DOI:10.13652/j.issn.1003-5788.2020.05.036

原料生粉的物理性状对鲜湿切粉品质的影响

Effects of physical properties of raw material flour on quality of fresh rice noodles

陶湘林[1] 吴跃辉[1] 魏颖娟[1] 汤振兴[2]

TAO Xiang-lin[1] *WU Yue-hui*[1] *WEI Ying-juan*[1] *TANG Zhen-xing*[2]

袁 洁[2] 谢 军[3] 唐汉军[1,2]

YUAN Jie[2] *XIE Jun*[3] *TANG Han-jun*[1,2]

(1. 湖南省农产品加工研究所,湖南 长沙 410125;2. 湖南大学隆平分院,湖南 长沙 410125;
3. 怀化职业技术学院,湖南 怀化 418000)

(1. *Hunan Agricultural Products Processing Institute*, *Changsha*, *Hunan* 410125, *China*;
2. *Longping Branch Graduate School*, *Hunan University*, *Changsha*, *Hunan* 410125, *China*;
3. *Huaihua Polytechnic College*, *Huaihua*, *Hunan* 418000, *China*)

摘要:以直链淀粉和蛋白质含量差异显著的 3 种籼稻精米为研究材料,通过调浆(料液质量比 1∶1.5)进入产能为 1 200 kg/h 现代机切湿米粉生产线加工成鲜湿切粉,运用扫描电镜、激光粒度仪、DSC 扫描量热仪和质构仪等分析了普通干法粉碎、气流超微粉碎和水磨法粉碎的原料生粉物理性状,以及与鲜湿切粉品质的关系。结果表明,不同方法制备的精米粉体粒径大小差异显著($P<0.05$),水磨粉表面光滑、呈多面体,颗粒小而均一、平均粒径 5.5~7.6 μm,微粉颗粒(≤15 μm)占比达 65.2%~79.1%,糊化焓值为 6.7~7.0 J/g,在现有的生产工艺条件下,原料生粉的直链淀粉含量,原料生粉在水浆中的粒径水平、粒径组成特性和分散均匀性是制约鲜湿切粉品质的关键因素;800 目以上粒径的颗粒组分比例越高,鲜湿切粉品质越好,硬度 10 g 左右、黏力 0.5~0.8 g、弹力 0.4~0.5 g 可作为鲜湿切粉品质指标的重要参考;原料生粉的糊化特性、蛋白质和脂肪含量等是影响鲜湿切粉品质的次要因素。

关键词:生粉粒径;糊化特性;鲜湿切粉;质构特性;感官品质

Abstract: Three varieties of indica rice with significant difference in amylose and protein content were selected as the research materials. The fresh rice noodles was processed by production line with a capacity of 1 200 kg/h after size mixing (material liquid ratio 1∶1.5). The physical properties of raw material flour were prepared by dry milling, airflow ultrafine pulverizing and water milling were analyzed by SEM, laser particle size analyzer, DSC and texture analyzer, the relationship between physical properties and quality of fresh rice noodles were discussed. Results: There was significant difference in the size of raw material flour prepared by different methods ($P<0.05$). The surface of the flour prepared by water milling was smooth and polyhedral, and the particle size was small and uniform, with the average particle size of 5.5 ~ 7.6 μm, the proportion of micro powder particles (≤15 μm) of 65.2%~79.1%, and the gelatinization enthalpy of 6.7~ 7.0 J/g. Under the existing production process conditions, amylose content, particle size, particle size composition characteristics and dispersal uniformity of raw material flour in water were the key factors restricting the quality of fresh rice noodles. Meantime, The higher the particle size content above 800 mesh, the better the quality of fresh rice noodles, with the hardness of about 10 g, viscosity of 0.5~0.8 g, elasticity of 0.4~0.5 g, which could be used as an important reference for the quality index of fresh rice noodles. While the gelatinization properties, protein and fat content of raw meal were the secondary factors.

Keywords: flour particle size; gelatinization properties; fresh rice

基金项目:农业部财政部长株潭耕地重金属污染修复及农作物种植结构调整试点项目(编号:农办财函[2016]6 号);湖南省农科院创新基金(编号:2018ZD04-1-2);湖南省重点领域研发计划项目(编号:2019NK2121)

作者简介:陶湘林,男,湖南省农产品加工研究所助理研究员,硕士。

通信作者:唐汉军(1964—),男,湖南省农产品加工研究所研究员,博士。E-mail:tanghanjun@yeah.net

收稿日期:2020-02-10

noodles; texture properties; sensory quality

米粉是南方的传统食品,可分为切粉和榨粉两大类,均有干、湿两种形态[1]。鲜湿切粉因新鲜柔软,口感爽滑,成为南方的早餐主食之一,榨粉特别是干制榨粉多为菜肴材料。孙庆杰等[2-3]研究表明,直链淀粉、胶稠度和糊化特性是评价米粉原料米适宜性的主要指标。贺萍等[4]研究指出,原料米的蛋白质和脂肪虽含量不高,但与鲜湿切粉的品质密切相关。窦红霞等[5]研究表明,米粉的适宜原料米的高脂肪含量有利于米粉的外观、口感和滋味品质,低蛋白质含量有利于外观和滋味品质。

目前已有原料成分、辅料及加工工艺等与榨粉品质关系的研究[6-8]。陈洁等[9]研究指出原料生粉粒度为120目时,榨粉综合品质最好。但原料生粉在水浆状态的真实粒径和粒径组成等物理特性与米粉品质的关系尚未见报道。因此,试验拟以不同品种的精米为原料,采用干法和传统水磨法制备籼稻原料生粉,分析水浆状态的粒径、粒径组成和糊化特性,并利用产能1 200 kg/h的现代湿米粉生产线将粉体材料生产成湿米粉,分析其对鲜湿切粉的质构特性和感官品质的影响,以期为鲜湿切粉生产过程中原料的加工适应性以及粒度的选择提供依据。

1　材料与方法

1.1　材料与仪器

1.1.1　材料

湘晚籼13号(育种单位:湖南省水稻研究所,种植地:宁乡)、中早35号(育种单位:中国水稻研究所,种植地:攸县)、湘早籼30号(育种单位:湖南省娄底地区农业科学研究所,种植地:娄底):3个样品采收于2017年,加工前贮藏于4 ℃低温室,试验编号分别为WX、ZZ、ZX。每个品种随机采取稻谷100 kg,经除杂、脱壳、精米(精度约12%),精米40 ℃烘干48 h备用。精米的主要营养品质特性见表1。

表1　精米的主要营养品质特性

Table 1　Main nutritional quality characteristics of polished rice　%

样品	粗蛋白	粗脂肪	灰分	表观直链淀粉
湘晚籼13号(WX)	5.6	1.1	0.3	15.0
中早35号(ZZ)	7.5	0.9	0.3	33.8
湘早籼30号(ZX)	8.3	1.0	0.5	34.6
测定方法	凯氏定氮[10]	索氏提取[10]	电热灰化[10]	碘蓝值[11]

1.1.2　主要试剂

浓硫酸、乙醚、氢氧化钠、碘、碘化钾:分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.1.3　主要仪器设备

砻谷机:FC2K型,日本大竹制作所;

精米机:RICEPAL32型,日本山本制作所;

中碎机:WF-800型,江阴市鑫陆化工制药设备有限公司;

流化床气流粉碎机:QYF400型,昆山市密友粉体设备工程有限公司;

多用磨浆机:DM-LZ350型,柳州市顺林机械有限公司;

扫描型电子显微镜:A02100301型,德国蔡司公司;

激光粒度分析仪:LS-POP67型,珠海欧美克仪器有限公司;

扫描量热仪:NETZSCH 200F3型,德国耐驰仪器制造有限公司;

质构仪:CT3-4500型,美国Brookfield公司。

1.2　试验方法

1.2.1　原料生粉的制备　采用中碎机直接粉碎精白米,过100目筛,混匀作为干法普通粉试验样品,分别编号为WX1、ZZ1、ZX1;针对干法普通粉,采用流化床气流粉碎机进一步粉碎1次,作为干法细粉试验样品,分别编号为WX2、ZZ2、ZX2;精白米20 kg,浸泡5 h,淘洗2次,采用多用磨浆机粉碎1次,经40 ℃干燥箱烘干,粉碎后过100目筛作为水磨粉试验样品,分别编号为WX3、ZZ3、ZX3。

1.2.2　原料生粉的SEM观察　粉体样品均匀吹附于样品台的导电胶上,在10 mA的电流下喷金120 s,采用扫描电子显微镜进行观察。

1.2.3　原料生粉的粒度分布测定　根据Tang等[12]的方法修改如下:将制备的原料生粉各称取0.2 g置于小烧杯中,加水30 mL,用磁力搅拌器在300 r/min下分散30 s,通过激光粒度仪测定粒度分布。

1.2.4　精米粉体的糊化特性测定(DSC)　根据Tang等[13]的方法修改如下:准确称取5.0 mg原料生粉样品放入坩埚中,加入10 μL蒸馏水,密封坩埚盖,静置平衡2 h后测量。DSC测量条件为氮气流量150 mL/min、压力0.1 MPa、从25 ℃升温至85 ℃,升温速度10 ℃/min。糊化焓值经样品水分含量修正后作为结果。

1.2.5　鲜湿切粉样品的加工　按料液质量比1∶1.5(纯净水)将上述原料粉分别调浆,采用企业生产用产能为

1 200 kg/h的鲜湿切粉生产线加工成切粉样品。

1.2.6　鲜湿切粉样品的质构分析　采用质构仪分析。硬度、弹力的测定条件为探头 TA15/1 000，压缩速度 0.5 m/s，压缩距离 1 mm，触发负载 1 g；黏力的测定条件为探头 TA7，测试速度 0.5 m/s，测试距离 10 mm，触发负载 1 g。

1.2.7　鲜湿切粉样品的感官评价　参评人数 50 名，男女各半，20～60 岁。每种样品沸水中漂烫 2 min，分为 2 组盲样，顺序和倒序排列，针对色泽、外观（光滑度、柔软性、粘连、断条）、气味（香气、异味）、口感和异物（斑点）5 个指标，采用 5 级（好 2，较好 1，一般 0，较差－1，差－2）计分方法进行评定，各指标分别统计加权平均分作为该指标的感官评价结果。

1.2.8　数据处理与统计分析　所有试验数据均采用 Excel 2007 和 SPSS 7.0 软件进行统计处理。

2　结果与分析

2.1　原料生粉的 SEM 观察

由图 1 可知，3 个品种间没有观察到明显差异，但不同方法粉碎的原料生粉的颗粒形态与大小均有显著差异（$P<0.05$）。干法普通粉中较大的颗粒比干法细粉的大且多，可观察到因粉碎时挤压与升温造成的部分融化而粘黏在一起的大块状颗粒，所有品种的水磨粉颗粒都比较均匀，且已接近稻米淀粉颗粒的形态和大小[14]。这些融化粘黏的大块状颗粒在气流粉碎过程中依然存在，说明气流粉碎效果不显著，湿法测量粒径分布时不能分散，分布极不均匀。

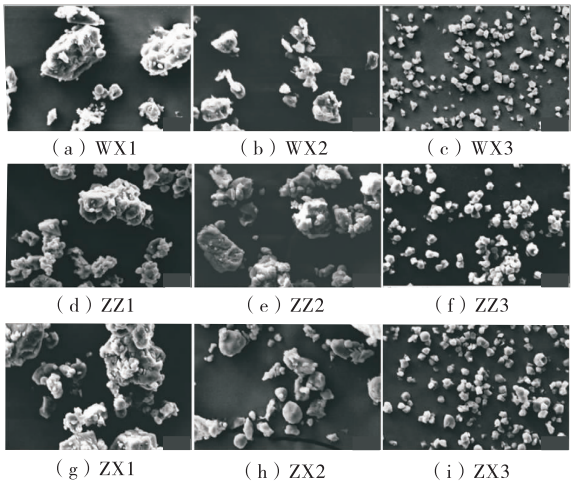
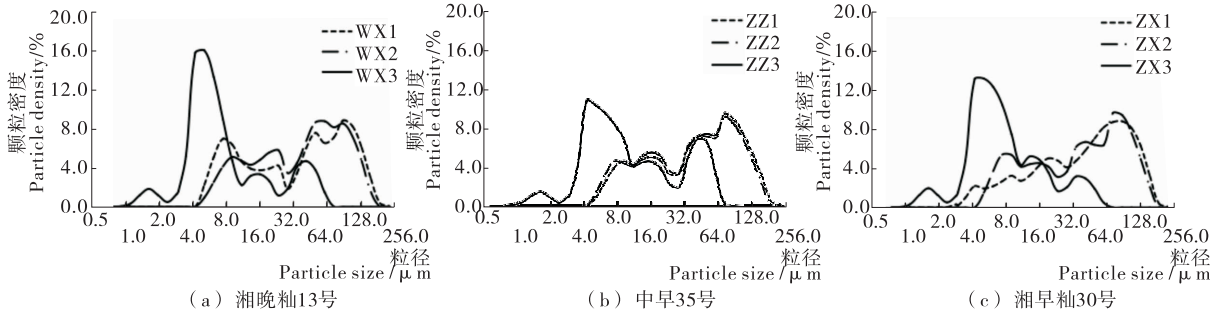


图 1　原料生粉的扫描电镜观察

Figure 1　SEM observation of raw material flour (1 000×)

2.2　原料生粉的粒度分布特性

由图 2 可知，原料生粉的粒径均呈 4 峰分布；水磨粉的主峰位置均在 6 μm 左右，32 μm 后只有 1 个较小的峰，而干法粉的主峰均在 32 μm 后的位置；干法细粉与干法普通粉相比，前两个峰面积有增加，但增加不明显，两者的图谱几乎相同。



（a）湘晚籼13号　（b）中早35号　（c）湘早籼30号

图 2　原料生粉的粒度分布特性

Figure 2　Particle size distribution of raw material flour

为更通俗地考察原料生粉的粒径组成特性，按筛目尺寸划分为 3 个组成部分，即 15 μm 以下（800 目以上）为细粉，15～37 μm 为中粉，37 μm 以上（400 目以下）为粗粉，各组分体积占比和整体平均粒径结果如表 2 所示。由表 2 可知，干法普通粉平均粒径为 39.53～43.16 μm，干法细粉平均粒径为 35.16～38.04 μm，水磨粉平均粒径为 5.47～7.58 μm，干法与水磨法的平均粒径差异显著。干法的 37 μm 以上粗粒的体积占比均超过 50%，水磨法的为 5.4%～17.1%；干法的 15～37 μm 中粒的体积占比为 17.1%～23.7%，水磨法的为 13.1%～17.6%，略低于干法；干法的 15 μm 以下微粉的体积占比为 20.0%～32.3%，水磨法的为 65.2%～79.1%，显著高于干法的。水磨粉在水中容易分散，颗粒比较均匀，15 μm 以下微粒的体积比达 65%以上，平均粒径接近稻米淀粉颗粒的大小[14]。综上，超微气流粉碎法对普通粉的进一步粉碎效果不显著，水磨法的粉碎效果显著优于普通干法的粉碎效果，粉体颗粒较均匀，是由于稻米品种遗传特性决定了胚乳组织结构、单颗粒淀粉的大小和结构。

2.3　原料生粉的糊化特性

由表 3 可知，3 个品种的糊化开始温度均是干法粉的

表 2　原料生粉水中分散后的粒径组成特性†

Table 2　Particle size composition characteristics of raw material flour dispersed in water

样品编号	微粉(≤15 μm)/%	中粉(15～37 μm)/%	粗粉(≥37 μm)/%	平均粒径/μm
WX1	29.3±0.1^{e}	17.1±0.2^{e}	53.6±0.3^{b}	39.5±0.1^{c}
WX2	32.3±0.2^{d}	17.3±0.3^{e}	50.4±0.2^{c}	35.2±0.1^{e}
WX3	77.0±0.3^{b}	13.1±0.1^{g}	9.9±0.1^{e}	5.5±0.2^{h}
ZZ1	21.1±0.2^{h}	22.6±0.2^{b}	56.3±0.4^{a}	40.9±0.2^{b}
ZZ2	22.9±0.2^{g}	23.7±0.1^{a}	53.4±0.2^{b}	38.0±0.1^{d}
ZZ3	65.2±0.3^{c}	17.6±0.1^{d}	17.1±0.2^{d}	7.6±0.1^{f}
ZX1	20.0±0.2^{h}	23.1±0.2^{a}	56.9±0.2^{a}	43.2±0.2^{a}
ZX2	24.7±0.2^{f}	21.8±0.2^{c}	53.5±0.2^{b}	38.0±0.2^{d}
ZX3	79.1±0.3^{a}	15.5±0.1^{f}	5.4±0.1^{f}	6.1±0.1^{g}

†　同列字母不同表示差异显著(P<0.05)。

表 3　原料生粉的糊化特性†

Table 3　Gelatinization characteristics of raw material flour

样品编号	起始温度/℃	峰顶温度/℃	结束温度/℃	峰温范围 /℃	糊化焓/(J·g^{-1})
WX1	66.9±0.1^{e}	70.8±0.0^{e}	74.2±0.1^{e}	7.3±0.0^{cde}	2.8±0.2^{d}
WX2	67.5±0.4^{d}	71.2±0.1^{e}	74.8±0.0^{d}	7.3±0.4^{cd}	2.8±0.1^{d}
WX3	66.3±0.1^{f}	73.3±0.0^{f}	75.3±0.2^{c}	9.0±0.1^{a}	6.7±0.3^{a}
ZZ1	76.8±0.1^{a}	79.9±0.3^{a}	83.3±0.1^{a}	6.5±0.3^{f}	4.7±0.4^{c}
ZZ2	76.6±0.1^{a}	79.5±0.2^{a}	83.3±0.1^{a}	6.7±0.1^{ef}	5.0±0.1^{c}
ZZ3	74.6±0.1^{b}	77.5±0.2^{cd}	81.5±0.2^{b}	6.9±0.1^{def}	7.0±0.2^{a}
ZX1	74.7±0.1^{b}	78.2±0.1^{b}	82.0±0.3^{a}	7.3±0.4^{d}	5.9±0.2^{b}
ZX2	74.7±0.1^{b}	77.9±0.1^{bc}	82.1±0.2^{b}	7.4±0.3^{cd}	5.9±0.2^{b}
ZX3	74.0±0.1^{c}	77.3±0.2^{d}	81.8±0.2^{b}	7.8±0.1^{bc}	6.9±0.1^{a}

†　同列字母不同表示差异显著(P<0.05)。

高于水磨粉的,干法粉的峰温范围较水磨粉的小。粉体粒径小,糊化开始较快,而糊化过程较长,呈较缓的吸热峰。这与 Tang 等[12-13]的结论一致。早籼品种的糊化温度高于晚籼品种,甚至干法粉碎对早籼品种的糊化温度有提高的趋势。所有品种的糊化焓均是干法粉的低于水磨粉的,干法粉品种间的糊化焓值差异较大,而水磨粉品种间相似。同一品种的干法普通粉与干法细粉间差异不明显,可能是干法粉碎过程产生热量使物料升温较高,不同程度地破坏了粉体颗粒的内部组织结构,特别是淀粉的结晶结构[15],从而导致糊化所需的能量减少。

2.4　鲜湿切粉的质构特性

因普通粉的整体粒度太粗,在浆液中固液分布不均匀,浆液糊化后形成的组织结构不均、强度差,断裂严重,不能加工成产品。切粉不同于榨粉[16-18],未经挤压成型处理,其品质更依赖于原料生粉的粒径分布和组成特性。由表 4 可知,所有品种的干法细粉切粉的硬度和黏力均高于水磨粉的切粉,而弹力小于水磨粉的切粉。晚籼米干法细粉与水磨粉的切粉各项指标值差异较小,而早籼米的切粉硬度和弹力指标值差异显著(P<0.05),干法细粉与水磨粉的切粉间差异也显著(P<0.05)。

2.5　鲜湿切粉的感官评价

由图3可知,所有鲜湿切粉样品在米粉独有香气上

表 4　鲜湿切粉的质构特性†

Table 4　Texture characteristics of fresh rice noodles (n=6)

样品编号	硬度/g	黏力/g	弹力/g
WX2	3.0±0.7^{d}	3.5±0.7^{a}	0.32±0.01^{b}
WX3	2.0±0.3^{d}	3.0±0.1^{b}	0.35±0.02^{b}
ZZ2	16.8±2.2^{a}	1.0±0.0^{c}	0.14±0.00^{d}
ZZ3	7.0±1.8^{c}	0.8±0.3^{c}	0.51±0.02^{a}
ZX2	18.1±0.9^{a}	0.8±0.3^{c}	0.27±0.01^{c}
ZX3	12.5±1.7^{b}	0.5±0.0^{d}	0.39±0.18^{b}

†　同列字母不同表示差异显著(P<0.05)。

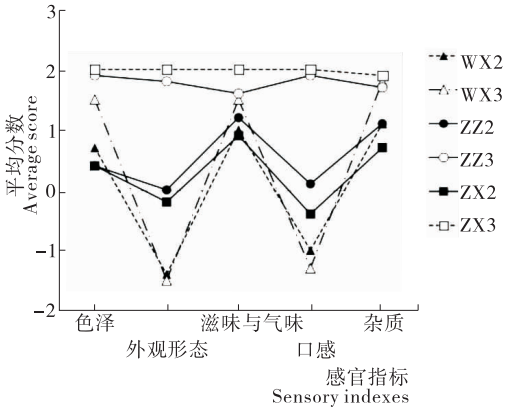


图 3　湿米粉的感官评价

Figure 3　Sensory evaluation of fresh rice noodles

得分比较集中，与蛋白质含量的高低趋势一致，所有品种水磨粉的切粉在色泽、气味和异物等指标上的得分较接近，但在最重要的外观和口感指标上，晚籼品种和干法细粉的切粉得分为负分或 0 分，2 个早籼品种的水磨粉切粉在所有指标上得分均接近 2 分，其中 ZX3 切粉的得分最高。结合质构特性分析结果可知，试验工艺条件下，硬度 10 g 左右、黏力 0.5～0.8 g、弹力 0.4～0.5 g 可作为鲜湿切粉品质指标的重要参考，直链淀粉含量＜20%的晚籼品种不适合加工成鲜湿切粉，与文献[2－5]的结论一致。但对于适合加工成鲜湿切粉的早籼品种而言，原料生粉的粒度和均匀度是影响鲜湿切粉品质的关键因素，糊化特性、蛋白质、脂肪等其他因素对鲜湿切粉品质的影响是次要因素。这可能是因为蒸熟加工时的温度远高于原料生粉糊化所需的温度，原料生粉不存在不能够完全糊化的情况，而蛋白质、脂肪在生粉中并非主要成分，对鲜湿切粉的组织结构影响有限。

3　结论

试验选择了直链淀粉和蛋白质含量差异显著的 3 个籼稻精米为研究材料，探讨了干法和湿法的原料生粉物理性状对鲜湿切粉的品质影响。明确了除稻米的直链淀粉含量因素外，稻米原料生粉在水中的粒径水平、粒径组成特性和分散均匀性是制约鲜湿切粉品质的关键因素；800 目以上粒径的颗粒组成比例越高，鲜湿切粉的品质越好；原料生粉的糊化特性、蛋白质和脂肪等因素在现有的生产工艺条件下并不重要。通过测算，干法粉碎的能耗水平远高于水磨法，若为了减小粒径，进一步进行粉碎，能耗成本将再度大幅增高。水磨法的粉碎效果能达到传统米制品加工要求，为食品领域最常用的粉碎法，但存在原料营养成分流失、废水量大、污染环境、受限于淀粉颗粒尺寸等问题，限制了水磨粉的生产规模及米制品的产品开发。为进一步提高产品质量，丰富产品种类，开发高效节能环保的原料生粉制备技术很有必要。

参考文献

[1] 成明华. 米粉品质评价体系和生产工艺的研究[D]. 北京：中国农业大学，2000：1-7.

[2] 孙庆杰，丁文平，丁霄霖，等. 米粉(米线)原料标准的研究[J]. 中国粮油学报，2004，19(1)：12-15.

[3] 吴卫国，张喻，肖海秋，等. 原料大米特性与米粉产品品质关系的研究[J]. 粮食与饲料工业，2005(9)：21-24.

[4] 贺萍，陈竞适，张喻，等. 大米蛋白质和脂肪含量对鲜湿米粉品质的影响[J]. 湖南农业科学，2017(1)：73-76，80.

[5] 窦红霞，杨特武，赵思明，等. 不同品种籼米化学成分、凝胶和糊化特性及米粉加工品质比较[J]. 中国粮油学报，2014，29(3)：1-6.

[6] SHABIR A M，SOWRIAPPAN J D B. Cultivar difference in physicochemical properties of starches an flours from temperate rice of Indian Himalayas[J]. Food Chemistry，2014，157(4)：448-456.

[7] 易翠平，刘旸，樊振南，等. 籼米陈化对鲜湿米粉品质的影响[J]. 中国粮油学报，2018，33(6)：1-5.

[8] 王立峰，张磊，姚轶俊，等. 碾磨程度对大米特征组分和米粉品质特性的影响[J]. 食品与机械，2019，35(5)：195-201.

[9] 陈洁，蔡永艳，吕莹果，等. 原料粒度对米粉品质的影响[J]. 粮食与饲料工业，2011(2)：27-29，32.

[10] AOAC. Official methods of analysis[S]. 15th ed. VA：AOAC International，1990.

[11] TANG Han-jun，ANDO H，WATANABE K，et al. Fine structures of amylose and amylopectin from large medium and small waxy barleystarch granules [J]. Cereal Chemistry，2001，78：111-115.

[12] TANG Han-jun，ANDO H，WATANABE K，et al. Some physicochemical properties of small-，medium- and large granule starches in fractions of waxy barley grain[J]. Cereal Chemistry，2000，77：27-31.

[13] TANG Han-jun，WATANABE K，MITSUNAGA T. Structrue and functional of large，medium and small granule starches in normal and waxy barely endosperms[J]. Carbohydrate Polymers，2002，49：217-224.

[14] 王绍清，王琳琳，范文浩，等. 扫描电镜法分析常见可食用淀粉颗粒的超微形貌[J]. 食品科学，2011，32(15)：74-79.

[15] PHATTHRANIT K，TOMOAKI H，TAKAHARU S，et al. Chitosan effects on physical properties，texture，and microstructure of flat rice noodles[J]. LWT-Food Science and Technology，2017，76(1)：117-123.

[16] 郭利利，周显青，熊宁，等. 压榨型鲜湿米粉条制作方法的研究[J]. 中国粮油学报，2017，32(5)：110-116.

[17] 曹世阳，林莹，尹秀华，等. 制粉关键工序对鲜湿米粉食用品质的影响研究[J]. 食品科技，2017，42(11)：174-181.

[18] 王永强，姚卫蓉，綦超，等. 基于鲜湿米粉品质综合评价的原料配比优化研究[J]. 食品工业科技，2014，35(13)：90-94.