

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2020.04.017

乳酸湿热处理改善大米粉性质及粉条品质的研究

刘惠惠, 廖卢艳

(湖南农业大学食品科技学院, 湖南 长沙 410128)

摘要: 主要研究乳酸湿热处理对大米粉性质及其干粉条和湿粉条品质的影响。以水磨籼米粉为原料, 通过不同浓度乳酸、湿热以及乳酸与湿热联用的方法对米粉进行处理, 研究不同条件下制备的大米粉的糊化特性、溶解度、膨胀率以及干粉条和湿粉条的蒸煮品质和质构品质。实验结果表明: 乳酸湿热处理对大米粉糊化特性影响显著, 大米粉通过湿热处理、乳酸处理、乳酸湿热联用处理后, 大米粉的峰值黏度、谷值黏度、衰减值、最终黏度、回生值都有所降低。在乳酸处理 (pH=4) 时, 峰值黏度最高。乳酸湿热处理对大米粉的溶解度和膨胀度都有一定的影响, 与原样相比, 被处理过的样品其溶解度、膨胀度都逐渐降低。在粉条蒸煮品质测定中, 乳酸处理 (pH=4) 后, 干粉条和湿粉条的断条率、蒸煮损失率都达到最低。在粉条质构品质测定中, 经过湿热处理、乳酸处理和乳酸湿热联用处理三种方法处理以后, 湿粉条的硬度、咀嚼性均有所下降, 在乳酸处理 (pH=4) 时, 湿粉条的弹性达到最大; 在湿热处理、乳酸处理和乳酸湿热联用处理中, 干粉条的黏度有所下降, 在乳酸 (pH=4) 时, 干粉条的弹性达到最大。最终结果: 在乳酸处理 (pH=4) 时, 对改善大米粉性质及粉条品质的效果是最优的。

关键词: 大米粉; 乳酸湿热处理; 糊化特性; 粉条品质; 膨胀率; 质构特性

中图分类号: TS213.3 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2020)04-0105-08

Study on improving the properties of rice flour and rice vermicelli quality by heat treatment with lactic acid solutions

LIU Hui-hui, LIAO Lu-yan

(Food Science and Technology College, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China)

Abstract: The paper mainly studies the effect of heat treatment with lactic acid on properties of rice flour and quality of dried rice vermicelli and wet rice vermicelli. Indica rice flour by water milling was selected as raw material and treated with different concentration of lactic acid, damp heat or the combination of lactic acid and damp heat. The gelatinization characteristics, solubility, expansion rate, cooking quality and texture of dry and wet rice noodles under different conditions were studied. The experimental results showed that the heat treatment with lactic acid had a significant effect on the gelatinization properties of rice flour. After heat moisture treatment, lactic acid treatment, and heat treatment with lactic acid, the peak viscosity, trough viscosity, attenuation value, final viscosity, and retrogradation value of rice flour were all reduced. The peak viscosity was highest in the lactic acid treatment (pH=4). Heat treatment with lactic acid had a certain

收稿日期: 2020-02-04

基金项目: 湖南省自然科学基金 (2019JJ50262); 湖南省教育厅科学研究优秀青年项目 (18B125); 湖南农业大学东方科技学院大学生研究性学习和创新性实验计划项目 (DFCXS201807)

作者简介: 刘惠惠, 女, 1997 年出生, 在读硕士生, 研究方向为粮油加工。

通讯作者: 廖卢艳, 女, 1982 年出生, 博士, 高级实验师, 研究方向为粮食深加工及碳水化合物资源开发利用。

influence on the solubility and swelling capacity of rice flour. Compared with the original sample, both the solubility and swelling degree of treated samples were gradually decreased. In the determination of rice vermicelli cooking quality, after the lactic acid treatment (pH = 4), the broken rate, cooking loss rate of the dried rice vermicelli and wet rice vermicelli all reached the lowest. In the determination of texture quality of rice vermicelli, after heat moisture treatment, lactic acid treatment and heat treatment with lactic acid, the wet rice vermicelli have decreased hardness and chewiness. When the lactic acid treatment (pH=4), the elasticity of the wet rice vermicelli reaches the maximum. In heat moisture treatment, lactic acid treatment and heat treatment with lactic acid, the viscosity of dried rice vermicelli has decreased, in the lactic acid (pH = 4), the maximum elasticity of dried rice vermicelli. The final result: In the case of lactic acid treatment (pH = 4), the effect on improving the properties of rice flour and the quality of rice vermicelli was optimal.

Key words: rice flour; heat treatment with lactic acid; gelatinization property; rice vermicelli quality; expansion rate; textural property

以大米作为原材料制作的食品种类颇多，而米粉则是其中最具有价值的产品之一。大米粉一般的解释是用大米为原料经过研磨以后得到的粉末状物质。而在南方用非糯性大米做的粉条特别常见，主要是通过磨粉、蒸煮、成型、冷却等工艺加工制成，通常是扁条形或圆条形；在北方有种大米面条与之相似。本论文的研究对象指的是以南方地区为主的米粉。

丁文平^[1]等研究发现米粉经自然发酵以后，其中淀粉和直链淀粉含量并没有太大变化，这说明自然发酵中产生的微生物并不能使淀粉发生明显地降解。而张玉荣^[2]等发现米粉经过乳酸发酵处理以后，其中直链淀粉的含量增加，且乳酸发酵处理方法对直链淀粉的影响要大于自然发酵处理方法。同时也有研究发现，发酵后米粉的断条率有所降低、胶稠度减少了 0.4 mm^[3]，成胶性能增强。

据报道，米粉发酵主要是指厌氧菌发酵，乳酸菌作为米粉发酵过程中的优势菌群，使得米粉的口感有了更好的改善，主要体现在米粉弹性和咀嚼性的增加^[4]。而乳酸菌发酵改善米粉口感的原因主要是在发酵过程中产生的乳酸可以将米粉中蛋白质溶出，又由于乳酸菌的生长本身也需要一定的氮源，从而消耗了米粉的部分蛋白质，因此使得口感得到一定改善；另一方面的原因则是因为乳酸菌发酵会使米粉淀粉的结构比例发生一定变化，使得淀粉中的支链淀粉降解、聚合度降低^[5]。

国内外研究发现，湿热处理会使淀粉的膨胀度、溶解度和黏度降低，增加直链淀粉的含量^[6]。CHAM^[7]、KORRAKOT^[8]和 COLLADO^[9]等研究表明，湿热处理能够有效改善米粉、米线和马铃薯面条的蒸煮品质以及质构特性；韩中杰等^[10]研究表明利用酸-湿热处理后的豌豆淀粉制备粉丝，蒸煮、不容易糊汤，质构柔软光滑。随着粉条行业的不断发展，近年来也有许多研究人员研究通过湿热处理改变淀粉结构和性质来改善粉条的品质^[11-12]。然而，湿热处理的改善效果因原料来源、淀粉的直支比以及湿热处理条件的不同而不同。湿热处理用于改善粉条品质的作用机理仍未完全明确，湿热处理在粉条品质改善上的应用还有大量的研究可以开展。

目前单一乳酸处理、单一湿热处理和乳酸湿热联用处理对米粉性质以及粉条品质影响的对比研究报道还非常少见，为此，本实验以生产米粉的早籼米作为实验原料，将乳酸发酵与湿热结合起来对大米粉进行处理，对比单一乳酸发酵处理方法和单一湿热处理方法改善大米粉性质的效果以及对米粉品质的影响，同时探究乳酸湿热联用处理米粉方法的可行性，为乳酸发酵和湿热处理用于改善米粉粉条的品质提供理论依据和基础，也为大米资源的进一步开发利用提供一定的科学理论依据，从而提升大米的产业价值。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

水磨籼米粉：泰国初心米粉厂有限公司；食

品级乳酸：国药集团化学试剂有限公司；蒸馏水、大培养皿、烧杯、pH 计、离心管、铝盒、塑料薄膜、100 目筛、烤盘、电磁炉、蒸锅：均由湖南农业大学提供。

1.2 主要仪器设备

CP214 电子天平：奥豪斯仪器（上海）有限公司；101-2AB 电热鼓风干燥箱：天津市泰斯特仪器有限公司；多功能高速粉碎机、ZHWHY-C2102 恒温培养振荡器：上海智城分析仪器制造有限公司；RVA-Techmaster 快速黏度分析仪：北京波通瑞华科学仪器有限公司；DL-1 电子可调电炉：北京中兴伟业仪器有限公司；TDZ5 台式低速离心机：湖南赫西仪器装备有限公司；TA-XT2i 质构分析仪，英国 Stable micro systems 公司。

1.3 实验方法

1.3.1 大米粉水分含量测定

根据 GB5009.3—2016 直接干燥法。

1.3.2 湿热处理大米粉的制备

参照廖卢艳^[12]的方法并进行改进，取 50 g 已知水分含量的大米粉置于大培养皿中，经过计算加入一定量的水使其与米粉融合，调节水分含量为 30%，将培养皿用塑料薄膜密封，在正常室温下平衡水分至 12 h。再把静置 12 h 的大米粉放入 105 °C 的干燥烘箱中，使其反应 2 h。冷却后取出再在 40 °C 下完全干燥，最后将样品用高速粉碎机粉碎后过 100 目筛，备用。

1.3.3 乳酸处理大米粉的制备

参照傅亚平^[13]等方法并进行改进，将 50 g 大米粉置于三角瓶中，取一定的乳酸加入水，将其调成 pH 为 3、4 的乳酸溶液，后将乳酸溶液按照大米粉：乳酸溶液=1：2 的比例倒入三角瓶中，用玻璃棒轻轻搅拌均匀，塑料薄膜密封好，放置于恒温培养振荡器中震荡 12 h。后用离心机离心，弃去上清液，加入小苏打调至 pH 为 7，再重复水洗三次。将水洗过后的米粉倒入大培养皿中，放入 40 °C 烘箱至米粉完全干燥。取出置于室温下，最后将样品用高速粉碎机粉碎后过 100 目筛，备用。

1.3.4 乳酸湿热处理大米粉的制备

参照傅亚平^[13]等方法并进行改进，将已知水分含量的大米粉放在大培养皿中，经过计算加入

一定量的乳酸浓度分别为 pH 为 3 和 4 的酸水使其与大米粉融合，调节水分含量为 30%，将培养皿用塑料薄膜密封，在正常室温下平衡水分至 12 h。再把静置 12 h 的大米粉放入 105 °C 的干燥烘箱中，使其反应 2 h。冷却后取出再在 40 °C 条件下完全干燥，最后将样品用高速粉碎机粉碎后过 100 目筛，备用。

1.3.5 大米粉糊化特征曲线的测定

将已知水分含量的大米粉样品和 25 mL 蒸馏水放入 RVA 糊化仪专用的铝筒，用 RVA 糊化仪进行测试。以 960 r/min 搅拌 20 s，然后以 160 r/min 运转至实验结束。采用升温/降温程序：RVA 的初始温度设为 50 °C (0~1 min 20 s)，从 50 °C 开始到 95 °C (1 min 20 s~4 min 55 s)，保持 95 °C (4 min 55 s~7 min 25 s)，再从 95 °C 降到 50 °C (7 min 25 s~11 min)，保持 50 °C (11~13 min)，总共用时 13 min。然后由配套软件 TCW 获得大米粉在糊化过程中发生的黏度变化曲线以及 6 个特征点^[12]。

1.3.6 大米粉溶解度与膨胀度的测定

分别取原样大米粉、湿热处理大米粉、乳酸处理大米粉、乳酸湿热处理大米粉 0.5 g 置于离心管，加入 35 mL 蒸馏水，摇匀后分别于 50、60、70、80 °C 温度下水浴加热 45 min，每 5 min 振荡一次，取出冷却至室温，于 4 000 r/min 离心 15 min。将离心管中上清液倒出，于 130 °C 下干燥至恒重，得被溶解淀粉质量，计算溶解度。由离心管中膨胀淀粉的质量计算其膨胀度^[14]。

$$\text{溶解度}(SA)=A/W*100\%$$

$$\text{膨胀度}(SP)=P/[W(1-SA/100)]$$

式中：A 为上清液中溶出物质量，g；W 为样品干质量，g；P 为离心管中沉淀物质量，g。

1.3.7 粉条的制备

参照廖卢艳^[15]的方法并进行改进，称取 20 g 大米粉于烧杯中，加入一定量的水（大米粉：水=1：2），搅拌均匀后，将样品倒入直径为 20 cm 的烤盘中，摊平后静置半分钟，使其均匀地布满烤盘底面，之后在放入蒸汽蒸锅中蒸 45~60 s，再立马放在冷水上冷却 1 min 并取出。在室温中沥去表面水分，揭去大米粉饼，用透明保鲜膜将其包

住,用小刀切成宽度为 1 cm 的条状,放在冰箱中冷藏 4 h 后立即取出,即为湿粉条。再将每个样品中的一部分放入 40 °C 恒温鼓风干燥箱中干燥制成干粉条待用,即为干粉条,后装入保鲜袋密封避光保藏。

1.3.8 粉条蒸煮品质的测定

参照廖卢艳^[12]的方法加以改进:

1.3.8.1 断条率 干粉条:取 10 根 10 cm 的干粉条放入 500 mL 的沸水中煮 30 min,用筷子将粉条轻轻挑起,计算熟粉条断条率。

$$\text{断条率} = \frac{N}{10} \times 100\%$$

式中: N , 断粉条根数。

湿粉条:取 10 根 10 cm 的湿粉条放入 500 mL 的沸水中煮 3 min,用筷子将粉条轻轻挑起,计算熟粉条断条率。

$$\text{断条率} = \frac{N}{10} \times 100\%$$

式中: N , 断粉条根数。

1.3.8.2 蒸煮损失率 干粉条:取 3 g 左右 (W_0) 的干粉条,先在 105 °C 烘箱中干燥 2 h,后置于干燥器冷却 0.5 h,称重 W_1 ,再次倒入 100 mL 烧杯中,煮 15 min 后捞出。迅速将其放入冰水中冷却,取出后用滤纸把粉条表面水吸干,把粉条称重 W_2 ,再在 105 °C 烘箱中干燥 4 h,称重 W_3 。

$$\text{溶胀比} = \frac{W_2 \times 100}{W_3}$$

$$\text{蒸煮损失} = \frac{(W_1 - W_3) \times 100}{W_1}$$

$$\text{干物质含量} = \frac{W_1 \times 100}{W_0}$$

式中: W_0 , 干粉条原始的重量, g; W_1 , 干粉条煮前干燥后的重量, g; W_2 , 干粉条煮后溶胀的重量, g; W_3 , 干粉条煮后干燥的重量, g。

鲜湿粉条:称取 3 g 左右 (V_0) 的鲜湿粉条,在 105 °C 烘箱中 2 h,后在干燥器内冷却 0.5 h,称重 V_1 ,倒入 100 mL 烧杯中,煮 15 min 后捞出。迅速放入冰水中冷却,取出后用滤纸把粉条表面水吸干,把粉条称重 V_2 ,再在 105 °C 烘箱干燥 4 h,称重 V_3 。

$$\text{溶胀比} = \frac{V_2 \times 100}{V_3}$$

$$\text{蒸煮损失} = \frac{(V_1 - V_3) \times 100}{V_1}$$

$$\text{干物质含量} = \frac{V_1 \times 100}{V_0}$$

式中: V_0 , 鲜湿粉条原始的重量, g; V_1 , 鲜湿粉条煮前干燥的重量, g; V_2 , 鲜湿粉条煮后溶胀的重量, g; V_3 , 鲜湿粉条煮后干燥的重量, g。

1.3.9 粉条质构品质的测定

测试前,将大米粉鲜湿粉条、干粉条各切成长 3 cm 宽 1 cm,分别把各类两片重叠合并在一起,取 3 根大米粉鲜湿粉条与干粉条摆成三角形放在载物台上。后在质构仪上测定质构特性。用质构仪 TPA (texture profile analysis) 程序测定大米粉质构特性的特征值。测定条件包括有: P36R 型的探头; 0.1962 N 的感应力; 50% 的压缩形变; 测试前的速度设置为 2.00 mm/s; 测试时的速度为 1.00 mm/s; 测试后的速度为 1.00 mm/s^[15]。

1.4 数据处理

每个样品平行测 6 次,对所有所测的平行数据取平均值。数据作表和分析使用的是 Excel 2018 软件,数据结果用平均值和标准差的值来表示。采用 SPSS20.0 软件对各指标进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 乳酸湿热处理对大米粉糊化特性的影响结果

经湿热处理、乳酸处理、乳酸湿热处理等五种方法对大米粉糊化特性的影响见表 1。

由表 1 可知,与未处理的样品相比,大米粉经过湿热、乳酸和乳酸湿热联用处理后,峰值黏度、谷值黏度、最终黏度、衰减值和回生值均降低。而湿热处理过的大米粉样品的出峰时间延长,糊化温度升高,并与其它样品存在显著差异 ($P < 0.05$),这可能是因为湿热改性过程中大米粉的淀粉分子结构降解,使得直链淀粉含量增加,并可使分子链集中,淀粉的分子量在一定程度上均匀分布,分布面积较窄,淀粉的有序度逐渐增大^[16]。湿热处理的大米粉峰值黏度、谷值黏度和最终黏度都显著 ($P < 0.05$) 低于其他方法处理的样品,据报道表明是由于淀粉的结晶度经湿热处理后有所上升,淀粉分子部分出现断裂,导致淀粉中小分子量的增加,淀粉的平均分子量降低。

表 1 乳酸湿热处理对大米粉糊化特性的影响

样品	峰值黏度/(Pa·s)	谷值黏度/(Pa·s)	最终黏度/(Pa·s)	衰减值/(Pa·s)	回生值/(Pa·s)	出峰时间/min	糊化温度/°C
原样	2 459.33±40.99 ^e	1 722.00±142.03 ^c	4 281.00±88.33 ^f	737.33±183.02 ^d	2 559.00±53.69 ^e	6.97±0.04 ^c	92.38±0.46 ^b
湿热处理	1 006.67±9.24 ^a	745.67±24.83 ^a	1 753.33±20.21 ^a	261.00±15.59 ^{ab}	1 007.67±4.62 ^a	7.00±0.00 ^c	94.55±0.43 ^d
乳酸 (pH=3)	1 691.67±35.22 ^c	1 321.67±40.41 ^c	3 752.67±118.36 ^c	370.00±5.20 ^{bc}	2 431.00±77.94 ^{de}	6.65±0.04 ^b	93.45±0.09 ^e
乳酸 (pH=4)	1 916.67±31.75 ^d	1 469.00±48.50 ^d	2 690.67±85.45 ^b	447.67±16.74 ^c	1 221.67±36.95 ^b	7.00±0.00 ^c	93.43±0.06 ^e
乳酸湿热 (pH=3)	1 530.67±8.08 ^b	1 165.00±6.93 ^b	3 521.00±268.47 ^d	365.67±15.01 ^{bc}	2 356.00±261.54 ^d	6.33±0.00 ^a	90.67±0.40 ^a
乳酸湿热 (pH=4)	1 672.67±34.06 ^c	1 344.667±21.94 ^c	3 285.00±0.00 ^e	328.00±12.12 ^{bc}	1 940.33±21.94 ^c	7.00±0.00 ^c	92.60±0.00 ^b

注：小写字母代表同一列数据的显著性差异 ($P < 0.05$)，下同。

在乳酸处理的大米粉样品中，随着酸性的减弱，其样品峰值黏度、谷值黏度、衰减值以及出峰时间都逐渐升高，并与其它处理方法的大米粉样品有显著的差异 ($P < 0.05$)。而样品的最终黏度、回生值、糊化温度逐渐降低。有研究表明，直链淀粉分子间以氢键结合，结合力较强，直链淀粉含量越高，淀粉糊化越困难，越易回生^[17]。因此，乳酸处理后，随着酸性的减弱，大米粉回生值降低，黏度增强，衰减值增加，糊化温度降低。

在乳酸湿热联用处理中，峰值黏度、谷值黏度、出峰时间、糊化温度较原样相比先降低后增大，衰减值、回生值减小。乳酸湿热联用处理后的淀粉峰值黏度、谷值黏度下降是因为淀粉的结晶度在乳酸湿热联用处理后有所上升，乳酸湿热联用处理中淀粉分子断裂，导致淀粉中小分子成分增加，淀粉的平均分子量降低，最终黏度逐渐下降。这主要是受到米粉团粒膨胀程度和膨胀颗粒抵抗热和剪切力的影响，乳酸和湿热处理使得淀粉分子降解，淀粉分子链长变短^[18]。

2.2 乳酸湿热处理对大米粉溶解度、膨胀度的影响

乳酸湿热处理对不同温度下大米粉溶解度和膨胀度的影响见图 1。

由图 1 可知，与未处理的样品相比，单一湿热处理后的大米粉溶解度降低，由于在水和热的作用下，大米粉中支链淀粉的分支结构可能发生了断裂或者是链较长的直链淀粉变成了链较短的直链淀粉，产生了比未经湿热处理大米含量多的直链淀粉，直链淀粉进行重排形成更加稳定有序的结构或者与较大量的中等分子结合，形成新的结构更加稳定的双螺旋结构，使得淀粉难以从颗粒内溶出，从而引起湿热处理后大米粉溶解度和

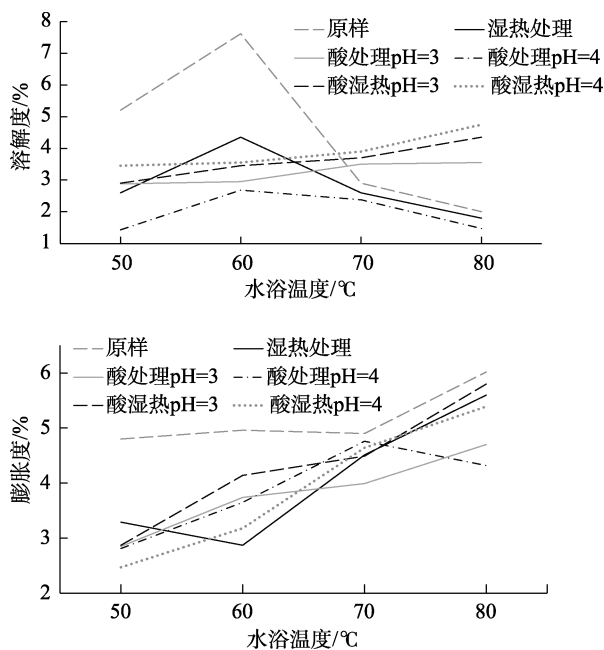


图 1 乳酸湿热处理对大米粉溶解度、膨胀度的影响

膨胀度下降^[14]。陈洪兴等^[19]认为由于湿热改性，淀粉中的直链淀粉和支链淀粉之间、直链淀粉和直链淀粉之间都交互形成不一样的螺旋结构，淀粉颗粒中的氢键结合能力增强，使得双螺旋结构紧密程度增加。乳酸处理过程中，酸性越强，大米粉的溶解度越高，大米粉随着酸性的降低，溶解度也下降，在乳酸 (pH=4) 时，溶解度低于原样，在所有被处理样品中乳酸 (pH=4) 时溶解度最低。乳酸湿热联用处理过程中，与原样相比，溶解度有所上升，这主要是因为乳酸湿热联用处理以后，淀粉晶型并没有发生改变，而淀粉微晶区却减少了，亚微晶区少量增多，从而使得溶解度增大。

经过单一的湿热处理后，大米粉样品的膨胀度有所下降，这与其他相关研究结果相似^[20]。有研究发现，膨胀度的降低主要是因为淀粉颗粒内部无定形区之间的相互作用增强。经过单一的乳

酸处理和乳酸湿热联用处理后的大米粉样品膨胀度, 与原样相比, 整体上呈下降趋势, 这可能是因为淀粉颗粒大和分子结构松散, 从而能够在热水中完全膨胀起来, 有利于淀粉的吸水膨胀^[21]。又因为相邻支链淀粉上的基团之间互相排斥, 从而使结晶区的键合能力减弱, 增强了水合作用, 使得淀粉更容易吸水而膨胀^[22-24]。

2.3 乳酸湿热处理对粉条品质的影响研究

乳酸湿热处理对大米粉鲜湿粉条蒸煮品质的影响见表 2。由表 2 可知, 与原样相比, 大米粉鲜湿粉条经湿热处理后, 断条率、复水率、蒸煮损失率都有所下降, 干物质含量有所增加。粉丝断条率能够直观的判断出粉丝品质的优劣^[25]。断条率越大, 说明粉丝煮起来越容易断。在乳酸处理中, 断条率、复水率、蒸煮损失率都逐渐下降, 干物质含量逐渐增加。在乳酸湿热联用处理中, 随着酸性的减弱, 断条率、复水率、蒸煮损失率逐渐下降, 干物质含量逐渐增大。综合来看, 大米粉鲜湿粉条的蒸煮品质测定中, 在乳酸处理 (pH=4) 时, 断条率、蒸煮损失率最低, 并与其它方法处理的粉条差异显著 ($P<0.05$), 说明其蒸煮品质是最优的。

乳酸湿热处理对大米粉干粉粉条蒸煮品质的影响见表 3。由表 3 可知, 与未处理的样品相比, 经湿热处理后, 大米粉干粉粉条的断条率、干物质含量有所下降。在单一的乳酸处理中, 随着酸

性的减弱, 断条率逐渐下降, 复水率逐渐升高, 蒸煮损失率、干物质含量逐渐下降。在乳酸湿热联用处理中, 随着酸性的减弱, 断条率、干物质含量逐渐下降, 复水率、蒸煮损失率逐渐升高。综合来看, 在乳酸处理 (pH=4) 时, 断条率、蒸煮损失率显著 ($P<0.05$) 低于其他方法处理的干粉粉条, 复水率最大, 即为最优。

乳酸湿热处理对大米粉鲜湿粉条质构品质的影响见表 4。由表 4 可知, 和原样相比, 经过湿热方法处理以后, 大米粉鲜湿粉条硬度、咀嚼性和黏度均出现下降, 弹性有所增加。这可能是因为直链淀粉分子从淀粉粒中浸出时, 直链淀粉分子链中的氢键交联结合, 然后形成了一种多维网络结构, 最后膨润的淀粉颗粒都填充在了直链淀粉的三维网络中^[26]。

在单一的乳酸处理中, 与原样相比, 硬度、黏度和咀嚼性均降低, 随着酸性的降低, 大米粉鲜湿粉条的弹性有所增大, 在乳酸处理 (pH=4) 时, 弹性达到最大, 且与其它样品存在显著性差异 ($P<0.05$)。这可能是因为乳酸溶液使鲜湿粉条的吸水能力增强, 使鲜湿粉条内部能够形成紧密的分子结构。在乳酸湿热联用处理中, 与原样相比, 大米粉鲜湿粉条的硬度、弹性和咀嚼性都有所下降, 是由于氢离子增强了粉条的吸水能力, 改变了淀粉的结构, 另一方面是由于淀粉分子结构之间的交联, 使粉条的弹性下降。

表 2 乳酸湿热处理对大米粉鲜湿粉条蒸煮品质的影响

样品	断条率	复水率	蒸煮损失率	干物质含量
原样	46.30±1.06 ^f	416.75±1.14 ^f	20.57±1.40 ^e	22.29±1.39 ^a
湿热	42.52±0.46 ^c	251.84±1.30 ^a	13.49±0.72 ^b	23.66±0.25 ^a
乳酸 (pH=3)	25.33±0.51 ^b	352.68±1.58 ^c	15.89±0.84 ^c	27.34±1.09 ^b
乳酸 (pH=4)	20.62±1.01 ^a	295.92±1.00 ^c	10.50±1.73 ^a	27.42±0.72 ^b
乳酸湿 (pH=3)	35.23±0.97 ^d	310.90±1.46 ^d	18.38±0.83 ^d	26.38±1.16 ^b
乳酸湿 (pH=4)	31.69±1.30 ^c	276.90±1.19 ^b	16.07±1.18 ^c	27.43±0.69 ^b

表 3 乳酸湿热处理对大米粉干粉粉条蒸煮品质的影响

样品	断条率	复水率	蒸煮损失率	干物质含量
原样	33.09±1.19 ^d	412.32±1.38 ^c	36.01±0.22 ^b	88.36±0.35 ^b
湿热	30.72±0.94 ^c	429.05±1.07 ^c	46.06±0.72 ^d	72.32±0.64 ^a
乳酸 (pH=3)	28.36±1.05 ^b	420.09±1.09 ^d	44.70±1.29 ^c	88.95±0.22 ^{bc}
乳酸 (pH=4)	21.34±1.29 ^a	481.49±1.25 ^f	27.84±0.75 ^a	88.48±0.30 ^b
乳酸湿 (pH=3)	28.35±1.21 ^b	346.26±0.83 ^a	55.09±0.63 ^c	89.85±0.77 ^c
乳酸湿 (pH=4)	27.72±1.29 ^b	376.43±0.71 ^b	59.20±0.30 ^f	89.03±0.42 ^{bc}

表 4 乳酸湿热处理对大米粉鲜湿粉条质构品质的影响

%

样品	硬度/g	弹性	黏度/(g·s)	咀嚼性
原样	23 070.63±1 300.11 ^d	0.87±0.11 ^{bc}	-452.53±187.44 ^{ab}	13 945.17±2 189.37 ^d
湿热	15 584.75±7 646.64 ^c	0.90±0.04 ^{bc}	-56.43±42.85 ^d	11 891.94±6 080.98 ^{cd}
乳酸 (pH=3)	10 640.15±769.06 ^{ab}	0.80±0.08 ^{abc}	-441.71±44.31 ^{ab}	6 083.71±930.44 ^a
乳酸 (pH=4)	13 076.90±1 284.47 ^{bc}	0.95±0.06 ^c	-255.04±60.09 ^c	9 409.93±1 057.87 ^{bc}
乳酸湿热 (pH=3)	8 510.27±1 378.35 ^a	0.84±0.04 ^{abc}	-475.36±135.87 ^{ab}	4 442.35±999.49 ^a
乳酸湿热 (pH=4)	9 795.95±550.93 ^{ab}	0.80±0.04 ^{ab}	-557.32±67.95 ^a	5 163.58±610.68 ^a

乳酸湿热处理对大米粉干粉粉条质构品质的影响见表 5。由表 5 可知, 和原样相比, 在湿热处理中, 大米粉干粉粉条的硬度、弹性、咀嚼性有所上升, 硬度显著 ($P<0.05$) 高于其他方法处理的干粉粉条, 其原因主要是受到大米粉分子链长的影响, 长链的淀粉分子越多, 分子之间产生的作用力也就越强, 黏度有所下降。在单一的乳酸处理中, 与原样相比, 大米粉干粉粉条的硬度、

黏度有所降低, 随着酸性的减弱, 大米粉干粉粉条的弹性有所增大, 在乳酸 (pH=4) 时, 弹性达到最大, 且与其它方法处理的大米粉干粉粉条样品存在显著差异 ($P<0.05$), 这说明该米粉样品中的淀粉分子形成的网状结构的交联点数量是最多的。在乳酸湿热联用处理中, 与原样相比, 大米粉干粉粉条的硬度、黏度和咀嚼性均下降, 随着酸性的减弱, 弹性有所增大。

表 5 乳酸湿热处理对大米粉干粉粉条质构品质的影响

%


样品	硬度/g	弹性	黏度/(g·s)	咀嚼性
原样	14 989.58±4 243.62 ^{ab}	0.77±0.21 ^a	-264.91±44.83 ^c	10 485.73±4 994.10 ^{ab}
湿热	16 900.26±2 384.42 ^b	0.93±0.09 ^{ab}	-288.89±124.39 ^c	13 336.92±2 476.38 ^b
乳酸 (pH=3)	13 139.88±1 998.53 ^a	0.82±0.02 ^{ab}	-634.51±149.27 ^b	12 710.34±1 387.84 ^b
乳酸 (pH=4)	12 406.37±1 525.10 ^a	0.95±0.21 ^c	-456.66±137.28 ^{bc}	10 489.11±2 435.73 ^{ab}
乳酸湿热 (pH=3)	13 840.88±1 379.42 ^a	0.80±0.04 ^{ab}	-985.65±246.08 ^a	8 213.16±958.21 ^a
乳酸湿热 (pH=4)	13 665.24±1 500.97 ^a	0.90±0.02 ^{ab}	-677.66±284.69 ^b	8 586.39±1 504.69 ^a

3 结论

乳酸湿热处理对大米粉糊化特性、溶解度和膨胀度影响显著, 在乳酸处理 (pH=4) 过的大米粉鲜湿粉条和干粉粉条中其蒸煮品质最优、质构品质的弹性最大, 两种 pH 值梯度的乳酸湿热联用处理方法效果都不及乳酸处理 (pH=4) 方法。而湿热处理、乳酸处理、乳酸湿热联用处理分别对大米粉结构、理化性质的影响以及主要成分的变化, 乳酸处理 (pH=4) 方法对粉条品质的感官评价都尚需进一步研究。

参考文献:

- [1] 丁文平, 王月慧. 浸泡发酵对米粉体系理化特性的影响[J]. 食品工业, 2005(3): 5-7.
- [2] 张玉荣, 周显青, 李庆光, 等. 植物乳酸菌发酵大米粉及其淀粉特性变化[J]. 粮食与饲料工业, 2012(8): 18-25.
- [3] 鲁战会. 生物发酵米粉的淀粉改性及凝胶机理的研究[D]. 北京: 中国农业大学博士学位论文, 2002.
- [4] 周显青, 李亚军, 张玉荣. 不同微生物发酵对大米理化特性及米粉食味品质的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2010, 31(1): 4-8+13.
- [5] 闵伟红. 乳酸菌发酵改善米粉食用品质机理的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2003.
- [6] 廖卢艳, 吴卫国. 湿热改性淀粉研究进展[J]. 食品与机械, 2015, 31(5): 266-269.
- [7] SUPAWADEEC, PRISANA S. Effect of hydrothermal treatment of rice flour on various rice noodle quality[J]. Journal of Cereal Science, 2010, 51(3): 284-291.
- [8] KORRAKOT L, ONANONG N. Modification of rice flour by heat moisture treatment (HMT) to produce rice noodles[J]. Kasetsart J. (Nat. Sci.), 2006, 40: 135-143.
- [9] COLLADO L S, MABESA L B, OATES C G, et al. Bihontype noodles from heat-moisture treated sweet potato starch[J]. Journal of Food Science, 2001, 66(4): 604-609.
- [10] 韩中杰, 熊柳, 孙庆杰, 等. 酸水解-湿热处理对豌豆淀粉特性的影响[J]. 粮食食品科技, 2012, 20(6): 11-15.
- [11] 谭洪卓, 谭斌, 刘明, 等. 红薯淀粉性质与其粉条品质的关系[J]. 农业工程学报, 2009, 25(4): 286-292.
- [12] 廖卢艳, 吴卫国. 湿热处理改善红薯粉条品质的优化工艺研究[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(10): 114-119.
- [13] 傅亚平, 廖卢艳, 王巨涛, 等. 酸溶技术脱除大米粉中重金

- 属镉的工艺优化[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(3), 103-109.
- [14] 姚映西. 湿热改性处理对大米理化性质及米粉品质影响的研究[D]. 长沙: 湖南农业大学硕士学位论文, 2016.
- [15] 廖卢艳, 吴卫国. 不同淀粉糊化及凝胶特性与粉条品质的关系[J]. 农业工程学报, 2014, 30(15): 332-338.
- [16] 金茂国, 吴嘉根, 吴旭初. 粉丝生产用淀粉性质及其与粉丝品质关系的研究[J]. 无锡轻工大学学报, 1995, 14(4): 307-311.
- [17] MOUNSEY J S, O'RIORDAN E D. Characteristics of imitation cheese containing native or modified rice starches[J]. Food Hydrocolloids, 2008, 22(6): 1160-1169.
- [18] ABRAHAM T E. Stabilization of paste viscosity of cassava starch by heat-moisture treatment[J]. Starch, 1993, 45: 131-135.
- [19] 陈洪兴, 顾正彪, 洪雁. 粉丝的原料、生产工艺及发展趋势[J]. 食品工业科技, 2003, (7): 94-96.
- [20] 吕振磊, 李国强, 陈海华. 马铃薯淀粉糊化及凝胶特性研究[J]. 食品与机械, 2010, 26(3): 22-27.
- [21] 于天峰, 夏平. 马铃薯淀粉特性及其利用研究[J]. 中国农业学报, 2005, 21(1): 55-58.
- [22] GALLIARD T, BOWLER P. Dstarch: properties and potential[M]. New York: John Wiley&Sons, 1987: 57-59.
- [23] SINGH N, SINGH J, KAUR L, et al. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources[J]. Food Chemistry, 2003, 81: 219-231.
- [24] SINGH J, SINGH N, SHARMA T R, et al. Physicochemical, rheological and cookie making properties of corn and potato flours[J]. Food Chemistry, 2003, 83: 387-393.
- [25] 谢新华, 艾志录, 王娜. 不同介质对玉米淀粉糊化黏度特性的影响[J]. 中国粮油学报, 2010, 25(3): 37-39.
- [26] 高群玉, 武俊超, 李素玲. 湿热处理对不同直链含量的玉米淀粉性质的影响[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2001, 39(9): 1-6. 
- 备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lyspkj.ijournal.cn/ch/index.aspx>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。

· 信息窗 ·

面对气候危机，增强食物多样性

人类历史上共培育过六、七千种植物供食用。但如今，我们每日摄取能量的 40% 仅来自于三种作物，即：水稻、小麦和玉米。人类现在以 30 多种植物为生，其中不少还在遭受环境变化的威胁。随着生物多样性的减少，整个生态系统面临严重退化，《粮食和农业植物遗传资源国际条约》正在发挥越来越重要的作用，帮助农民拓宽作物品种，养活全球人口。该《条约》由粮农组织以及粮食和农业遗传资源委员会谈判达成，于 2001 年通过，旨在打造一个全球系统，保障农民、植物育种者和科学家获取植物遗传材料。以下三个例子展示了该《条约》帮助发展中国家的农业社区应对气候变化和其他环境威胁（节选 2 个例子）。

1. 秘鲁、尼泊尔和不丹马铃薯品种的交流与开发

在安第斯高地上，种植着 4000 多种马铃薯。这些品种能很好地适应恶劣的条件和不断变化的气候。而尼泊尔和不丹拥有的气候条件和环境威胁与安第斯山脉相似，但却仅种植两种马铃薯。为提高这些山区对环境的抵御能力，当地开展了一个项目，引进对极端温度更具适应性且营养更丰富的土豆品种。尼泊尔和不丹农民与秘鲁的国际马铃薯中心密切合作，直接参与新型、高产、适应性强和多样化的马铃薯选种工作。如今，这三个国家的农业研究机构已对这些马铃薯的遗传物质进行了保存、繁殖和利用。

2. 津巴布韦、马拉维和赞比亚保护植物遗传资源以改善饮食和营养

津巴布韦、马拉维和赞比亚对玉米作物的依存度很高，但玉米无法有效应对高温、暴雨等气候变化带来的影响，所以近年来，三个国家出现了粮食严重短缺状况。有了利益分享基金，并开设了 159 所农民田间学校。这一项目从《条约》多边体系的国家、区域和国际基因库中选择了 300 个遗失或遗忘的次要谷物品种进行培育。农民已经可以获得这些种子，科学家也可借此进一步研究开发新型气候智能型品种。

在粮农组织牵头管理的《条约》生效后 15 年里，建立了全球最大的粮食和农业植物材料分享基因库，即获取和利益分享多边系统。利益分享基金在 67 个发展中国家开展了 80 个农业发展项目，帮助了 100 余万人。这些项目表明了各洲之间分享技能和知识的重要性，对于实现可持续发展目标 15（陆地生物）和可持续发展目标 2（零饥饿）至关重要。

（节选自：联合国粮农组织（FAO）官方微信公众号，2020 年 5 月 28 日）