湿热处理对马铃薯全粉品质的影响

闫巧珍，高瑞雄，张正茂，寇秀云，张建利，张芯蕊
（西北农林科技大学食品科学与工程学院，陕西杨凌 712100）

摘要：湿热处理马铃薯全粉，研究水分含量、时间和温度对马铃薯全粉微观结构、还原糖、结晶度、溶胀度、吸油性、冻融稳定性和糊化等品质指标的影响。结果表明：湿热处理使得马铃薯全粉的结晶度和溶解度升高；冻融稳定性、吸油性、膨胀度、峰值黏度、谷值黏度、最终黏度、崩解值、回生值和还原糖含量降低。当温度和时间一定，水分含量为30%时，溶解度和还原糖含量最高，峰值黏度、谷值黏度和最终黏度最低。当水分含量和温度一定时，不同时间对马铃薯全粉各品质指标的影响之间没有明显差异。当水分含量和时间一定，温度为110 ℃时，还原糖含量和溶解度最高。温度为120 ℃时，冻融稳定性、峰值黏度、谷值黏度、最终黏度、回生值和崩解值均最低。说明，湿热处理对马铃薯全粉的品质有显著影响(p<0.05)。

关键词：湿热处理；马铃薯全粉；品质
文章篇号：1673-9078(2017)4-264-270 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.4.040

Effect of Heat-moisture Treatment on the Quality of Potato Flakes

YAN Qiao-zhen, GAO Rui-xiong, ZHANG Zheng-mao, KOU Xiu-yun, ZHANG Jian-li, ZHANG Xin-rui
(College of Food Science and Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: Potato flakes were heat-moisture treated, and the effects of different moisture contents, times, and temperatures on the microstructure, crystal structure, content of reducing sugar, solubility, swelling power, oil-holding capacity, freeze-thaw stability, and paste properties were investigated. The results indicated that heat-moisture treatment increased the degree of crystallinity and solubility, but reduced swelling power, oil-holding capacity, freeze-thaw stability, peak viscosity, trough viscosity, final viscosity, breakdown value, setback value, and content of reducing sugar. When the temperature and time were constant and the moisture content was 30%, the solubility and content of reducing sugar reached the highest levels , but the peak viscosity, trough viscosity, and final viscosity reached the lowest levels. When the temperature and the moisture content were constant, there were no significant differences between the effects of different times on the quality indicators of potato flakes. The maximum reducing sugar content and solubility were reached when the moisture content and time were constant and the temperature was 110 ℃. When the temperature was 120 ℃, freeze-thaw stability, peak viscosity, trough viscosity, final viscosity, breakdown value, and setback value reached their lowest levels. Therefore, heat-moisture treatment significantly affects the quality of potato flakes (p<0.05).

Key words: heat-moisture treatment; potato flakes; quality

马铃薯(*Solanumtubersum L*)属茄科茄属一年生草本块茎植物，是全球第四大主要粮食作物。马铃薯富含淀粉、纤维素、矿物质和维生素等多种营养物质。从营养角度来看，比大米、面粉具有更多的优点。食用后不仅能给机体提供热量，而且低脂肪，高膳食纤维，能增强饱腹感，具有减肥的功效。因此，马铃薯被称为“十全十美”的食物。马铃薯全粉是以新鲜马铃薯为原料，经清洗、去皮、挑选、切片、漂洗、预煮、冷却、蒸煮和捣泥等工艺过程，经脱水干燥而得的细颗粒状、片屑状或粉末状产品[1]。马铃薯全粉含有鲜薯的全部营养物质，具有营养全面且易于贮存和运输的特点。

湿热处理指在低水分含量(≤35%)、较高温度下(>糊化温度)对样品进行改性的一种物理方法[2]。由于湿热处理的效率和安全性高，在食品行业广泛应用。

马铃薯全粉具有良好的消化性，可以很容易被人体消化吸收。但是基于营养特性和保健作用出发，我们希望其消化速率降低，使其在小肠内部分消化或完全不消化，典型的改性方式就是湿热处理。目前，国内外已有许多关于碳水化合物湿热处理产物特性的研究。黄立新研究发现，面粉经过酸湿热处理后的作用产物，蛋白质含量减少，起糊温度升高，峰值黏度降

收稿日期：2016-05-05
基金项目：陕西省科技统筹计划项目（2014KTZB02-01-01）
作者简介：闫巧珍（1990-），女，在读硕士研究生，主要从事粮油品质分析与加工研究
通讯作者：张正茂（1961-），男，研究员，主要从事小麦遗传育种与粮油加工研究

低，体外消化速率减慢[3]；巩敏研究发现湿热处理后小米粉的糊化温度升高，峰值黏度，衰减值和回生值均降低，凝胶硬度和咀嚼性提高[4]；Nguyen Thi Lan Phi 研究发现经酸湿热处理，大米淀粉的溶解度、抗性淀粉和慢消化淀粉含量升高，膨胀度和黏度降低[5]。Xu Chen 等研究发现湿热处理后，小麦粉的峰值黏度、糊化温度、抗性淀粉和慢消化淀粉含量均升高[6]。本试验通过建立体外消化模型，研究湿热处理对马铃薯全粉品质的影响，以期为马铃薯主粮化产品开发战略和马铃薯全粉工业化生产提供参数和理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料

马铃薯颗粒全粉（克新一号）甘肃正阳农业科技股份有限公司；其它试剂均为分析纯。

1.2 仪器

UV-1780 分光光度计，日本岛津公司；RVA-TM 型快速黏度分析仪，瑞典波通公司；扫描电子显微镜，日本日立公司；X 射线衍射仪，日本理学公司；高速离心机，安徽中科中佳科学仪器有限公司；SHA-B 恒温振荡器，常州朗越仪器制造有限公司；电陶炉，广州顺德忠臣电器有限公司；鼓风干燥箱，天津市泰斯特仪器有限公司；K12A 自动定氮仪，上海晟声自动化分析仪器有限公司；电子天平，丹佛仪器（北京）有限公司。

1.3 方法

1.3.1 湿热处理

称取一定量的马铃薯全粉，用蒸馏水调节水分含量分别为 25、30、35%，放入 250 mL 星蓝盖螺口玻璃瓶，封口平衡水分 24 h。水分平衡后，将带盖玻璃瓶置于温度为 100、110、120、130 ℃恒温干燥箱中 1、2、3、4、5 h。湿热处理结束后，于 40 ℃恒温鼓风干燥箱中烘干，磨粉，过 100 目筛，于室温干燥保存，待用。

1.3.2 马铃薯全粉基本成分测定

水分含量：参考 GB 5009.3-2010 直接干燥法测定；灰分：参考 GB 5009.4-2010 灼烧法测定；蛋白质：参考 GB 5009.5-2010 凯氏定氮法测定；脂肪：参考 GB 5009.6-2003 酸水解法测定；淀粉：参考 GB/T 5009.9-2008 酸水解法；膳食纤维：参考 GB 5009.88-2008《食品中膳食纤维的测定》；维生素 C 含量的测定：参考 2,6-二氯酚靛酚法。

1.3.3 还原糖含量测定

参考刘芳的方法[7]。

1.3.4 扫描电镜观察

参考高群玉的方法[8]。

1.3.5 X-衍射分析

采用 X 射线衍射仪测定结晶特性。测试条件为：特征射线 CuKα，管压为 40 kV，电流 100 mA，扫描速率 4 °/min，测量角度 2θ=5~60 °，步长为 0.02 °，发散狭缝为 1 °，防发散狭缝为 1 °，接收狭缝为 0.16 mm[9]。

1.3.6 溶胀度测定

参考姚映西的方法[10]。

1.3.7 持油性测定

参考上官佳的方法[11]。

1.3.8 冻融稳定性测定

参考陈佩的方法[12]。

1.3.9 糊化特性测定

参考黄峻榕的方法[13]。

1.4 数据处理

采用 Origin 8 作图和 SPSS 17.0 进行数据处理。

2 结果与讨论

2.1 马铃薯全粉的基本成分

由表 1 可以看出马铃薯全粉的主要成分是淀粉，其次是蛋白、水分和纤维素。马铃薯全粉含有少量的维生素 C 和脂肪。可见马铃薯全粉营养丰富，且具有高蛋白、高纤维和低脂肪的特点，可以作为良好的保健食品原料[17]。

表 1 马铃薯全粉的基本成分

Table 1 Basic ingredients of potato flakes

项目	含量/%						
	水分	脂肪	蛋白	淀粉	纤维素	灰分	维生素 C
马铃薯全粉	6.48±01.02	1.02±0.56	9.42±1.54	77.43±5.21	3.25±0.78	1.88±0.46	0.081±0.002

2.2 湿热处理对马铃薯全粉微观结构的影响

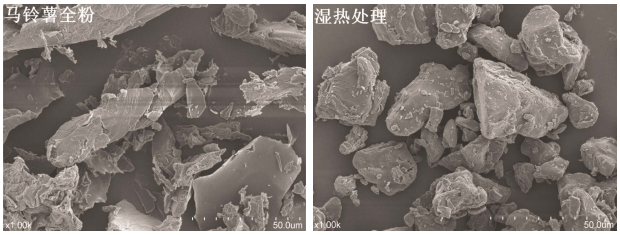


图 1 湿热处理对马铃薯全粉微观结构的影响

Fig.1 Effect of heat-moisture treatment on the microstructure of potato flakes (SEM, 1000×)

由图 1 可以看出，原马铃薯全粉呈块段、碎片和絮状，薄层表面光滑或呈现明显裂纹，在视野中无完整淀粉颗粒存在。经湿热处理（水分含量 35%，温度 120 ℃，时间 3 h）马铃薯全粉的明显片层和棱角消失，表面出现褶皱，并覆盖许多小片层，有明显的黏结现象出现。这可能是由于湿热中水分从马铃薯全粉中心向表面迁移，表面的大量水分在热能作用下使马铃薯全粉的表面发生糊化，黏度增大，导致黏结现象出现。

2.3 湿热处理对马铃薯全粉晶体结构的影响

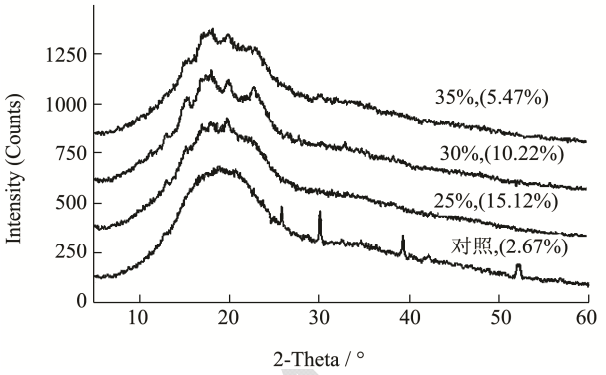


图 2 湿热处理对马铃薯全粉晶体结构的影响

Fig.2 Effect of heat-moisture treatment on the crystal structure of potato flakes

湿热处理对马铃薯全粉晶体结构的影响如图 2 所示。对照为未经处理的马铃薯全粉。样品处理条件为：温度 120 ℃，时间 3 h。

由图 2 可以看出，湿热处理使得马铃薯全粉的吸收峰宽和峰型明显改变。相较于对照，25 °以后出现的尖峰消失，但是小于 25 °有明显出峰。并且随着水分含量的升高，峰的尖锐程度的到加强和弥散。说明湿热处理使得马铃薯全粉在部分结晶结构解体的同时形成新的结晶结构。同时，结晶度随着水分含量的升高而降低。这可能是由淀粉分子链的断裂，导致结晶结构的破坏；小分子重新排列，形成新的结晶区域。

2.4 湿热处理对马铃薯全粉还原糖含量的影响

还原糖含量是马铃薯全粉重要的品质指标之一，国内马铃薯全粉行业规定其还原糖含量应≤4.0%，这是由于高还原糖含量的全粉易发生褐变反应，从而影响产品色泽。湿热处理对马铃薯全粉还原糖含量的影响如图 3 所示。

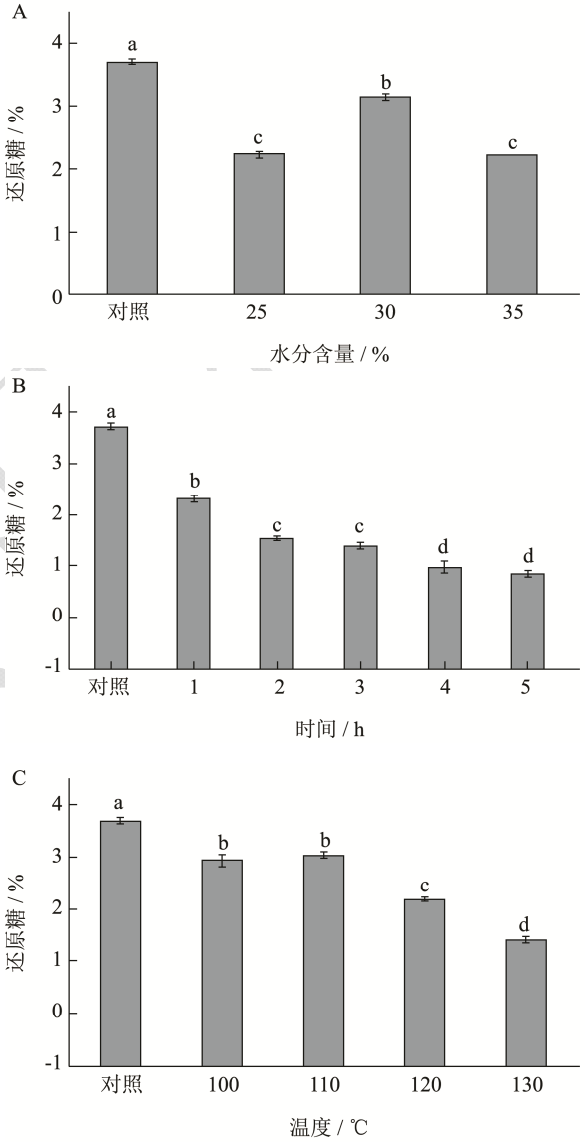


图 3 湿热处理对马铃薯全粉还原糖含量的影响

Fig.3 Effect of heat-moisture treatment on the reducing sugar content of potato flakes

注：A 表示温度 120 ℃，时间 3 h；B 表示水分含量 35%，温度 120 ℃；C 表示水分含量 35%，时间 3 h。图中小写字母相同表示两者差异不显著(p>0.05)，不同表示差异显著(p<0.05)。大写字母表示图序号。下同。

如图 3 所示，随着水分含量和温度的升高，马铃薯全粉中的还原糖含量先升高后降低，但均显著低于对照。随着时间的延长，马铃薯全粉中的还原糖含量随之降低。这可能是由于湿热条件下，水分从淀粉中心向表面移动，使得淀粉表面的水分含量增大，使得淀粉分子间发生黏结[18]，将游离的还原糖包裹在黏结组织中，使其难以溢出，从而使得其含量降低。还原糖含量随水分含量和温度的升高而先升高后降低，可能是因为湿热处理使马铃薯全粉中支链淀粉的非还原末端转变为还原末端，并且发生断裂从而使还原糖含量升高。但是过高的温度和水分条件下，不同链长淀粉间的作用进一步加强，使游离的还原糖难以溢出，从而含量降低。可以看出，湿热处理可以降低马铃薯全粉的还原糖含量，提高其品质。

2.5 湿热处理对马铃薯全粉吸油性和冻融稳定性的影响

吸油性对食品的配方设计有一定的参考意义。一般来说，吸油性高则食品原料可以吸收大量油脂，在配方中可用作高油食品的原料。冻融稳定性是淀粉类食品的重要性质，在冷冻食品中往往要求加入冻融稳定性良好的淀粉原料。冻融析水率可以反映淀粉类食物在冷加工或贮存食品中的稳定性，冻融析水率低，说明低温稳定性好。湿热处理对马铃薯全粉吸油性和冻融稳定性的影响如图 4 所示。

如图 4 所示，随着水分含量升高和时间的延长，马铃薯全粉的析水率升高，冻融稳定性变差。随着温度的升高，马铃薯全粉的析水率先升高后降低，在 120 ℃时达最高，130 ℃时达最低，但均高于对照。这是可能是由于湿热处理使得全粉中淀粉的部分糖苷键断裂，短链淀粉分子增多。短链淀粉重新排列和缔合形成高强度的凝胶结构，在降低温度的过程中容易发生脱水收缩，使得冻融稳定性变差[19]。水分含量越高和时间越长，这种破坏作用越大，故冻融稳定性越差。然而过高温度下，高能量蒸汽分子开始破坏新形成的稳定结构，使其与水分子间的作用加强，使糊在较低温度下仍可保持较好的稳定性。综上可以得出，较低水分含量和较高温度条件下可以得到冻融稳定性较好的马铃薯全粉，这与孙新涛的研究报道一致[20]。随着水分含量、温度的升高和时间的延长，马铃薯全粉的吸油性显著降低，但不同水分含量、不同温度和不同时间之间没有显著差异（p<0.05）。这可能是因为马铃薯全粉在生产过程中已经发生部分糊化作用，后续的湿热处理使得全部蛋白质变性的和部分淀粉形成复合物包裹在淀粉表面[6]，使得油脂与淀粉的接触面积减小，故吸油性降低。

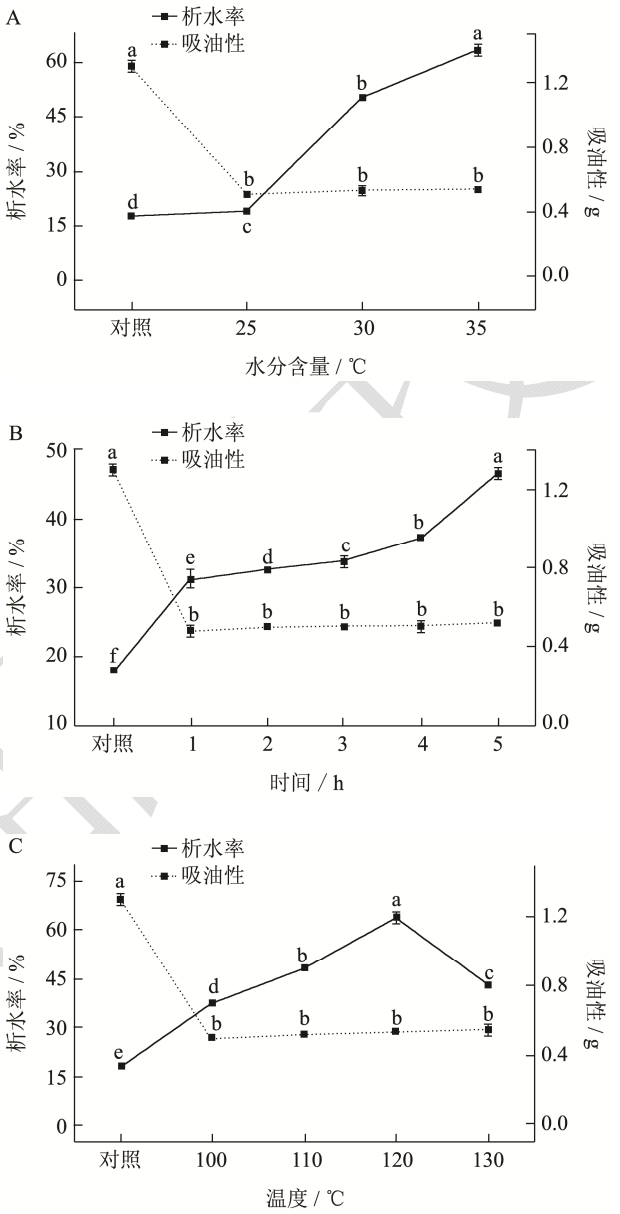


图 4 湿热处理对马铃薯全粉吸油性和冻融稳定性的影响

Fig.4 Effect of heat-moisture treatment on the oil-holding capacity and freeze-thaw stability of potato flakes

注：A 表示温度 120 ℃，时间 3 h；B 表示水分含量 35%，温度 120 ℃；C 表示水分含量 35%，时间 3 h。

2.6 湿热处理对马铃薯全粉溶胀度的影响

溶解度和膨胀度反映淀粉与水之间相互作用的大小。膨胀度是指一定温度下样品在过量的水中加热时，单位干样品吸收水的质量，是淀粉类食物水合能力的量度。溶解度是指在一定温度下，样品分子的溶解质量百分数[21]。湿热处理对马铃薯全粉溶胀度的影响如图 5 所示。

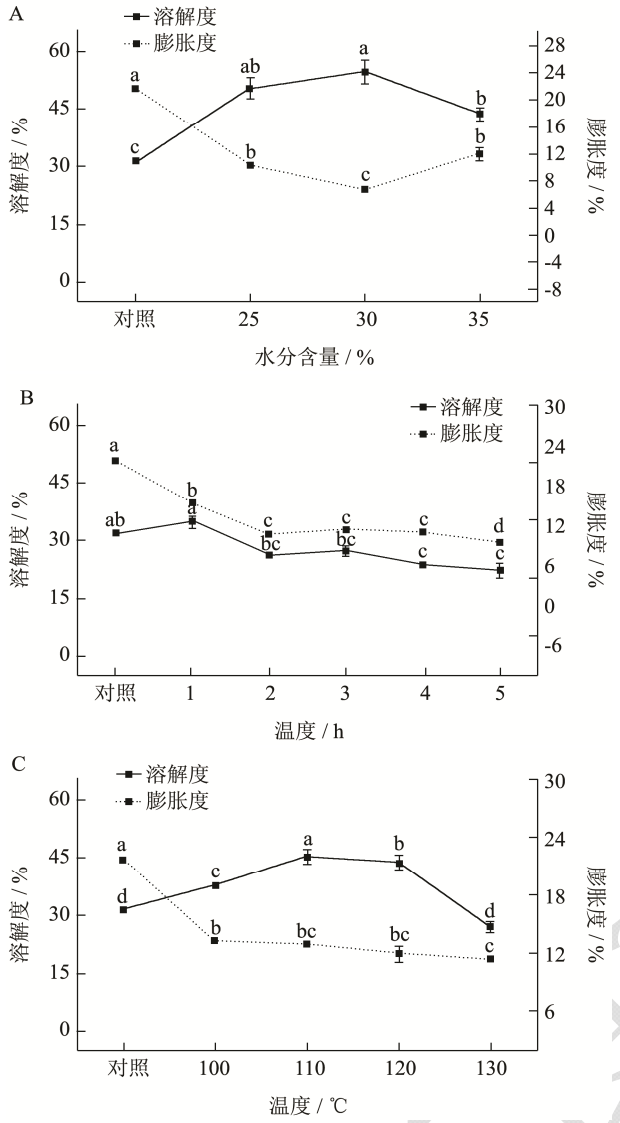


图 5 湿热处理对马铃薯全粉溶胀度的影响

Fig.5 Effect of heat-moisture treatment on the solubility and swelling power of potato flakes

注：A 表示温度 120 ℃，时间 3 h；B 表示水分含量 35%，温度 120 ℃；C 表示水分含量 35%，时间 3 h。

如图 5 所示，随着水分含量和温度的升高，马铃薯全粉溶解度先升高后降低。随着时间的延长，马铃薯全粉的溶解度随之降低。这可能是因为湿热处理使得马铃薯全粉中的支链淀粉进一步断裂，短链分子增多，使得水分子与全粉间的相互作用加强，从而使得溶解度升高。随着水分含量和温度的进一步升高，短链分子发生重排，使得分子间作用加强，与水分子间作用减弱，从而导致溶解度降低，时间越长，分子间作用越强，故溶解度越低。

随着水分含量的升高，马铃薯全粉的膨胀度先降低后升高。这与陈佩的研究报道一致[12]。这可能是由于湿热处理过程中，马铃薯全粉中的淀粉链发生断裂，随着水分含量的升高短链淀粉含量升高，短链分子发生重排，形成稳定的结晶结构，抑制膨胀，故膨胀度先降低；当水分含量过高时，蒸汽和热能使得新形成的结晶区被破坏为不定形区，由于膨胀是从不定形区开始的，所以膨胀度又升高。

随着时间的延长和温度的升高，马铃薯全粉的膨胀度随之降低。这可能是由于长时间和高温使得短链分子与脂肪、变性蛋白质等物质发生交联，形成淀粉-脂肪和淀粉-变性蛋白质等抑制膨胀的物质，时间越长和温度越高，这种作用越强，从而膨胀度越低。

2.7 湿热处理对马铃薯全粉糊化特性的影响

峰值黏度表示样品结合水的能力和反映黏滞性的强弱。峰值黏度高，说明黏滞性强。崩解值反映热糊稳定性，崩解值大，说明热糊稳定性差。回生值反映冷糊稳定性，回生值低，说明冷糊稳定性好，老化速度慢。水分含量对马铃薯全粉糊化特性的影响如表 2 所示。对照为未经处理的马铃薯全粉。样品处理条件为：温度 120 ℃，时间 3 h。

表 2 水分含量对马铃薯全粉糊化特性的影响

Table 2 Effect of heat-moisture moisture on the gelatinization properties of potato flakes

水分含量/%	峰值粘度/(mPa·s)	谷值粘度/(mPa·s)	崩解值/(mPa·s)	最终黏度/(mPa·s)	回生值/(mPa·s)
对照	2147.00±23.65^{a}	1128.00±22.98^{a}	1019.00±11.45^{a}	1922.00±12.68^{a}	794.00±5.87^{a}
25	95.00±7.35^{c}	92.00±3.25^{c}	3.00±0.56^{c}	133.00±3.98^{c}	41.00±2.38^{c}
30	51.00±5.58^{d}	48.00±2.46^{d}	3.00±0.98^{c}	63.00±1.92^{d}	15.00±1.54^{d}
35	260.00±4.26^{b}	248.00±12.03^{b}	12.00±2.24^{b}	369.00±12.55^{b}	121.00±10.32^{b}

注：同列数据，字母相同表示两者差异不显著(p>0.05)，不同表示差异显著(p<0.05)。下同。

从表 2 可以看出，随着水分含量的升高，马铃薯全粉的峰值黏度、谷值黏度、崩解值、最终黏度和回生值均先降低后升高，且各指标均低于对照。峰值黏度先降低可能是由全粉中的淀粉分子链变小所致[3]。在高水分含量黏度值升高是因为在热能和水气作用下，短链淀粉分子之间以及与其他分子之间发生重排和相互作用[4]。崩解值和回生值的变化，说明湿热处理可以明显改善马铃薯全粉的热糊稳定性和冷糊稳定性。时间对马铃薯全粉糊化特性的影响如表 3 所示。对照为未经处理的马铃薯全粉。样品处理条件为：温

度 120 ℃，水分含量为 35%。

表 3 时间对马铃薯全粉糊化特性的影响

Table 3 Effect of heat-moisture treatment time on the gelatinization properties of potato flakes

时间/h	峰值粘度/(mPa·s)	谷值粘度/(mPa·s)	崩解值/(mPa·s)	最终黏度/(mPa·s)	回生值/(mPa·s)
对照	2147.00±23.65^{a}	1128.00±22.98^{a}	1019.00±11.45^{a}	1922.00±12.68^{a}	794.00±5.87^{a}
1	1307.00±14.05^{b}	1268.00±12.79^{a}	39.00±1.48^{e}	1629.00±13.57^{b}	361.00±12.89^{e}
2	586.00±12.64^{c}	496.00±9.53^{c}	90.00±3.56^{c}	919.00±11.68^{c}	423.00±13.72^{d}
3	548.00±12.88^{d}	442.00±8.67^{d}	106.00±6.25^{b}	922.00±13.21^{c}	580.00±23.05^{b}
4	520.00±10.36^{e}	429.00±6.58^{e}	91.00±2.75^{c}	891.00±13.52^{d}	462.00±12.94^{c}
5	292.00±7.19^{f}	234.00±4.03^{f}	58.00±1.23^{d}	548.00±15.01^{e}	314.00±13.57^{f}

由表 3 可以看出，随着时间的延长，马铃薯全粉的峰值黏度、谷值黏度和最终黏度随之降低；崩解值和回生值先升高后降低，且各指标均低于对照。黏度的降低可能和高温使得淀粉的结晶结构破坏有关。这与孙新涛和刘琳[22]等研究结果一致。崩解值和回生值的改变，说明湿热处理使得马铃薯全粉的冷热糊稳定性先降低后升高。可见，适当的湿热处理条件可以显著改善马铃薯全粉的糊化特性。

温度对马铃薯全粉糊化特性的影响如表 4 所示。对照为未经处理的马铃薯全粉。样品处理条件为：水分含量为 35%，时间 3 h。

表 4 温度对马铃薯全粉糊化特性的影响

Table 4 Effect of heat-moisture treatment temperature on the gelatinization properties of potato flakes

温度/℃	峰值粘度/(mPa·s)	谷值粘度/(mPa·s)	崩解值/(mPa·s)	最终黏度/(mPa·s)	回生值/(mPa·s)
对照	2147.00±23.65^{a}	1128.00±22.98^{a}	1019.00±11.45^{a}	1922.00±12.68^{a}	794.00±5.87^{a}
100	500.00±9.86^{c}	479.00±13.12^{c}	21.00±3.98^{c}	648.00±12.56^{c}	169.00±9.51^{c}
110	262.00±10.99^{d}	259.00±11.24^{d}	3.00±0.07^{e}	360.00±7.18^{e}	101.00±11.11^{e}
120	260.00±8.14^{d}	248.00±6.15^{e}	12.00±3.78^{d}	369.00±9.98^{d}	121.00±9.84^{d}
130	848.00±12.56^{b}	742.00±12.34^{b}	106.00±7.14^{b}	1322.00±13.28^{b}	580.00±23.18^{b}

从表 4 可以看出，随着温度的升高，马铃薯全粉的峰值黏度、谷值黏度、崩解值、最终黏度和回生值均先降低后升高，且各指标均低于对照。低温区，随着温度的升高，黏度的降低与结晶结构和结晶度的改变具有一致性。高温区，黏度的升高，可能是由高温水汽使得淀粉颗粒及其他成分之间发生黏结导致。可见，温度对马铃薯全粉的糊化特性有重要影响。

3 结论

3.1 湿热处理使得马铃薯全粉的结晶度和溶解度升高；冻融稳定性、吸油性、膨胀度、峰值黏度、谷值黏度、最终黏度、崩解值、回生值和还原糖含量降低。

3.2 水分含量、时间和温度对全粉结晶度、还原糖含量、溶解度、膨胀度、冻融稳定性、峰值黏度、谷值黏度、最终黏度、崩解值和回生值的影响均与湿热处理过程中晶体结构的改变相关。不同水分含量、不同时间和不同温度的吸油性之间没有显著差异可能与湿热处理使得全粉发生黏结从而导致表面积减小有关。

3.3 可见，湿热处理对马铃薯全粉的品质具有显著影响(p<0.05)。

参考文献

[1] 吴卫国,谭兴和,熊兴耀,等.不同工艺和马铃薯品种对马铃薯颗粒全粉品质的影响[J].中国粮油学报,2006,21(6):98-102
WU Wei-guo, TAN Xing-he, XIONG Xing-yao, et al. Processing technology and potato varieties vs property of potato granules [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2006, 21(6): 98-102

[2] 赵凯.淀粉非化学改性技术[M].北京:化学工业出版社,2009
ZHAO Kai. Non-chemically modified starch technology [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2009

[3] 黄立新,张欣欣,吴小员,等.酸湿热处理小麦面粉的性质及酶解动力学研究[J].现代食品科技,2013, 29(6):1202-1206
HUANG Li-xin, ZHANG Xin-xin, WU Xiao-yuan, et al. Effect of acid & heat-moisture treatment on properties and enzymatic kinetics of wheat flour [J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(6): 1202-1206

[4] 巩敏,郭丽萍,李颖.湿热处理对不同水分含量小米粉性质的影响[J].食品科技,2014,39(5):151-155

GONG Min, GUO Li-ping, LI Ying. The effects of heat-moisture treatment on the properties of millet flour with different water content [J]. Food Science and Technology, 2014, 39(5): 151-155

[5] Nguyen Thi Lan Phi. Resistant starch improvment of rice starches under a combination of acid and heat-moisture treatment [J]. Food Chemistry, 2016, 191: 67-73

[6] Xu Chen, Xiao-wei He, Xiong Fu. *In vitro* digestion and physicochemical properties of wheat starch/flour modified by heat-moisture treatment [J]. Journal of Cereal Science, 2015, 63: 109-115

[7] 刘芳.红小豆-粳米碳水化合物消化特性的研究[D].北京:中国农业大学,2006
LIU Fang. Research about the digestion rate of carbohydrate of a starchy bean and rice [D]. Beijing: China Agricultural University, 2006

[8] 高群玉,叶营,王琳,等.湿热处理对不同晶型淀粉理化性质及消化性的影响[J].现代食品科技,2015,3:60-65
GAO Qun-yu, YE Ying, WANG Lin, et al. Effect of heat-moisture treatment on the physicochemical properties and digestibility of starches with different crystal structures [J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 3: 60-65

[9] 王凯,高群玉.木薯淀粉与黄原胶共混干热改性研究[J].食品工业科技,2011,32(7):75-78
WANG Kai, GAO Qun-yu. Study on dry heating treatment of starch and xanthan blend [J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 32(7): 75-78

[10] 姚映西,吴卫国.湿热改性处理对大米粉性质影响[J].粮食与油脂,2016,2:60-64
YAO Ying-xi, WU Wei-guo. Effects of heat-moisture treatment on the properties of rice flour [J]. Cereals & Oils, 2016, 2: 60-64

[11] 上官佳,吴卫国,傅冬和,等.不同加工工艺制备葛根全粉的成分和特性研究[J].食品科学,2013,34(5):36-41
SHANGGUAN Jia, WU Wei-guo, FU Dong-he, et al. Chemical composition and functional properties of pueraria powder made by different technologies [J]. Food Science, 2013, 34(5): 36-41

[12] 陈佩,张晓,赵冰,等.湿热处理对糯小麦淀粉理化性质的影响[J].华南农业大学学报,2015,36(2):85-89
CHEN Pei, ZHANG Xiao, ZHAO Bing, et al. Effect of heat-moisture treatment on the physicochemical properties of waxy wheat starch [J]. Journal of South China Agricultural University, 2015, 36(2): 85-89

[13] 黄峻榕,张佩,李宏梁.淀粉的不同糊化方法[J].食品科技,2008,33(9):20-23
HUANG Jun-rong, ZHANG Pei, LI Hong-liang. Different ways of starch gelatinization [J]. Food Science and Technology, 2008, 33(9): 20-23

[14] Hans N, Englyst, Geoffrey J, Hudson. The classification and measurement of dietary. carbohydrates [J]. Food Chemistry, 1996, 57(1): 15-21

[15] 张欣欣.酸湿热处理面粉的消化特性及酶解动力学研究[D].广州:华南理工大学,2013
ZHANG Xin-xin. Studies on digestibility properties and enzymatic kinetics of wheat flour treated by acid & heat-moisture [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2013

[16] I S M Zaidul, N Absar. DSC study of mixtures of wheat flour and potato, sweet potato, cassava, and yam starches [J]. Food Engineering, 2008, 86: 68-73

[17] 侯飞娜,木泰华,孙红男,等.不同品种马铃薯全粉蛋白质营养品质评价[J].食品科技,2015,40(3):49-56
HOU Fei-na, MU Tai-hua, SUN Hong-nan, et al. Evaluation of the protein nutrition quality of potato flours from different cultivars [J]. Food Science and Technology, 2015, 40(3): 49-56

[18] 汪树生,杨秋实,苏玉春,等.湿热处理对小麦淀粉结构和性质影响[J].粮食与油脂,2012,10:22-24
WANG Shu-sheng, YANG Qiu-shi, SU Yu-chun, et al. Effect of heat-moisture treatment on structure and properties of wheat starch [J]. Cereals & Oils, 2012, 10: 22-24

[19] 张守文,赵凯,杨春华,等.热处理对不同淀粉糊性质的影响研究[J].中国食品学报,2015,5(4):87-90
ZHANG Shou-wen, ZHAO Kai, YANG Chun-hua, et al. Effect of autoclaving treatment on the paste properties of different starches [J]. Joumal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2015, 5(4): 87-90

[20] 孙新涛,董强,郑晓莹,等.湿热处理对鹰嘴豆淀粉理化性质的影响[J].西北农业学报,2013,22(7):78-83
SUN Xin-tao, DONG Qiang, ZHENG Xiao-ying, et al. Effect of heat-moisture treatment on physicochemical properties of chickpea starch [J]. Acta Agriculturae Boreali occidentalis Sinica, 2013, 22(7): 78-83

[21] 赵凯.淀粉非化学改性技术[M].北京:化学工业出版社,2009
ZHAO Kai. Non-chemically modified starch technology [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2009

[22] 刘琳,刘翀,李利民,等.湿热处理对损伤淀粉理化性质的影响研究[J].粮食与饲料工业,2014,12(9):36-40
LIU-Lin, LIU Chong, LI Li-min, et al. Physicochemical

property of damage starch by heat-moisture treatment [J]. Cereal and Feed Industry, 2014, 12(9): 36-40

现代食品科技