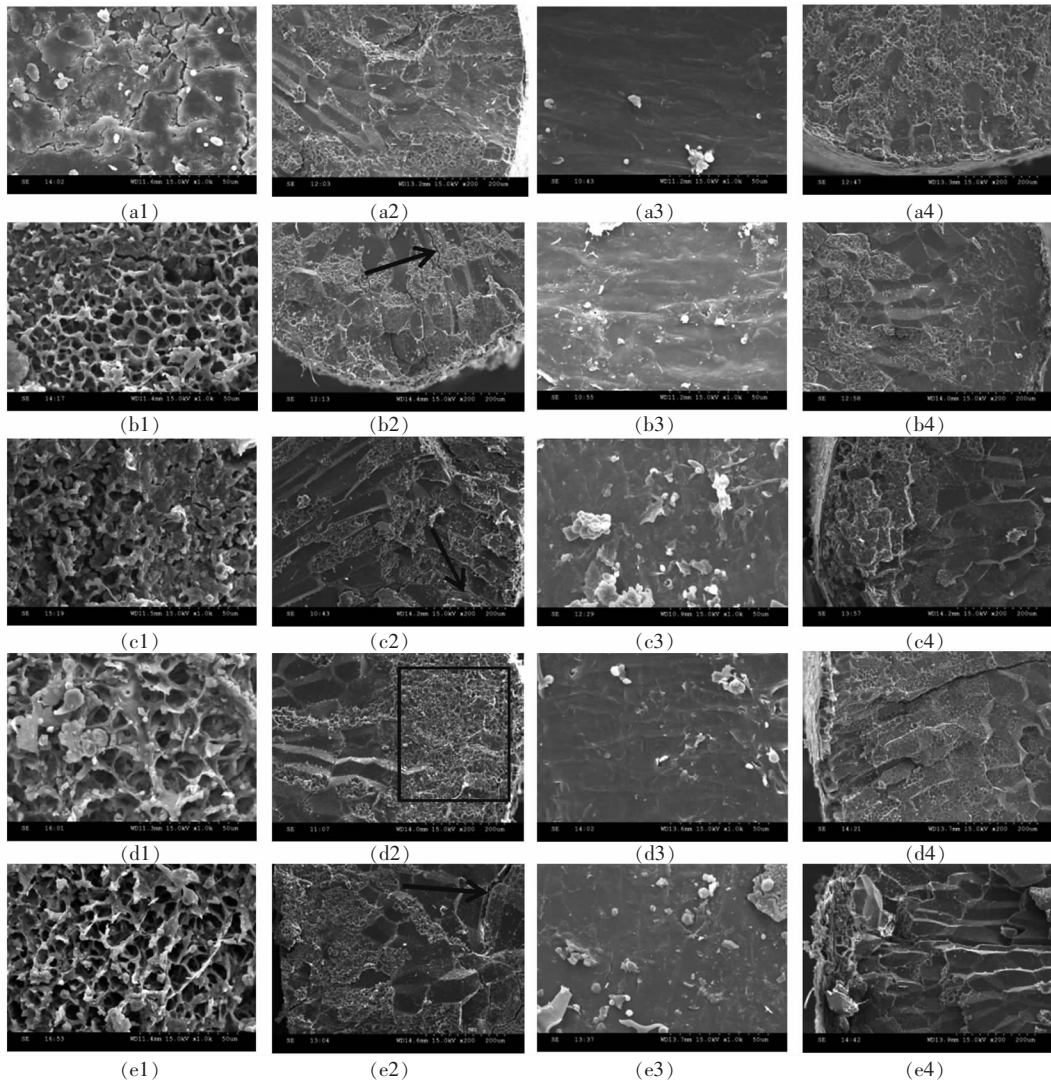
浸泡时间/h	白米粉/UCDc	糙米粉/UCDc
0	86.14 ± 0.25 ^{cd}	82.45 ± 0.41 ^f
0.25	89.21 ± 0.16 ^a	86.06 ± 0.43 ^{de}
0.5	88.04 ± 0.97 ^b	86.22 ± 0.91 ^{cd}
0.75	86.66 ± 0.07 ^c	86.35 ± 0.31 ^{cd}
1	86.47 ± 0.10 ^{cd}	87.09 ± 0.68 ^{bc}
2	85.96 ± 0.42 ^{de}	85.55 ± 0.23 ^e
3	85.00 ± 0.02 ^f	85.48 ± 0.16 ^e
4	83.49 ± 0.04 ^b	87.67 ± 0.24 ^{ab}
5	85.40 ± 0.07 ^{cd}	87.00 ± 0.67 ^{bc}
6	85.39 ± 0.14 ^{cd}	87.96 ± 0.31 ^a
7	84.31 ± 0.39 ^e	85.68 ± 0.28 ^e
8	84.09 ± 0.12 ^e	86.80 ± 0.51 ^{bcd}

注:小写字母代表同一列数据的显著性差异($P < 0.05$)。

白米截面,能够观察到长棱型的细胞结构,细胞与细胞紧密排列,淀粉颗粒被细胞壁紧紧包裹在细胞中,随着浸泡时间的延长,细胞与细胞之间的结构变得松散,一些细胞间甚至出现微小裂纹(见图 3 中的箭头所指),淀粉粒和淀粉粒之间也变得松散,甚至一部分淀粉粒从结构中脱落下来。这也就使得粉碎时,所需要更少的力即可破坏原细胞结构。未经浸泡的糙米表面光滑,隐约可见纤维束结构,浸泡后,糙米表面的纤维束结构变得清晰,表面出现一些零星淀粉粒,这是因为浸泡时,一些破碎糙米的淀粉粒脱落到水中,并附着在糙米表面。

2.7 糊化特性

米粉的糊化特性决定米制品品质,米粉的峰值黏度、最低黏度和衰减性与米发糕感官品质呈显著负相关^[31]。在相同的浸泡时间下,白米粉的峰值黏度、最低黏度、衰减性、最终黏度均显著高于糙米粉的峰值黏度、最低黏度、衰减性、最终黏度(见表 4),糙米粉的糊化温度高于白米粉的糊化温度,这是因为糙米粉中膳食纤维含量比白米粉高,膳食纤维含量高,会使膳食纤维淀粉体系的糊化温度升高,衰减性和回生值降低^[32],膳食纤维能够抑制淀粉的回生^[33]。这可能是由于膳食纤维中一些糖链上的羟基与淀粉竞争性吸水,导致淀粉吸水速率减慢,也可能是因为膳食纤维糊化温度



注:a~e 依次为浸泡 0,0.25,2,5,8 h;1~4 依次为白米表面、白米截面、糙米表面、糙米截面。

图 3 不同浸泡时间下白米和糙米的微观结构(x1 000)

Fig.3 Microstructure of white rice flour and brown rice flour at different soaking time (x1 000)

低,在淀粉粒周围形成糊化膜,延缓了水分进入淀粉颗粒内部,使得糊化温度升高。经过浸泡的白米粉和糙米粉其峰值黏度和最低黏度均显著高于未浸泡的白米粉和糙米粉。在白米浸泡 4 h、糙米浸

泡 8 h 时,其峰值黏度、最低黏度和衰减值均达到较高值,白米需要浸泡的时间比糙米需要浸泡的时间少。

表 4 不同浸泡时间下白米粉和糙米粉的黏度特性

Table 4 Viscosity characteristic of white rice flour and brown rice flour at different soaking time

类型	浸泡时间/ h	峰值黏度/ RVU	最低黏度/ RVU	衰减值/ RVU	最终黏度/ RVU	回生值/ RVU	峰值时间/ min	糊化温度/ ℃
白米	0	4 145 ± 31 ^g	2 673 ± 161 ^d	1 473 ± 192 ^e	7 384 ± 85 ^d	4 712 ± 76 ^a	5.60 ± 0.10 ^e	80.7 ± 0.1 ^e
	0.25	4 791 ± 35 ^f	3 250 ± 1 ^c	1 541 ± 34 ^{de}	7 691 ± 63 ^{de}	4 441 ± 62 ^b	5.93 ± 0.00 ^{abcd}	82.3 ± 1.2 ^{bcd}
	0.5	5 121 ± 45 ^{de}	3 460 ± 38 ^{abc}	1 661 ± 7 ^{cdk}	7 819 ± 50 ^{de}	4 359 ± 12 ^{bcdk}	6.04 ± 0.05 ^{abcd}	80.7 ± 0.1 ^e
	0.75	5 096 ± 43 ^{de}	3 455 ± 80 ^{abc}	1 641 ± 123 ^{cdk}	7 706 ± 136 ^{cdk}	4 252 ± 56 ^{bcdefgh}	6.04 ± 0.05 ^{abcd}	80.8 ± 0.1 ^e

(续表 4)

类型	浸泡时间/ h	峰值黏度/ RVU	最低黏度/ RVU	衰减/值/ RVU	最终黏度/ RVU	回生/值/ RVU	峰值时间/ min	糊化温度/ ℃
糙米	1	5 048 ± 17 ^e	3 434 ± 86 ^{abc}	1 614 ± 103 ^{cde}	7 730 ± 73 ^{ole}	4 296 ± 13 ^{bcddefg}	6.00 ± 0.10 ^{abcd}	80.7 ± 0.0 ^e
	2	5 089 ± 115 ^{de}	3 396 ± 194 ^{cb}	1 693 ± 310 ^{bode}	7 591 ± 21 ^{bode}	4 195 ± 215 ^{defghij}	5.97 ± 0.33 ^{abcd}	80.8 ± 0.0 ^e
	3	5 117 ± 70 ^{le}	3 427 ± 3 ^{abc}	1 691 ± 67 ^{bode}	7 688 ± 26 ^{bode}	4 261 ± 29 ^{bcddefgh}	6.04 ± 0.05 ^{abcd}	80.7 ± 0.0 ^e
	4	5 668 ± 25 ^a	3 629 ± 83 ^{ab}	2 039 ± 58 ^a	7 796 ± 42 ^a	4 167 ± 42 ^{defghij}	6.00 ± 0.10 ^{abcd}	81.1 ± 0.6 ^{de}
	5	5 473 ± 83 ^b	3 575 ± 79 ^{ab}	1 898 ± 4 ^{ab}	7 914 ± 210 ^{ab}	4 339 ± 131 ^{bcddef}	5.94 ± 0.09 ^{abcd}	80.7 ± 0.0 ^e
	6	5 242 ± 154 ^{cd}	3 517 ± 238 ^{abc}	1 725 ± 161 ^{bcd}	7 649 ± 138 ^{bcd}	4 132 ± 100 ^{abij}	6.04 ± 0.05 ^{abcd}	80.7 ± 0.0 ^e
	7	5 291 ± 71 ^e	3 384 ± 122 ^{bc}	1 907 ± 51 ^{ab}	7 610 ± 115 ^{ab}	4 126 ± 6 ^{abij}	5.94 ± 0.09 ^{abcd}	80.7 ± 0.0 ^e
	8	5 486 ± 3 ^b	3 684 ± 14 ^a	1 802 ± 11 ^{bc}	7 725 ± 23 ^{bc}	4 041 ± 37 ^{ij}	5.97 ± 0.05 ^{abcd}	81.2 ± 0.6 ^{de}
	0	2 977 ± 55 ^l	2 047 ± 30 ^g	930 ± 25 ^{fg}	6 298 ± 32 ^{fg}	4 251 ± 2 ^{bcddefgh}	5.60 ± 0.00 ^e	83.2 ± 0.0 ^{bc}
	0.25	3 155 ± 137 ^k	2 322 ± 146 ^f	833 ± 8 ^g	6 579 ± 315 ^g	4 257 ± 169 ^{bcddefgh}	5.63 ± 0.14 ^{de}	83.2 ± 0.0 ^{bc}
	0.5	3 128 ± 178 ^{kl}	2 352 ± 236 ^{ef}	776 ± 58 ^g	6 349 ± 139 ^g	4 027 ± 97 ^j	5.80 ± 0.00 ^{de}	84.8 ± 1.2 ^a
	0.75	3 499 ± 111 ^{ijk}	2 594 ± 2 ^{de}	905 ± 109 ^g	6 657 ± 119 ^{fg}	4 064 ± 117 ^{hij}	5.90 ± 0.04 ^{bcd}	83.2 ± 0.1 ^{bc}
	1	3 569 ± 64 ^{ij}	2 462 ± 58 ^{def}	1 107 ± 6 ^f	6 661 ± 69 ^f	4 199 ± 11 ^{defghij}	5.87 ± 0.00 ^{cd}	82.4 ± 1.2 ^{bcd}
	2	3 629 ± 40 ^{hij}	2 508 ± 13 ^{def}	1 121 ± 28 ^f	6 929 ± 13 ^f	4 421 ± 0 ^{bc}	5.90 ± 0.04 ^{bcd}	81.1 ± 0.7 ^{de}
	3	3 606 ± 97 ^{hij}	2 634 ± 211 ^d	972 ± 115 ^{fg}	6 977 ± 96 ^{fg}	4 344 ± 115 ^{bcddef}	6.10 ± 0.24 ^{abc}	82.0 ± 1.7 ^{cd}
	4	3 453 ± 66 ^{jk}	2 538 ± 21 ^{def}	915 ± 45 ^{fg}	6 919 ± 111 ^{fg}	4 381 ± 90 ^{bcd}	6.13 ± 0.00 ^{ab}	83.6 ± 0.6 ^{ab}
5	3 559 ± 1 ^{ij}	2 584 ± 30 ^{def}	976 ± 32 ^{fg}	6 812 ± 1 ^{fg}	4 228 ± 30 ^{defghij}	6.10 ± 0.04 ^{abc}	83.2 ± 0.0 ^{bc}	
6	3 660 ± 19 ^{hi}	2 676 ± 23 ^d	984 ± 4 ^{fg}	6 827 ± 3 ^{fg}	4 152 ± 26 ^{defghij}	6.10 ± 0.04 ^{abc}	82.4 ± 1.3 ^{bcd}	
7	3 346 ± 111 ^k	2 418 ± 122 ^{def}	928 ± 11 ^{fg}	6 423 ± 183 ^{fg}	4 005 ± 61 ^j	6.17 ± 0.05 ^a	83.2 ± 0.0 ^{bc}	
8	3 746 ± 40 ^h	2 645 ± 15 ^d	1 101 ± 55 ^f	6 986 ± 16 ^f	4 342 ± 30 ^{bcddef}	6.07 ± 0.00 ^{abc}	81.5 ± 0.0 ^{de}	

注:小写字母代表同一列数据的显著性差异($P < 0.05$)。

3 结论

浸泡对稻米的蛋白质、微量元素、颗粒细度、损伤淀粉含量、糊化特性均有所改变,而白米和糙米的变化趋势有所不同。白米表层失去果皮的保护,吸水速率快,在浸泡过程中,白米表层的淀粉颗粒、可溶性蛋白等溶解到水中,表面的蜂窝状结构增多,使得蛋白质、锰、锌含量减少,浸泡 0.75 h 后,颗粒细度不再减少,而浸泡时间的延长,有助于损伤淀粉含量的降低,提高峰值黏度,降低回生值。糙米外层被果皮包裹,水分需要较长时间才能进入糙米内部,吸水速率低于白米,浸泡 5 h 后,吸水达到饱和状态,吸水率不再增加。浸泡同样有助于降低糙米的颗粒细度和损伤淀粉含量,然而在浸泡 4 h 后,其颗粒细度和损伤淀粉含量不再减小。因此,在糙米或白米进行粉碎制备米制品时,应根据制备的产品,有目的的选择合适的浸泡条件,以得到最佳的产品品质。

参 考 文 献

- [1] 李里特,成明华. 米粉的生产与研究现状[J]. 食品与机械, 2000, 77(3): 10-12.
LI L T, CHENG M H. Production and research status of rice noodle[J]. Food & Machinery, 2000, 77(3): 10-12.
- [2] 赵悦,李加双,谭瑶瑶,等. 不同加工程度大米制备的米粉特性及营养品质比较[J]. 现代食品科技, 2019, 35(4): 87-95.
ZHAO Y, LI J S, TAN Y Y, et al. Comparison of the edible characteristics and nutrient quality of rice flour prepared with different processing degrees[J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 35(4): 87-95.
- [3] GONG E S, LUO S, LI T, et al. Phytochemical profiles and antioxidant activity of processed brown rice products[J]. Food Chemistry, 2017, 232: 67-78.
- [4] ADOM K K, SORRELLS M E, LIU R H. Phyto-

- chemicals and antioxidant activity of milled fractions of different wheat varieties[J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2005, 53(6): 2297-2306.
- [5] SHOBANA S, MALLESHI N G, SUDHA V, et al. Nutritional and sensory profile of two Indian rice varieties with different degrees of polishing[J]. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 2011, 62(8): 800-810.
- [6] 李思, 方坚, 梁建芬. 浸泡液对糙米发芽的影响研究[J]. *食品科学*, 2007, 28(7): 138-141.
- LI S, FANG J, LIANG J F. Effects of soaking media on germination of brown rice[J]. *Food Science*, 2007, 28(7): 138-141.
- [7] LIANG J F, HAN B Z, NOUT M J R, et al. Effects of soaking, germination and fermentation on phytic acid, total and *in vitro* soluble zinc in brown rice[J]. *Food Chemistry*, 2008, 110(4): 821-828.
- [8] AFIFY A E M M, EI-BELTAGI H S, EI-SALAM S M A, et al. Biochemical changes in phenols, flavonoids, tannins, vitamin E, β -carotene and antioxidant activity during soaking of three white sorghum varieties[J]. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 2012, 2(3): 203-209.
- [9] BELLO M, TOLABA M P, SUAREZ C. Factors affecting water uptake of rice grain during soaking[J]. *LWT-Food Science Technology*, 2004, 37(8): 811-816.
- [10] 王娜, 吴娜娜, 谭斌, 等. 糙米干法和湿法微粉碎对面团及面包品质的影响[J]. *中国食品学报*, 2020, 20(1): 166-171.
- WANG N, WU N N, TAN B, et al. Effect of micro-grinding of brown rice flour by dry and wet methods on the quality of dough and bread[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2020, 20(1): 166-171.
- [11] THAKUR A K, GUPTA A K. Water absorption characteristics of paddy, brown rice and husk during soaking[J]. *Journal of Food Engineering*, 2006, 75(2): 252-257.
- [12] BALKRISHNAI S P, VISVANATHAN R. Hydration kinetics of little millet and proso millet grains: Effect of soaking temperature[J]. *Journal of Food Science and Technology-Mysore*, 2019, 56(7): 3534-3539.
- [13] TURHAN M, SAYAR S, GUNASEKARAN S. Application of Peleg model to study water absorption in chickpea during soaking[J]. *Journal of Food Engineering*, 2002, 53(2): 153-159.
- [14] 国家质量监督检验检疫总局. 杜马斯燃烧法测定饲料原料中总氮含量及粗蛋白质的计算: GB/T 24318-2009[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009: 1-11.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Determination of total nitrogen content in animal feeding stuffs by combustion according to the Dumas principle and calculation of the crude protein content: GB/T 24318-2009[S]. Beijing: Standards Press of China, 2009: 1-11.
- [15] 国家质量监督检验检疫总局. 粮油检验 谷物及其制品中钙、钾、镁、钠、铁、磷、锌、铜、锰、硼、钡、钼、钴、铬、锂、锶、镍、硫、钒、硒、铷含量的测定 电感耦合等离子体发射光谱法: GB/T 35871-2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018: 1-7.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Inspection of grain and oils-Determination of calcium, potassium, magnesium, sodium, iron, phosphorus, zinc, copper, manganese, boron, barium, molybdenum, cobalt, chromium, lithium, strontium, nickel, sulfur, vanadium, selenium, rubidium contents in cereals and derived products-inductively coupled plasma optical emission spectrometric method: GB/T 35871-2018[S]. Beijing: Standards Press of China, 2018: 1-7.
- [16] 田晓红, 沈群, 吴娜娜, 等. 粒度对马铃薯泥面条品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(3): 25-30, 38.
- TIAN X H, SHEN Q, WU N N, et al. Effects of particle size on quality of potato noodle[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(3): 25-30, 38.
- [17] 国家质量监督检验检疫总局. 粮油检验 小麦粉损伤淀粉测定 安培计法: GB/T 31577-2015[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015: 1-10.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Inspection of grain and oils-Determination of damaged starch-Amperometric method: GB/T 31577-2015[S]. Beijing: Standards Press of China, 2015: 1-10.
- [18] 国家质量监督检验检疫总局. 大米及米粉糊化特性

- 测定快速粘度仪法: GB/T 24852-2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010: 1-5.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Determination of the pasting properties of rice—Rapid visco analyzer method: GB/T 24852-2010[S]. Beijing: Standards Press of China, 2010: 1-5.
- [19] 张群, 单杨. 不同浸泡条件下糙米吸水特性的研究[J]. 粮食与饲料工业, 2005(10): 1-2.
- ZHANG Q, SHAN Y. On water absorption characteristics of brown rice under different steeping conditions[J]. Cereal & Feed Industry, 2005(10): 1-2.
- [20] 李苏红, 王俊伟, 邵洋, 等. 浸泡及发芽条件对糙米吸水率·发芽率和 γ -氨基丁酸含量的影响[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(22): 13527-13529.
- LI S H, WANG J W, SHAO Y, et al. Effect of the soaking treatment and germination condition on the germination rate and the content of γ -aminobutyric acid of brown rice[J]. Journal of Anhui Agriculture Science, 2011, 39(22): 13527-13529.
- [21] 张群, 单杨, 吴越辉. 糙米在浸泡过程中其主要营养物质含量变化的研究[J]. 粮油加工与食品机械, 2006(1): 69-70, 78.
- ZHANG Q, SHAN Y, WU Y H. Study on the changes of main nutrients in brown rice during soaking[J]. Machinery for Cereals Oil and Food Processing, 2006(1): 69-70, 78.
- [22] 高琨, 谭斌, 汪丽萍, 等. 萌芽全谷物的研究现状、问题与机遇[J]. 粮油食品科技, 2021, 29(2): 71-80.
- GAO K, TAN B, WANG L P, et al. The research status, problems and opportunities of sprouted whole grain[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2021, 29(2): 71-80.
- [23] 李忍, 吴娜娜, 李志江, 等. 发芽全谷物的营养品质及功能特性[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(12): 183-190.
- LI R, WU N N, LI Z J, et al. Nutritional quality and functional characteristics of sprouted whole grains[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2020, 35(12): 183-190.
- [24] 程亚. 稻谷籽粒加工成糙米和精米后重金属含量的变化及其营养价值研究[J]. 粮食储藏, 2020, 49(6): 51-54.
- CHENG Y. Study on changes of heavy metal contents and their nutritional value in brown rice and milled rice[J]. Grain Storage, 2020, 49(6): 51-54.
- [25] ALBARRACÍN M, GONZÁLEZ R J, DRAGO S R. Effect of soaking process on nutrient bio-accessibility and phytic acid content of brown rice cultivar[J]. LWT—Food Science and Technology, 2013, 53(1): 76-80.
- [26] 田晓红, 刘艳香, 汪丽萍, 等. 麸皮粗细度对全麦粉挂面品质的影响[J]. 粮油食品科技, 2015, 23(5): 7-10.
- TIAN X H, LIU Y X, WANG L P, et al. Effect of particle size of bran on the quality of whole wheat flour dried noodle[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2015, 23(5): 7-10.
- [27] SHABIR A M, ANNAMALAI M, MANZOOR Z S. Whole grain processing, product development, and nutritional aspects [M]. London: Taylor & Francis Group, 2019: 254-310.
- [28] BOURRÉ L, FROHLICH P, YOUNG G, et al. Influence of particle size on flour and baking properties of yellow pea, navy bean, and red lentil flours [J]. Cereal Chemistry, 2019, 96(4): 655-667.
- [29] MONNET A F, EURIEULT A, BERLAND S, et al. Damaged starch in pea versus wheat flours: Fragmentation behavior and contribution of fine and coarse fractions[J]. Cereal Chemistry, 2019, 96(3): 465-477.
- [30] BOURRÉ L, FROHLICH P, YOUNG G, et al. Influence of particle size on flour and baking properties of yellow pea, navy bean, and red lentil flours [J]. Cereal Chemistry, 2019, 96(4): 655-667.
- [31] 樊德灵. 米发糕加工及品质改良技术研究[D]. 无锡: 江南大学, 2019.
- FAN D L. Study on processing and quality improvement of rice steamed sponge cake[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2019.
- [32] WU N N, QIAO C C, TIAN X H, et al. Retrogradation inhibition of rice starch with dietary fiber from extruded and unextruded rice bran [J]. Food Hydrocolloids, 2020, 113(3): 106488.
- [33] LUO D L, LI Y, XU B C, et al. Effects of inulin with different degree of polymerization on gelatinization and retrogradation of wheat starch [J]. Food Chemistry, 2017, 229(8): 35-43.

Effect of Soaking Process on Rice Quality in Powder Application

Tian Xiaohong^{1,2}, Wu Nana¹, Zhang Weiqing¹, Tan Bin^{1*}, Fang Yong², Lou Huifang³

(¹Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 100037

²Collaborative Innovation Center for Modern Grain Circulation and Safety of Jiangsu Province, Nanjing 210023

³Hunan Yuxiang Food Co., Ltd., Chenzhou 423000, Hunan)

Abstract In order to evaluate the effect of the soaking process on the applied qualities of rice power, the water absorption and protein and microelement and granularity and damage and microstructure etc of brown rice and rice were evaluated in different soaking time of 0.25, 0.5, 0.75, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 h. The results showed that the water absorption rate of white rice and brown rice increased rapidly within 1 h and 2 h respectively, and the water absorption rate of brown rice was significantly lower than that of white rice, and the water absorption rate was significantly lower than that of white rice within 2 h. After 2 h, the water absorption rate of brown rice increases slowly, and tends to be stable at 5 h. With the extension of soaking time, more honeycomb structures appeared on the surface of white rice, and the honeycomb became larger. The separation appeared between cell walls, and the structure between starch granules became loose, the contents of protein, manganese, zinc and potassium all showed a decreasing trend. The structure of brown rice did not change obviously with time. The granularity of white rice flour within 0.75 h and brown rice flour within 4 h decreases continuously. The starch loss content of white rice flour decreased with the increase of soaking time, but there was no significant change in brown rice flour. In short, because the outer layer of brown rice was wrapped by the peel, it took a long time for water to enter into the brown rice. The water absorption characteristic of brown rice was slower than white rice. With the extension of soaking time, the structure and nutrition of white rice changed significantly, but that of brown rice flour was not obvious.

Keywords soak; brown rice; rice; water absorption; microstructure; granularity; damage starch