

湿热处理对大米淀粉理化性质及其米线品质的影响

Effect of heat-moisture treatment on various physicochemical properties of rice starch and quality of rice starch noodles

王晓培^{1,2} 陈正行^{1,2} 李娟^{1,2} 王韧^{1,2}

WANG Xiao-pei^{1,2} CHEN Zheng-xing^{1,2} LI Juan^{1,2} WANG Ren^{1,2}

冯伟^{1,2} 王莉^{1,2} 罗小虎^{1,2}

FENG Wei^{1,2} WANG Li^{1,2} LUO Xiao-hu^{1,2}

(1. 江南大学粮食发酵工艺与技术国家工程实验室, 江苏 无锡 214122;
2. 江南大学食品科学与技术国家重点实验室, 江苏 无锡 214122)

(1. National Engineering Laboratory of Cereal Fermentation Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China; 2. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

摘要:以大米淀粉为原料,研究湿热处理对大米淀粉理化性质以及米线品质的影响。结果表明:与未处理大米淀粉相比,湿热处理后,大米淀粉的热学特性中 T_0 、 T_P 、 T_C 、 $T_C - T_0$ 、 ΔH 均增大;淀粉晶型仍为 A 型,结晶度增加 4.14%;淀粉溶解率和膨润力显著降低,直链淀粉含量显著升高;淀粉糊化黏度、衰减值和回生值明显降低;淀粉凝胶硬度、弹性和耐咀嚼性增强;淀粉白度由 89.7 降低至 80.3;添加 20% 湿热处理大米淀粉制作的米线感官品质和质构特性得到显著改善,断条率和蒸煮损失率分别降低 5.67%, 10.13%;大米淀粉溶解率、膨润力、溶解率、凝胶特性和糊化特性可有效预测米线品质。

关键词: 湿热处理; 大米淀粉; 理化性质; 米线

Abstract: The effects of heat-moisture treatment on the physicochemical properties of starch and the qualities of rice starch noodles were studied, using rice starch as materials. The results showed that comparing with the native starches, there was an remarkable increase of T_0 , T_P , T_C , $T_C - T_0$ and ΔH after heat-moisture treatment. Crystalline structure of treated starch was still A type, but the crystallinity degree increase of 4.14% than that of native starches. The decrease of solubility and swelling power of treated starch were

observed as well as the increase of amylose content. Treated starch had lower pasting viscosity, breakdown and setback than those of native starch. And, there were obvious increases in hardness, springiness, chewiness and resilience. However, after heat-moisture treatment, the whiteness of rice starch reduced from 89.7 to 80.3. In addition, the starch noodles made from 20% treated starch had higher sensory evaluation score and better texture properties than those of the noodles made by pure untreated rice starch. Meanwhile the broken rate decreased by 5.67%, and cooking loss decreased by 10.13%. Furthermore, the study also inferred that the solubility, swelling power, amylase content, paste viscosities and gel texture of rice starch could become a practical method for predicting the quality of the derived noodles.

Keywords: heat-moisture treatment; rice starch; physicochemical properties; rice starch noodles

米线,是中国南方一种传统食品,消费量大,具有良好的市场基础。米线制作主要依靠大米淀粉的糊化和老化特性^[1],因而可将大米淀粉和蛋白分开利用,既提高大米的经济效益,又增强对米线加工过程的把控^[2],同时也能满足患有肾病人群的特殊需求。目前米线品质改良方法包括预发酵^[3]、添加辅料淀粉^[4]、亲水胶体^[5]或其他改良剂^[6]等。但是发酵条件难掌控,且易发酸发臭,耗时耗水,占地空间大。此外,改良剂使用量和种类难以控制,存在食品安全隐患。

目前研究表明,影响米线品质的淀粉特性主要包括直链淀粉含量、膨润力和溶解率,黏度特性等。其中直链淀粉含量影响最为显著,其值越高,米线感官和质构品质越好^[7-8];溶解率和膨润力主要影响米线成型和蒸煮品质,其值越高,

基金项目:江苏省产学研前瞻性联合研究项目(编号:BY2016022-30);国家自然科学基金(编号:31501407);社会公益研究专项计划(编号:201513006);社会公益研究专项计划(编号:201303071)

作者简介:王晓培,女,江南大学在读硕士研究生。
通信作者:陈正行(1960—)男,江南大学教授,博导。
E-mail:zxchen_2008@126.com

收稿日期:2017-03-06

挤压时越易并条和糊汤^[9]；米粉黏度越大，米线蒸煮损失降低^[10]，但成型困难，且爽滑性差。而国内外已有研究表明湿热处理(heat-moisture treatment,HMT)可降低淀粉膨胀力、溶解度和黏度，提高直链淀粉含量^[11]。Cham^[12]、Korrakot^[13]和 Collado^[14]等研究表明，HMT 处理可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^[15]研究表明利用酸—湿热处理后的豌豆淀粉制备粉丝，耐蒸煮、不易糊汤，质构柔滑。

然而,湿热处理改善大米淀粉米线品质的研究鲜有报道，且对于湿热处理淀粉添加量对淀粉性质和米线品质影响的研究也相对较少。因此,本课题采用湿热处理对大米淀粉进行改性,研究湿热处理和不同添加量对大米淀粉理化性质及其淀粉米线品质的影响,为米线专用粉的研究提供新的思路 and 理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

大米淀粉:无锡金农生物科技有限公司；
标准直链淀粉:美国 Sigma 公司；
氢氧化钠、碘、碘化钾、乙酸、95%乙醇等:分析纯，国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

紫外可见光分光光度:WFZ UV-2000 型,尤尼柯上海仪器有限公司；
快速黏度分析仪:RVA-4500 型,波通澳大利亚公司；
差示扫描量热仪:DSC 8500 型,美国 Perkin Elmer 公司；
X 射线衍射仪:D2 PHSAER 型,德国布鲁克 AXS 有限公司；
白度仪:HY-BDY 型,中国佛山华洋仪器有限公司；
双螺杆挤压机(四区控温):Polylab 型,美国赛墨飞世尔科技公司；
物性分析仪:TA-XT2i 型,英国 SMS 公司。

1.3 方法

1.3.1 湿热处理粉的制备及米线制备工艺 结合前人^[12-13]的研究成果及湿热处理工艺的优化结果,湿热处理粉制备工艺:调节大米淀粉水分含量至 20%，充分混匀过 50 目筛，将其装入密封袋中，静置于 4℃条件下平衡水分 24 h，取出装入反应釜中密封。接着将其置于高压灭菌锅中处理，1.5 h 后取出，置于 28℃下烘干 24 h 至水分含量低于 12%，并过 50 目筛装袋密封。

结合江西米线生产工艺和双螺杆挤压工艺^[16]制作大米淀粉米线：

制备湿热处理粉→湿热处理粉+大米淀粉调粉、过筛、平衡水分→双螺杆挤压→第一次老化→复蒸→第二次老化→干燥→装袋、成品

具体工艺参数:待挤压大米淀粉的水分含量为 38%；挤压机螺杆转速为 95 r/min，挤压糊化温度为 92.5℃，挤压成

型温度为 85℃；第 1 次老化时间为 2 h；复蒸时间为 10 min；第 2 次老化时间为 1 h；室温通风干燥 12 h。

1.3.2 淀粉结晶特性的测定 样品预处理:待测粉置于相对湿度为 100%的干燥器中平衡水分 48 h，随后将样品压入带有凹槽的玻璃片中，并保证样品表面与玻璃片表面保持水平。测定条件:靶型 Cu，管压 40 kV，管流 40 mA，扫描速度 12°/min，扫描步长 0.05°，扫描范围 4~50°。

1.3.3 淀粉热学特性的测定 准确称取 2~3 mg 干样品于坩埚中，加入 2 倍质量(4~6 mg)去离子水，密封，常温平衡水分 24 h。DSC 程序为:升温范围 30~110℃，升温速度 10℃/min。每个样品平行测定 3 次，取均值。

1.3.4 直链淀粉含量、膨润力和溶解率的测定

(1) 直链淀粉含量测定:按 GB/T 15683—2008 执行。
(2) 膨润力和溶解率的测定:称取 0.8 g 干基淀粉(W₀)和 25 mL 蒸馏水在预先称重的 50 mL 离心管中混匀制备淀粉悬浮液。先将装有样品的离心管置于 25℃水浴锅内平衡 5 min，之后置于 95℃水浴锅中振荡保温 30 min，取出冰浴冷却 1 min，再在 25℃下平衡 5 min，最后 4 000 r/min 离心 20 min。离心后，上清液转至铝盒，在 105℃烘箱中烘至恒重(W₁)，离心管中沉淀物称重(W₂)，按式(1)、(2)计算样品的膨润力和溶解度。

$$S = \frac{W_1}{W_0} \times 100\% , \tag{1}$$

$$SP = \frac{W_2}{W_0 \times (100\% - S)} , \tag{2}$$

式中：
S——样品溶解率，%；
SP——样品膨润力，g/g；
W₀——粉料的初始干基质量，g；
W₁——上清液烘干至恒重时的质量，g；
W₂——沉淀物的湿重，g。

1.3.5 淀粉糊化特性的测定 以 14%水分为基准，将 3 g 大米淀粉与 25 g 蒸馏水混合，用快速黏度分析仪进行分析，每个样品平行测定 3 次，取均值。测定程序:50℃保温 1 min；然后以 12℃/min 匀速升温至 95℃，95℃下保温 2.5 min；再以 12℃/min 降温至 50℃，50℃下保温 2 min；整个过程以 160 r/min 恒速搅拌。

1.3.6 大米淀粉凝胶特性测定 配制水分含量为 20 g/100 mL 的大米淀粉乳，95℃水浴搅拌加热 20 min，然后转入培养皿中，置于蒸笼中蒸 5 min，取出冷却至室温，最后在 4℃下老化 12 h。采用物性测试仪的 TPA 模式测定老化后的淀粉凝胶质构特性，具体程序为:探头 P/25，压缩比 50%，感应力 5 g，测前、中、后速度均为 1 mm/s。

1.3.7 大米淀粉白度的测定 按 GB/T 22427.6—2008 执行。

1.3.8 米线蒸煮品质的测定

(1) 断条率:取 30 根 10 cm 长无机械损伤的米线，加入盛有 1 L 沸水的电煮锅中加热蒸煮，根据最佳蒸煮时间蒸煮

后将米线捞出,记录米线总条数,按式(3)计算断条率。

$$D = \frac{N - 30}{30} \times 100\%, \tag{3}$$

式中:
 D ——断条率,%;
 N ——煮后米粉总条数。

(2) 蒸煮损失率:称取质量为 M_1 的米线样品,参照 1.3.8 (1)中方法将米线煮制后挑出,置于滤网上用 50 mL 蒸馏水淋洗 30 s,然后将其放入铝盒中,置于 105 ℃ 烘箱中干燥至平衡,称重 M_2 ,按式(4)计算蒸煮损失率。

$$L = \frac{M_1 \times (1 - w) - M_2}{M_1 \times (1 - w)} \times 100\%, \tag{4}$$

式中:
 L ——蒸煮损失率,%;
 M_1 ——煮前米线质量,g;
 M_2 ——煮后米线质量,g;
 w ——米线含水量,%。

1.3.9 大米淀粉米线感官评价 参照 DB 43/156—2007,选取 10 名经过感官评定相关培训的人群组成感官评定小组,并用市售米线对其进行米线感官评价培训。感官评价标准主要为米线色泽、气味、组织形态和口感品质,具体见表 1。

表 1 大米淀粉米线感官评价标准

Table 1 The sensory evaluation standard of rice starch noodles

等级	评价标准	评分
优	白色;米香味浓;表面光滑无碎粉;口感软硬适中,爽口,有嚼劲	80~100
中	稍有杂色;米香味较浓;表面较光滑,略有碎粉;口感较硬或较软,略黏牙,较有弹性	65~80
差	多杂色;米香味淡;表面粗糙,有明显碎粉;过硬或软烂,黏牙,不爽口,无弹性	0~65

1.3.10 大米淀粉米线质构特性测定 采用 TA-XT2i 型物性测试仪测定米线质构特性。参照 1.3.8(1)中方法将米线煮制后挑出,在 500 mL 蒸馏水中冷却 30 s,沥干。每次测定均用 3 根米线,试验至少平行 9 次,取均值。其中,全质构(TPA)测试:参照 1.3.6 中方法;剪切测试:探头为 A/LKB-F,压缩比 90%,感应力 5 g,测中、侧后的速度分别为 0.5, 10.0 mm/s。

1.3.11 数据分析 采用 Excel 和 SPSS 19.0 对试验数据进行分析;采用 Origin 8.0 进行图形绘制。数据表示方法为平均值±标准差。

表 3 湿热处理对大米淀粉热学特性的影响[†]

Table 3 Impact of HMT on thermal properties of rice starch

样品	$T_0/^\circ\text{C}$	$T_P/^\circ\text{C}$	$T_C/^\circ\text{C}$	$T_C - T_0/^\circ\text{C}$	$\Delta H/(\text{J} \cdot \text{g}^{-1})$
未处理大米淀粉	62.40±0.47 ^a	74.57±0.00 ^a	84.42±0.00 ^a	22.03±0.47 ^a	9.43±0.03 ^a
湿热处理大米淀粉	67.27±0.13 ^b	76.47±0.00 ^b	90.59±0.09 ^b	23.32±0.40 ^b	15.63±0.16 ^b

[†] 同列中不同字母代表差异性显著(P<0.05)。

2 结果与讨论

2.1 湿热处理对大米淀粉性质的影响

2.1.1 湿热处理对大米淀粉结晶特性的影响 由表 2 所示,湿热处理大米淀粉和未处理淀粉在 2θ 角为 15°,17°,18°, 23.5° 左右均出现 4 个典型衍射峰,由此可判断大米淀粉结晶类型为 A 型,且湿热处理后淀粉晶型不变。湿热处理后,大米淀粉结晶度增加,与高直链玉米淀粉湿热处理后结果相似^[17]。经湿热处理后,大米淀粉团粒晶态体生长和/或完善,形成新的微晶,支链结构键能增强,双螺旋结构更加有序紧密。

表 2 湿热处理对大米淀粉结晶特性影响[†]

Table 2 Impact of HMT on crystallinity properties of rice starch

样品	$2\theta/^\circ$	结晶度
未处理大米淀粉	14.88,16.93,18.30,23.42	19.18±0.12 ^a
湿热处理大米淀粉	14.98,16.98,18.03,23.53	23.52±0.20 ^b

[†] 同列中不同字母代表差异性显著(P<0.05)。

2.1.2 湿热处理对大米淀粉热学特性的影响 由表 3 可知,湿热处理后大米淀粉 T_0 、 T_P 、 T_C 、 $T_C - T_0$ 、 ΔH 均增大,这是由于湿热处理后大米淀粉团粒结晶度增加,双螺旋结构更紧密,淀粉不易溶出和吸水,从而导致淀粉糊化温度增加,糊化焓增大。此外,湿热处理过程中可能造成直链淀粉含量增加,减弱淀粉结晶结构在加热糊化过程中的破坏,也会造成糊化温度升高,焓值增加^[18]。

2.1.3 湿热处理淀粉添加量对大米淀粉直链淀粉、溶解率和膨润力的影响 如表 4 所示,与未处理淀粉相比,大米淀粉经湿热处理后直链淀粉含量显著增加。可能是在水分和高热的共同作用下,大米淀粉团粒内无定形区中淀粉链之间的相互作用发生改变^[19-20]。Gunaratne 等^[21] 也认为这种变化是淀粉团粒中直链淀粉—直链淀粉和/或直链淀粉—支链淀粉链间相互作用引起的。此外,淀粉团粒中支链淀粉的分支结构断裂或较长的直链淀粉断链成为短链直链淀粉,也可引起直链淀粉含量的增加^[22-23]。大米淀粉中直链淀粉影响糊化后淀粉回生以及米线的凝胶强度,在其含量不超过 27% 的前提下,其值越大,米线品质越好,因而湿热处理有利于提高大米淀粉米线品质^[7]。

此外,由表 4 可知,湿热处理后大米淀粉的膨润力和溶解率显著下降,且随着湿热处理粉添加量的增加,溶解率和膨润力也显著降低。Hoover^[18] 和 Zavareze^[24] 等认为,这种降低归因于淀粉颗粒内部的重排,引起淀粉官能团之间的进一步相互作用,使其支链淀粉侧链形成更加有序的双螺旋结

表 4 湿热处理淀粉添加量对大米淀粉溶解率、膨润力和直链淀粉含量的影响[†]

Table 4 Effects of amount of HMT on solubility, swelling power and amylose content of rice starch

湿热处理淀粉添加量/%	溶解率/%	膨润力/(g·g ⁻¹)	直链淀粉含量/%
0	23.96±1.32 ^d	19.08±0.16 ^f	22.05±0.21 ^a
10	23.37±0.08 ^{cd}	17.69±0.67 ^e	22.24±0.02 ^{ab}
20	21.56±0.20 ^{bc}	16.05±0.11 ^d	22.51±0.08 ^b
40	21.27±0.64 ^{bc}	13.07±0.04 ^c	23.68±0.05 ^c
60	19.99±0.52 ^{ab}	13.05±0.33 ^c	23.78±0.03 ^c
80	19.42±1.88 ^{ab}	11.95±0.05 ^b	23.71±0.04 ^c
100	18.56±0.14 ^a	10.52±0.27 ^a	24.10±0.03 ^d

† 同列不同字母代表差异性显著(P<0.05)。

构。高群玉^[23]和赵佳^[25]等认为溶解率和膨润力的降低有两方面原因:① 湿热处理使得支链淀粉降解,双螺旋结构减少,膨润力下降;② 湿热处理引起淀粉团粒内淀粉链间发生交互作用,形成新的结构,颗粒内部键能增强,双螺旋结构更加紧密,不利于淀粉分子从团内溶出。膨润力和溶解率影响米线的口感品质和蒸煮品质。湿热处理后,膨润力和溶解率降低,有利于降低米线蒸煮损失,提高米线耐咀嚼性。

2.1.4 湿热处理淀粉添加量对大米淀粉糊化特性的影响 由表 5 可知,湿热处理后,大米淀粉糊化时黏度和回生值明显降低,糊化温度增加。糊化时黏度明显下降的原因可能有两

方面:① 直链淀粉含量增加,糊化时黏度下降;② 结晶度增加,无定形区内淀粉链相互作用,分子内和分子间氢键增强,耐热性增强,淀粉颗粒变得不易膨胀^[26]。糊化温度增加,与热学特性中结果一致。

此外,根据表 5 还可知,添加湿热处理淀粉后大米淀粉的糊化黏度降低,有利于米线的挤压成型,以及口感的爽滑性。添加量不同对各项黏度值改变程度不同。添加量达到 10%后,峰值黏度、谷值黏度、终值黏度和回生值已显著降低;添加量达到 40%以后糊化温度明显升高;添加量达到 20%后,衰减值显著降低。

2.1.5 湿热处理淀粉添加量对大米淀粉凝胶质构品质的影响 由表 6 可知,大米淀粉经湿热处理后凝胶特性得到改善,尤其是硬度、弹性、咀嚼性、回复性显著性增强,黏聚性和黏着性显著性下降,这些均有利于改善成品大米淀粉米线品质,使得米线耐咀嚼、不黏牙。此外,随着湿热处理粉添加量的增加,凝胶硬度、弹性咀嚼性、回复性增加,黏着性、黏聚性下降。尤其是添加 10%的处理粉后,凝胶的硬度、咀嚼性和回复性已有显著性提高;添加量达到 20%以后,黏着性显著降低,弹性明显增强。

2.1.6 湿热处理淀粉添加量对大米淀粉白度的影响 由图 1 可知,大米淀粉经湿热处理后,白度由 89.7 降低至 80.3,且随着湿热处理淀粉添加量的增大,白度显著下降。原因是高温低水分的处理过程中,部分淀粉脱水、降解,发生焦糖化反应,导致颜色褐变。

表 5 湿热处理淀粉添加量对大米淀粉糊化特性的影响[†]

Table 5 Effects of amount of HMT starch on pasting properties of rice starch

湿热处理淀粉添加量/%	峰值黏度/cP	谷值黏度/cP	衰减值/cP	终值黏度/cP	回生值/cP	糊化温度/℃
0	1 822.00±10.20 ^c	869.50±10.4 ^c	952.50±1.62 ^c	1 938.50±6.26 ^c	1 119.00±14.14 ^c	83.60±0.57 ^a
10	1 725.00±9.90 ^b	842.00±5.66 ^b	948.50±4.95 ^c	1 914.50±7.78 ^d	1 054.00±15.56 ^d	83.55±0.50 ^a
20	1 624.50±3.44 ^a	824.50±14.85 ^a	825.00±7.07 ^b	1 887.00±7.07 ^d	1 056.00±14.14 ^d	83.60±0.50 ^a
40	1 636.00±9.90 ^a	825.00±1.41 ^a	811.00±8.49 ^b	1 856.00±8.49 ^c	1 037.50±13.44 ^{cd}	85.52±0.11 ^b
60	1 629.50±10.26 ^a	819.00±11.31 ^a	810.50±4.95 ^b	1 829.00±4.24 ^c	1 010.00±7.07 ^c	86.48±0.04 ^c
80	1 640.00±10.80 ^a	814.00±0.00 ^a	816.00±19.80 ^b	1 787.50±0.71 ^b	973.50±0.71 ^b	87.25±0.00 ^c
100	1 626.00±1.40 ^a	819.50±7.78 ^a	756.50±6.63 ^a	1 695.50±10.16 ^a	826.00±18.39 ^a	87.25±0.07 ^c

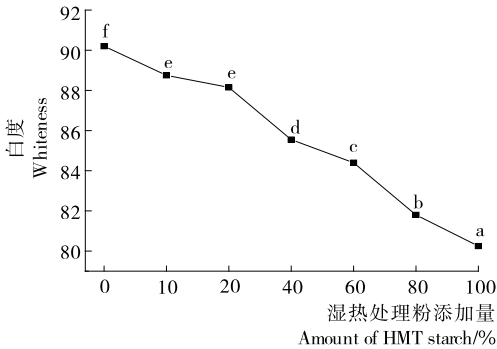
† 同列不同字母代表差异性显著(P<0.05)。

表 6 湿热处理淀粉添加量对大米淀粉凝胶质构品质的影响[†]

Table 6 Effects of amount of HMT starch on gel texture properties of rice starch

湿热处理淀粉添加量/%	硬度/g	黏着性/(g·s ⁻¹)	弹性	黏聚性	咀嚼性/g	回复性
0	516.71±3.02 ^a	—18.83±1.26 ^c	0.95±0.00 ^a	0.94±0.01 ^b	475.34±17.15 ^a	0.60±0.01 ^a
10	644.74±9.46 ^b	—21.96±1.05 ^c	0.95±0.01 ^a	0.93±0.02 ^b	571.23±16.25 ^b	0.67±0.02 ^b
20	750.28±9.09 ^c	—35.22±2.75 ^b	0.98±0.00 ^b	0.93±0.01 ^b	683.65±12.88 ^c	0.66±0.03 ^b
40	885.06±9.11 ^d	—37.01±3.25 ^{ab}	0.99±0.00 ^c	0.93±0.00 ^b	750.57±6.91 ^d	0.67±0.02 ^b
60	884.02±7.20 ^d	—40.61±3.23 ^a	0.99±0.01 ^c	0.92±0.00 ^b	750.01±5.58 ^d	0.69±0.01 ^b
80	883.78±6.68 ^d	—36.88±2.83 ^{ab}	0.98±0.00 ^c	0.91±0.01 ^b	749.03±4.90 ^d	0.68±0.00 ^b
100	895.13±8.42 ^d	—38.40±3.02 ^{ab}	0.99±0.00 ^c	0.84±0.05 ^a	755.08±8.68 ^d	0.67±0.04 ^b

† 同列不同字母代表差异性显著(P<0.05)。



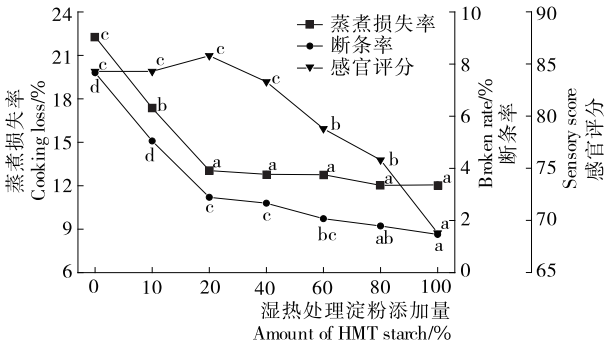
不同字母代表差异性显著(P<0.05)

图 1 湿热处理淀粉添加量对淀粉白度的影响

Figure 1 Effects of amount of HMT starch on whiteness of rice starch

2.2 湿热处理淀粉添加量对大米淀粉米线品质的影响

2.2.1 对大米淀粉米线蒸煮和感官品质的影响 由图 2 可知,相对于未处理粉,添加湿热处理淀粉后米线断条率和蒸煮损失率显著下降;在添加量达到 20%后,断条率和蒸煮损失率基本稳定,达到地方米线标准(断条率<5%,蒸煮损失率<10%)。随着湿热处理粉添加量的增加,大米淀粉米线



同一指标下不同字母代表差异性显著(P<0.05)

图 2 湿热处理淀粉添加量对大米淀粉米线蒸煮和感官品质的影响

Figure 2 Effects of amount of HMT starch on cooking quality and sensory evaluation of rice starch noodles

感官评分先增加后降低,是由于湿热处理粉添加越多,米线口感品质和表面亮度增加,但颜色变暗,导致感官评分降低。综合考虑大米淀粉米线的蒸煮品质和感官评价,当湿热处理粉添加量为 20%时,大米淀粉米线品质最佳。

2.2.2 对大米淀粉米线质构特性的影响 由表 7 可知,随着湿热处理淀粉添加量的增加,米线质构特性中硬度、弹性、耐咀嚼性、回复性、最大剪切力和剪切峰面积增加,黏着性和黏聚性降低。添加量达到 20%后,大米淀粉米线硬度、弹性、咀嚼性、回复性和最大剪切力已显著增加,即添加处理粉后米线耐咀嚼性、黏弹性、爽滑性提高,米线整体质构特性得到改善。同样,Korrakot 等^[17]将大米淀粉置于 120℃下处理 5 h 后按 20%的添加量制备米线也发现其黏弹性增大;Collado 等^[18]研究表明添加 50%湿热处理马铃薯淀粉可显著提高马铃薯粉米线硬度。总之,结合 2.2.1 中大米淀粉米线的蒸煮品质和感官评价结果可知,湿热处理淀粉添加量为 20%时大米淀粉米线品质得到显著提高。

2.3 大米淀粉理化特性与米线品质相关性分析

大米淀粉的理化性质与米线品质相关性分析结果见表 8。大米淀粉溶解率、膨润力均与米线蒸煮损失和断条率呈极显著正相关,与米线质构硬度、弹性、咀嚼性、回复性呈极显著负相关,即大米淀粉溶解率和膨润力越低,米线蒸煮损失和断条率越小,米线硬度和黏弹性越佳。大米淀粉直链淀粉含量与米线蒸煮损失、断条率呈显著负相关,与质构硬度、弹性、咀嚼性、回复性和最大剪切力呈显著正相关,即湿热处理大米淀粉含量越大,米线蒸煮品质和口感品质越好。淀粉凝胶硬度与米线硬度和回复性呈极显著正相关,与弹性和咀嚼性呈显著正相关;凝胶黏着性与米线蒸煮损失和断条率呈极显著正相关,与回复性呈极显著负相关;凝胶弹性与米线弹性呈极显著正相关,与米线硬度和回复性呈显著正相关,与黏着性呈显著负相关;凝胶黏聚性与感官评分、质构黏着性和黏聚性呈显著正相关,与最大剪切力和剪切峰面积呈极显著负相关;凝胶咀嚼性与米线硬度、咀嚼性和回复性呈极显著正相关。淀粉凝胶特性可反映出米线口感和质构特性相关性,其黏弹性越佳,成品米线质地越好。淀粉糊化特性

表 7 湿热处理淀粉添加量对大米淀粉米线质构特性的影响

Table 7 Effects of amount of HMT starch on texture properties of rice starch noodles

湿热处理 淀粉添加 量/%	全质构						剪切	
	硬度/g	黏着性/ (g·s ⁻¹)	弹性	黏聚性	咀嚼性	回复性	最大剪 切力/g	剪切峰面积/ (g·s ⁻¹)
0	760.74±22.86 ^a	—18.32±0.88 ^d	0.96±0.00 ^{ab}	0.83±0.00 ^c	635.72±17.48 ^a	0.52±0.01 ^a	153.79±9.53 ^a	283.10±11.57 ^a
10	826.62±12.16 ^{ab}	—17.25±1.35 ^{cd}	0.95±0.02 ^a	0.85±0.01 ^d	637.64±19.90 ^a	0.53±0.01 ^{abc}	182.87±14.84 ^{ab}	275.37±12.70 ^a
20	835.23±25.49 ^{ab}	—20.68±1.77 ^{bcd}	0.97±0.01 ^{bc}	0.84±0.01 ^c	667.82±23.09 ^{ab}	0.54±0.01 ^{bc}	190.28±12.16 ^b	298.61±12.16 ^a
40	820.19±30.16 ^{ab}	—21.72±1.17 ^{abc}	0.97±0.01 ^{bc}	0.83±0.01 ^c	683.13±12.16 ^{ab}	0.54±0.01 ^{bc}	188.61±17.25 ^b	308.81±10.51 ^a
60	903.54±19.36 ^b	—21.82±0.77 ^{abc}	0.97±0.01 ^{bc}	0.83±0.01 ^c	778.94±16.63 ^{bc}	0.54±0.01 ^{bc}	204.92±17.20 ^b	338.69±17.41 ^a
80	1 054.19±24.84 ^c	—23.94±1.10 ^{ab}	0.98±0.01 ^c	0.80±0.01 ^b	854.59±14.50 ^c	0.55±0.01 ^c	244.28±15.98 ^c	348.38±18.41 ^a
100	1 115.09±20.14 ^c	—25.81±0.93 ^a	0.98±0.00 ^c	0.78±0.01 ^a	864.27±22.40 ^c	0.55±0.01 ^c	296.12±11.04 ^d	512.27±15.88 ^b

† 同列不同字母代表差异性显著(P<0.05)。

表 8 大米淀粉理化性质与米线品质相关性分析[†]

Table 8 Correlations between physicochemical properties of rice starch and rice starch noodles qualities

米线品质	溶解率	膨润力	直链淀粉含量	凝胶特性						糊化特性				
				硬度	黏着性	弹性	黏聚性	咀嚼性	回复性	峰值黏度	谷值黏度	衰减值	终值黏度	回生值
蒸煮损失	0.892**	0.884**	−0.842*	−0.680	0.985**	−0.540	0.480	−0.650	−0.750	0.967**	0.948**	0.963**	0.730	0.630
断条率	0.922**	0.917**	−0.864*	−0.567	0.951**	−0.400	0.570	−0.720	−0.862*	0.971**	0.988**	0.926**	0.799*	0.730
感官评分	0.650	0.610	−0.610	−0.360	0.290	−0.290	0.822*	−0.300	−0.100	0.110	0.230	0.430	0.802*	0.784*
硬度	−0.891**	−0.840*	0.757*	0.950**	−0.600	0.823*	−0.872*	0.977**	0.520	−0.570	−0.680	−0.710	−0.951**	−0.931**
黏着性	0.961**	0.946**	−0.898**	−0.837*	0.817*	−0.824*	0.798*	−0.824*	−0.490	0.720	0.750	0.921**	0.952**	0.869*
弹性	−0.900**	−0.863*	0.812*	0.784*	−0.819*	0.962**	−0.620	0.790*	0.390	−0.690	−0.720	−0.897**	−0.827*	−0.700
黏聚性	0.790*	0.768*	−0.720	−0.540	0.480	−0.500	0.868*	−0.500	−0.180	0.350	0.430	0.660	0.905**	0.861*
咀嚼性	−0.938**	−0.889**	0.848*	0.758*	−0.700	0.650	−0.777*	0.981**	0.550	−0.590	−0.710	−0.761*	−0.935**	−0.860*
回复性	−0.946**	−0.931**	0.847*	0.917**	−0.875**	0.823*	−0.670	0.925**	0.761*	−0.895**	−0.943**	−0.906**	−0.872*	−0.808*
最大剪切力	−0.892**	−0.857*	0.771*	0.700	−0.630	0.600	−0.942**	0.680	0.520	−0.610	−0.680	−0.762*	−0.978**	−0.985**
剪切峰面积	−0.800*	−0.771*	0.720	0.580	−0.540	0.560	−0.988**	0.550	0.300	−0.460	−0.480	−0.720	−0.939**	−0.964**

† **表示极显著相关(P<0.01); *表示显著相关(P<0.05); −表示负相关。

中峰值黏度、谷值黏度和衰减值与米线蒸煮损失和断条率呈极显著正相关,即其值越低,米线蒸煮品质越佳。淀粉终值黏度和回复性与米线硬度、最大剪切力和剪切峰面积呈极显著负相关,与米线感官评分呈显著正相关。综上,淀粉理化性质决定着成品米线品质,从原料改性处理方面提高米线的品质是直接和有效的。

3 结论

相较于未处理粉,湿热处理后淀粉晶型不变,结晶度增加;淀粉糊化温度和糊化焓增大;淀粉溶解率和膨润力显著下降,直链淀粉含量显著增加,糊化黏度降低;淀粉凝胶硬度、弹性和耐咀嚼性增强;淀粉白度降低。湿热处理大米淀粉和未处理淀粉按 2∶8 的质量比配粉制作米线,其感官品质和蒸煮品质明显提高,质构特性也得到改善。因而将湿热处理应用于大米淀粉米线的生产,既可改善米线品质,非常绿色安全,对于米线生产具有实用价值,也为米线专用粉的研究提供基础。此外,淀粉理化性质决定着米线的品质,可通过原料粉溶解率、膨润力,直链淀粉含量,糊化黏度,凝胶品质等预测成品米线品质。

参考文献

[1] 于新, 刘丽. 传统米制品加工技术[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2014: 1-12.

[2] 方奇林. 大米淀粉米线的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2005: 23-28.

[3] 易翠平, 周慧, 佟立涛. 鲜米粉加工过程中的发酵工艺研究进展[J]. 食品与机械, 2013, 29(5): 223-225.

[4] YADAV B S, YADAV R B, KUMAR M. Suitability of pigeon pea and rice starches and their blends for noodle making[J]. LWT-Food Science and Technology, 2011, 44(6): 1 415-1 421.

[5] QAZI I M, RAKSHIT S K, TRAN T. Effect of physico-chemical properties of tropical starches and hydrocolloids on rice gels texture and noodles water retention ability[J]. Starch/ Stärke, 2011, 63(9): 558-569.

[6] 胡肖蓉, 廖卢艳. 粉丝品质的研究进展[J]. 粮食与油脂, 2016, 29(3): 5-7.

[7] 王永辉, 张业辉, 张名位, 等. 不同水稻品种大米直链淀粉含量对加工米粉品质影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(1): 109-120.

[8] 刘鑫, 陈杰, 孟岳成, 等. 干燥型方便米线品质影响因素及其营养强化研究进展[J]. 食品科学, 2011, 32(3): 296-300.

[9] RUGNGARUN H, ATHAPOL N. Hydrothermal treatments of rice starch for improvement of rice noodle quality[J]. Science Direct, 2007, 40(10): 1 723-1 731.

[10] 张兆丽, 熊柳, 赵月亮, 等. 直链淀粉与糊化特性对米粉凝胶品质影响的研究[J]. 青岛农业大学学报, 2011, 28(1): 60-64.

[11] 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.

[12] SUPAWADEE C, PRISANA S. Effect of hydrothermal treatment of rice flour on various rice noodles quality[J]. Journal of Cereal Science, 2010, 51(3): 284-291.

[13] 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.

[14] 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.

[15] 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]. 粮油食品科技, 2012, 20(6): 11-15.

[16] 唐汉军, 李林静, 朱伟. 螺杆挤压工艺对米粉品质的改良作用[J]. 食品与机械, 2015, 31(5): 239-242.

[17] 李玥, 钟芳, 麻建国, 等. 大米淀粉糊化过程的光谱分析[J]. 高分子学报, 2008(7): 720-725.

[18] HOOVER R, MANUEL H. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of normal maize, waxy maize, dull waxy maize and amylomaize V starches[J]. Journal of Cereal Science, 1996, 23(2): 153-162.

(下转第 210 页)

表 7 班组制丝工艺综合评价结果对比

Table 7 The evaluation results comparison of each team

评价方式	甲班				乙班				丙班			
	9 月	10 月	11 月	12 月	9 月	10 月	11 月	12 月	9 月	10 月	11 月	12 月
模糊评价	87.14	83.64	79.11	83.74	87.76	75.24	76.14	73.66	83.16	72.81	83.56	79.07
神经网络	—	—	82.82	85.47	—	—	71.47	70.79	—	—	82.47	83.55

进行判定。其优点是训练数据越多其准确性越高,减少了权重评价主观因素的作用;其缺点是不能对影响评价等级的不良因素进行判断。因此,当样本数据足够多,并且不需要指出影响评价等级的不良因素时,采用神经网络评价模型准确度更高;但如果需要对影响评价等级的不良因素进行排查时,则多因素模糊综合评价模型的应用更广泛。两种方法相结合,互相验证,对提高制丝工艺综合生产水平提供了科学、简洁的依据,对查找工艺质量、设备运行状态、生产消耗指标下的各项不良因素提供了支持。

参考文献

[1] 国家烟草专卖局. 卷烟工艺规范[S]. 北京: 中央文献出版社, 2003: 20-25.

[2] 国家烟草专卖局. 卷烟工艺规范[S]. 北京: 中央文献出版社, 2016: 30-35.

[3] 刘继辉, 许磊, 马晓龙, 等. 基于随机森林回归的制丝过程参数影响权重分析[J]. 烟草科技, 2017, 50(2): 63-71.

[4] 熊安言, 于建春, 王二彬, 等. 叶丝加料工序参数对加料效果的影响[J]. 烟草科技, 2016, 49(1): 66-71.

[5] 刘晓龙. 卷烟制造过程关键质量特性识别及实证研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2013: 20-25.

[6] 张涛, 苏明亮, 赵伟, 等. 制丝工艺参数对 9 种主流烟气成分释放量的影响[J]. 烟草科技, 2014(8): 32-37.

[7] 陶永峰, 张胜华, 李文璟, 等. Z 比分数—模糊 AHP 评价模型在卷烟成品实验室检测能力评价中的应用[J]. 烟草科技, 2015, 48(5): 85-89.

[8] 刘璇, 王沛, 毕金峰, 等. 基于层次分析法的晚熟品种苹果脆片品质评价[J]. 食品与机械, 2012, 28(5): 46-50.

[9] 杨纶标, 高英仪. 模糊数学原理及应用[M]. 广州: 华南理工大学出版社出版, 2006: 50-55.

[10] 胡永宏. 综合评价方法[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 60-65.

[11] 王小川, 史峰, 郁磊, 等. MATLAB 神经网络 43 个案例分析[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2011: 133-137.

[12] 曲玉琨, 张新征, 王章龙, 等. 火炮系统效能综合评价与指标无量纲化处理的研究[J]. 火炮发射与控制学报, 2007(3): 20-20.

(上接第 187 页)

[19] LI Sung-ling, WARD R, GAO Qun-yu. Effect of heat-moisture treatment on the formation and physicochemical properties of resistant starch from mung bean (Phaseolus radiatus) starch [J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(7): 1 702-1 709.

[20] ZAVAREZE E R, STORCK C R, DE CASTRO L A S, et al. Effect of heat-moisture treatment on rice starch of varying amylose content[J]. Food Chemistry, 2010, 121(2): 358-365.

[21] GUNARATNE A, HOOVER R. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches[J]. Carbohydrate Polymers, 2002, 49(4): 425-437.

[22] 罗志刚, 高群玉, 杨连生. 湿热处理对淀粉性质的影响[J]. 食品科学, 2003, 26(2): 50-54.

[23] 高群玉, 林志荣. 湿热处理玉米淀粉的溶胀和水解性质初探[J]. 中国粮油学报, 2007, 22(6): 27-30.

[24] ZAVAREZE E R, DIAS A R G. Impact of heat-moisture treatment and annealing in starch: A review[J]. Carbohydrate Polymers, 2011, 83(2): 317-328.

[25] 赵佳. 水—热处理对淀粉理化特性的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012: 25-26.

[26] 张民, 吴娜, 董家美, 等. 不同改性方法对大米淀粉理化性质及颗粒结构的影响[J]. 现代食品科技, 2013, 29(1): 19-23.

(上接第 203 页)

[16] 王中风, 韦田, 张敏, 等. 真空处理对酥梨渗透失水率和固形物增加率的影响[J]. 食品与机械, 2014, 30(2): 53-55, 59.

[17] 朱杰, 黄阿根, 杨振泉, 等. 黄秋葵热风干燥工艺研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(10): 189-193.

[18] 任亭, 程亚娇, 游玉明, 等. 干燥条件对熟化竹荪品质的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(8): 127-131.

[19] 赵金红, 袁越锦, 李淑英, 等. 芒果渗透脱水冻结的质量与热量传递模拟[J]. 农业机械学报, 2016, 45(12): 262-270.

[20] 尹晓峰, 杨明金, 张引航, 等. 辣椒渗透脱水处理及渗后热风干燥特性及品质分析[J]. 食品科学, 2017, 38(1): 27-34.

[21] 张黎黎, 武莉峰, 党鑫凯, 等. 鲜切高山野山药片微波间歇干燥特性研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(1): 39-44, 92.

[22] BI Jin-feng, YANG Ai-Jin, LIU Xuan, et al. Effects of pre-treatments on explosion puffing drying kinetics of apple chips [J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 60(2): 1 136-1 142.

[23] 杨晓童, 段续, 任广跃. 新型微波真空干燥机设计[J]. 食品与机械, 2017, 33(1): 93-96, 208.