

7种不同品牌粉条明矾含量与耐水煮性分析

蒋荣霞¹, 杨璐¹, 连喜军^{1*}, 王雪青¹, 康海岐²

(1. 天津商业大学生物技术与食品科学学院, 天津市食品生物技术重点实验室, 天津 300134;

2. 四川省农业科学院作物研究所, 成都 610066)

摘要: 目的 分析7种不同品牌粉条的明矾含量与耐水煮性。**方法** 采用国标法测定了市场中7种不同粉条的明矾含量, 采用断条率和耐水煮时间2个指标评价了粉条的耐水煮性。采用红外、X射线和差热方法分析了耐水煮粉条的特性。**结果** 7种粉条耐水煮性由高到低为: 双塔马铃薯粉条>龙须红薯粉条>天豫红薯粉条>龙大龙口绿豆粉条>六六顺龙口绿豆粉条>升林红薯粉条>富昌龙口绿豆粉条, 水煮时间长短更能精确反映粉条耐水煮性。7种粉条明矾含量由高到低为: 天豫红薯粉条>升林红薯粉条>龙须红薯粉条>龙大龙口绿豆粉条>双塔马铃薯粉条>六六顺龙口绿豆粉条≈富昌龙口绿豆粉条。**结论** 明矾添加可以提高粉条的耐水煮性。要生产耐水煮无明矾添加粉条一定要选择容易溶胀的淀粉, 采用能加速淀粉回生重结晶的糊化工艺。

关键词: 甘薯粉条; 绿豆粉条; 马铃薯粉条; 明矾; 耐水煮性

Analysis of alum content and resistant water boiling of 7 different brands of starchy noodles

JIANG Rong-Xia¹, YANG Lu¹, LIAN Xi-Jun^{1*}, WANG Xue-Qing¹, KANG Hai-Qi²

(1. Tianjin Key Laboratory of Food Biotechnology, School of Biotechnology and Food Science, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China; 2. Crops Research Institute, Sichuan Academy of Agricultural Science, Chengdu 610066, China)

ABSTRACT: Objective To analyze the alum content and resistant water boiling of 7 different brands of starchy noodles. **Methods** The alum content in 7 different kinds of noodles in the market were determined by standard method, and the water resistance of the noodles were evaluated by 2 indexes: broken strip rate and boiling time resistance. The characteristics of the water-resistant boiled powder strips were analyzed by infrared, X-ray and differential thermal methods. **Results** The sequence of water boiling-tolerance of 7 starchy noodles was: Double-tower>Longxu>Tianyu>Longda>Liuliushun>Shenglin>Fuchang, and the time for water-boiling was more suitable standard for determining water-boiling-tolerance of starchy noodles. The sequence of alum content of 7 starchy noodles was: Tianyu>Shenglin>Longxu>Longda>Double-tower>Liuliushun≈Fuchang. **Conclusion** The

基金项目: 国家自然科学基金项目(31571834, 31871811)、天津市科技重大专项与工程(一二三产业融合发展科技示范工程)(18ZXYENC00080)、天津市自然科学基金重点项目(18JCZDJC98200)、四川省应用基础研究项目(2016JY0013)、天津市高等学校创新团队项目(TD13-5087)

Fund: Supported by National Natural Science Foundation of China (31571834, 31871811), Tianjin Science and Technology Major Project and Engineering (Technology Demonstration Project for the Integration of Development of the First and Third Industries) (18ZXYENC00080), Tianjin Natural Science Foundation Key Project (18JCZDJC98200), Sichuan Province Applied Foundation Research Project (2016JY0013) and Tianjin University Innovation Team Project (TD13-5087)

***通讯作者:** 连喜军, 博士, 副教授, 主要研究方向为回生淀粉。E-mail: lianliu2002@163.com

***Corresponding author:** LIAN Xi-Jun, Ph.D, Associate Professor, Tianjin Key Laboratory of Food Biotechnology, School of Biotechnology and Food Science, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China. E-mail: lianliu2002@163.com

addition of alum can improve the boiling resistance of the starchy noodles. In order to produce water-resistant boiled noodles, it is necessary to select a starch that is easy to swell, and a gelatinization process that accelerates the recrystallization of starch.

KEY WORDS: sweet potato starch noodle; mung bean starch noodle; potato starch noodle; alum; resistance of water boiling

1 引言

粉条是我国居民喜爱的一种特色传统食品, 主要有甘薯粉条、绿豆粉条和马铃薯粉条。粉条制作的本质是利用具有较大聚合度的直链淀粉糊化后易于老化形成具有良好弹性和韧性热不可逆凝胶体的原理制成的一种淀粉产品^[1]。

目前, 制作粉条的原料主要有豆类淀粉和薯类淀粉, 豆类淀粉中较大聚合度的直链淀粉含量高, 是加工粉条的最佳原料, 加工时无需使用任何添加剂就能得到口感细腻爽滑、弹性及韧性上佳、久煮不烂的产品。薯类淀粉直链淀粉含量稍低, 老化后不能形成强的凝胶体, 制作粉条时须添加一定量的老化增强剂明矾才能获得弹性和韧性俱佳的产品^[2]。由于明矾水解后形成的氢氧化铝胶体既能与淀粉分子之间产生很强的静电作用, 促进淀粉分子形成坚实的凝胶体, 还能吸附淀粉中影响淀粉凝胶体形成的小分子物质, 因此可显著提高甘薯粉条、粉丝的质量, 使其不易断条和糊汤^[3,4]。耐水煮性是影响粉条应用的主要特性之一, 特别对于火锅食料, 不耐水煮粉条在沸水中很快变粘、断条, 最后全部溶于汤中, 使火锅汤粘度增大, 口感变差。为了改善粉条耐水煮性, 科研人员开展了大量研究。余树玺等^[5]研究了卢选 1 号、徐薯 22、冀薯 65 和冀薯 98 等 4 种不同淀粉型甘薯成分和物化特性与粉条品质间的相关性发现, 卢选 1 号的粉条品质优于其他 3 个品种的粉条。廖卢艳等^[6]采用乳酸菌发酵、乳酸处理和湿热处理 3 种方式对红薯淀粉进行改性后制作粉条后发现, 湿热处理淀粉所制粉条的断条率比原淀粉降低 50%, 硬度也由原来的 2437 g 增加至 3022 g, 粉条的拉伸强度由原来的 80g 增加到 163.9g。随后该课题组对湿热处理改善红薯粉条品质的优化工艺研究进行了深入研究^[7]。在无明显矾添加粉条研究方面, 范会平等^[8]研究了冷冻工艺对无铝红薯粉条品质的影响, 其他研究人员采用添加细菌纤维素、响应面法、老化工艺等制备无明显矾添加粉条工艺^[9-12]。这些研究为开发无明显矾添加粉条提供了参考思路, 但对市场上正在销售的粉条产品研究极少。本文选取 7 种粉条为研究对象, 测定了不同产品明矾含量和耐水煮性质, 利用红外、X-射线衍射、差示扫描量热分析了不同产品耐水煮性质差异原因, 以期分析添加明矾影响产品耐水煮性质的原因。

2 材料与方法

2.1 材料与仪器

天豫红薯粉条: 河南天豫薯业股份有限公司(生产日期: 2018.09.09, 购于天豫官方旗舰店); 龙大龙口绿豆粉条: 龙大食品集团有限公司(生产日期: 2018.08.04, 购于莱阳绿色大厨房店); 升林红薯粉条: 江苏建星现代农业综合开发有限公司(生产日期: 2018.09.03, 购于天津市南开区家乐福海光寺店); 龙须红薯粉条: 龙口龙须粉丝有限公司(生产日期: 2018.10.04, 购于天津市南开区家乐福海光寺店); 富昌龙口绿豆粉条: 招远三嘉粉丝蛋白有限公司(生产日期: 2018.05.01, 购于天猫富昌旗舰店); 六六顺龙口绿豆粉条: 山东六六顺食品有限公司; 双塔马铃薯粉条: 烟台双塔食品股份有限公司(生产日期: 2018.08.01, 购于天津市南开区家乐福海光寺店)。

YXQG02 手提式电热压力蒸汽消毒器(山东安德医疗科技有限公司); DH-101-3BS 电热恒温鼓风干燥箱(天津市中环实验电炉有限公司); BCD-229KB 海尔冰箱(青岛海尔股份有限公司); L535-1 离心沉淀机(湖南湘仪离心机仪器有限公司); Bio-Rad FES135 红外分光光度计(美国 Bio-Rad 公司); UV-2450/2550 紫外可见分光光度计(岛津); DSC204C 型差示扫描量热分析仪(德国 Netzach 公司); D8 ADVANCE 型 X 射线衍射仪(德国 Bruker AX S 公司); Varian Unity 300 MHz 核磁共振谱仪(美国 Varian 公司)。

2.2 实验方法

2.2.1 粉条水煮性质测定

采用 2 种方法测定粉条的耐水煮性: 一是让粉条在沸水中煮, 不断用筷子挑起, 测定完全挑不起来时的时间; 二是测定一定水煮时间内粉条的断条率^[13], 随机取 20 根约 10 cm 长的粉条, 放入 250 mL 烧杯中沸水煮制 30 min, 观察粉条的断条数目。

2.2.2 粉条中明矾含量测定方法

7 种粉条不用粉碎, 分别取 200 g 放于包装袋送至天津市食品安全监测技术研究院进行检测, 测定 7 种粉条中的铝含量。测定方法按照 GB5009.182-2017《食品安全国家标准 食品中铝的测定》由天津市食品安全检测技术研究院测定, 测定样品按表 1 中编号进行标记。

2.2.3 其他测试方法

样品前处理: 取粉条 50 g 用粉碎机粉碎, 置于 85 °C 恒温干燥箱中干燥 4 h, 取出冷却, 再分别取 1 g 分装于 3 个小试管中, 进行红外光谱、X-射线衍射、差示扫描量热测定。

红外分析: 将样品用光谱纯 KBr 压片, 在 27 °C 下用红外分光光度计测定淀粉红外吸收, 扫描范围 4000~400 cm⁻¹。

X 射线衍射分析: 将粉末状样品放入 X 射线衍射仪采用 Cu 靶 KT 射线(0.154 nm)照射, 管压为 40 kV, 管流为 40 mA, 扫描速度为 0.1 °/s。

差示扫描量热分析: 2.5 mg 样品加入 7.5 μL 蒸馏水, 于常温下平衡 3h, 铝箔密封后测定, 加热温度 20~300 °C, 2 个峰值温度 60~90 °C、120~280 °C, 测定过程随加热时间变化吸热过程所有数据。

所有样品数据取 3 次重复的平均值。

3 结果与分析

3.1 不同粉条明矾含量及其耐水煮性

表 1 为不同品牌粉条耐水煮性和明矾含量。由表 1 可

以看出, 按照耐水煮时间长短, 7 种粉条耐水煮性由高到低为: 双塔马铃薯粉条>龙须红薯粉条>天豫红薯粉条>龙大龙口绿豆粉条>六六顺龙口绿豆粉条>升林红薯粉条>富昌龙口绿豆粉条; 按照断条率由低到高, 7 种粉条耐水煮性由高到低为: 六六顺龙口绿豆粉条>龙大龙口绿豆粉条>天豫红薯粉条>双塔马铃薯粉条>龙须红薯粉条>升林红薯粉条≈富昌龙口绿豆粉条; 水煮时间长短更能精确反映粉条耐水煮性。7 种粉条明矾含量由高到低为: 天豫红薯粉条>升林红薯粉条>龙须红薯粉条>龙大龙口绿豆粉条>双塔马铃薯粉条>六六顺龙口绿豆粉条≈富昌龙口绿豆粉条, 后 2 种粉条可能没有添加明矾, 红薯粉条中明矾含量较高。所检测的 7 中大品牌粉条中虽然铝含量最高的天豫红薯粉条铝含量高达 61 mg/kg, 但比山西省忻州市农贸市场中玉米粉条的 135 mg/kg 低很多^[14], 也未超过国家标准≤100 mg/kg, 是合格的产品。分开对比红薯(标号 1、3、4)和绿豆(标号 2、5、6)各自不同品牌粉条可知, 明矾大量添加确实可以提高粉条耐水煮性。

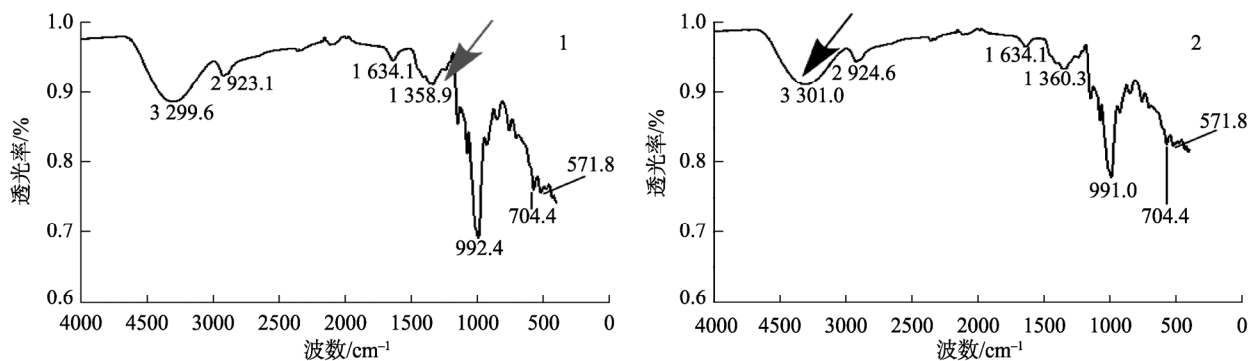
3.2 红外光谱分析

图 1 为 7 种不同品牌粉条的红外(infrared, IR)光谱图。

表 1 不同品牌粉条耐水煮性和明矾含量

Table 1 Boiling-resistant characteristic and potassium alum contents of different starchy noodles

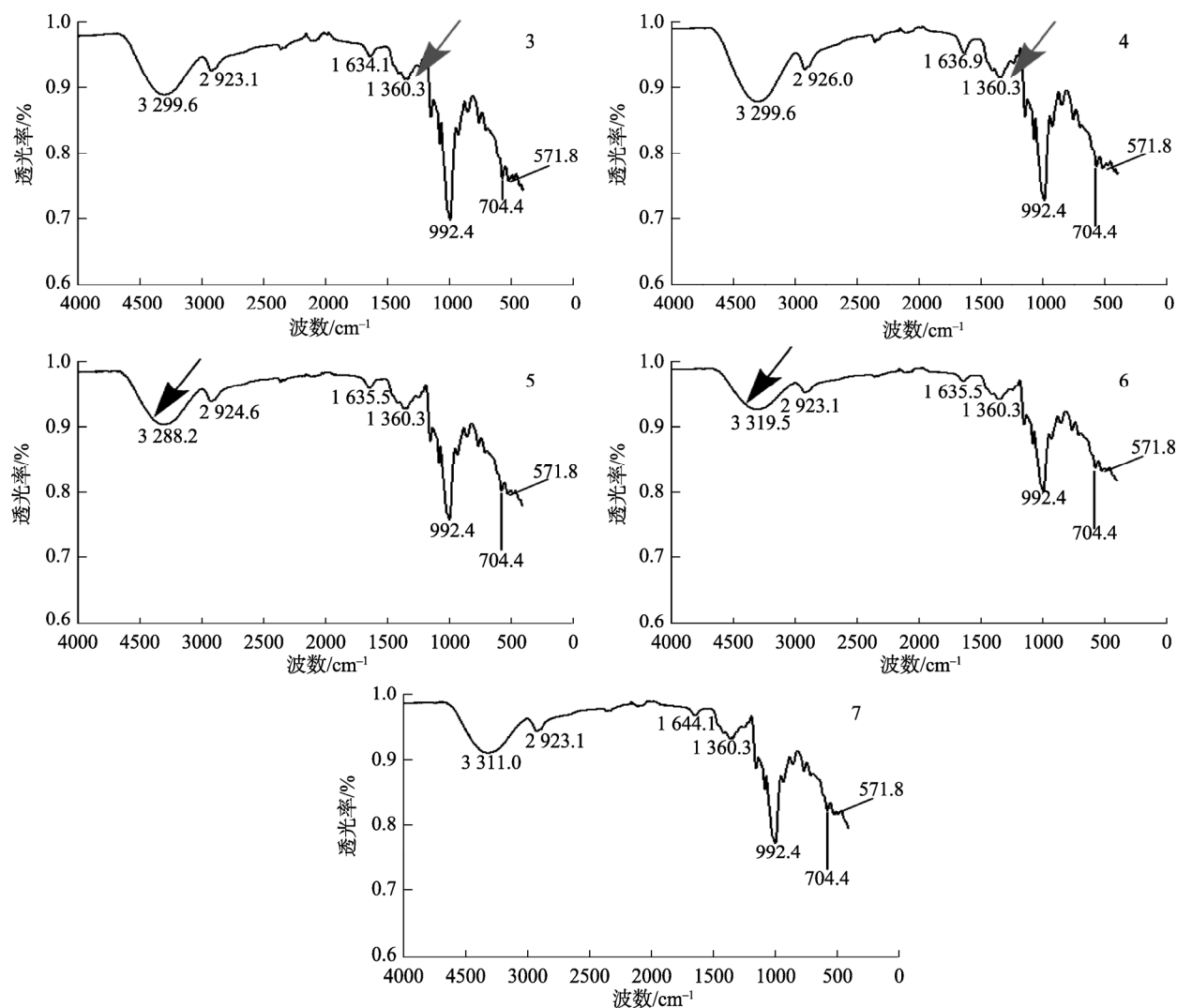
| 序号 | 种类品牌 | 耐水煮时间 | 断条率/% | 铝含量/(mg/kg) | 明矾含量/(mg/kg)(铝含量*1.75) |
|----|-----------|-------------|-------|-------------|------------------------|
| 1 | 天豫红薯粉条 | 25 min 34 s | 5 | 61.0 | 106.7 |
| 2 | 龙大龙口绿豆粉条 | 20 min 49 s | 3.3 | 3.2 | 5.6 |
| 3 | 升林红薯粉条 | 11 min 14 s | 100 | 27.6 | 48.3 |
| 4 | 龙须红薯粉条 | 26 min 24 s | 26.7 | 24.1 | 42.1 |
| 5 | 富昌龙口绿豆粉条 | 7 min 09 s | 100 | <2.0 | <3.5 |
| 6 | 六六顺龙口绿豆粉条 | 12 min 44 s | 0 | <2.0 | <3.5 |
| 7 | 双塔马铃薯粉条 | 26 min 29 s | 13.3 | 3.1 | 5.4 |



注: 1 天豫红薯粉条; 2 龙大龙口绿豆粉条; 3 升林红薯粉条; 4 龙须红薯粉条; 5 富昌龙口绿豆粉条; 6 六六顺龙口绿豆粉条; 7 双塔马铃薯粉条。

图 1 7 种不同品牌粉条的红外光谱图

Fig.1 IR spectra of 7 kinds of starchy noodles



注: 1 天豫红薯粉条; 2 龙大龙口绿豆粉条; 3 升林红薯粉条; 4 龙须红薯粉条; 5 富昌龙口绿豆粉条; 6 六六顺龙口绿豆粉条; 7 双塔马铃薯粉条。

续图 1 7 种不同品牌粉条的红外光谱图

Fig.1 IR spectra of 7 kinds of starchy noodles

对比图 1 中 1、3、4 红薯粉条红外图可知, 含明矾量比较高的 1 号红薯粉条与含明矾量较低的 3、4 号红薯粉条相比, 其红外图不同之处是 1 号样品 1358.9 处的亚甲基弯曲振动波数比 3、4 号样品的 1360.3 要低(红色箭头标示), 说明 1 号样品中氢键形成更多^[15], 明矾可能通过促进淀粉球溶胀析出更多直链淀粉, 直链淀粉之间容易形成氢键, 进而产生更高的回生结晶度, 耐水煮性增强。与无明矾添加的 5、6 号粉条相比, 4 号甘薯粉条明矾添加后淀粉的亚甲基伸缩振动(2926.0 cm^{-1})发生红移说明明矾添加可能会加强红薯淀粉中第 6 位碳原子上羟基参与氢键形成。但对于 2、5、6 号绿豆粉条来说, 明矾添加后此处红外吸收未发生变化, 而是在波数 $3200\sim 3320\text{ cm}^{-1}$ 之间有不同(黑色箭头标示), 此处是淀粉和水分子 O-H 伸缩振动的波数^[16],

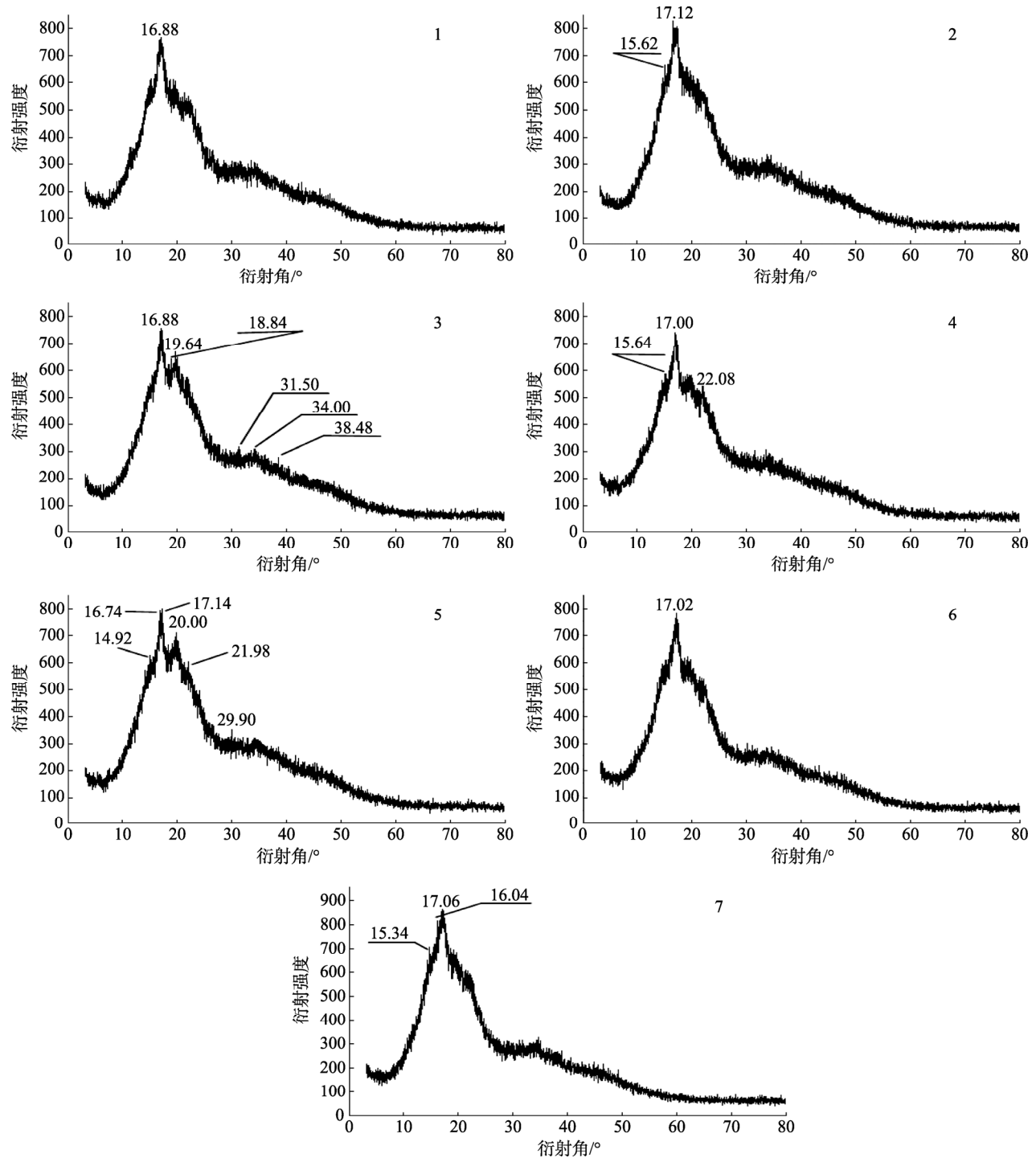
此处波数减小说明粉条中氢键形成多^[17]。绿豆粉条中明矾添加量总体虽然很小, 但添加量较大的 2 号粉条耐水煮性更强, 说明明矾添加也可以增强绿豆粉条的耐水煮性, 但从红外图找不到特征波数与明矾添加和耐水煮性之间的关联性, 要从淀粉晶体和热力学特征方面找关联。

3.3 X 射线衍射分析

图 2 为 7 种不同品牌粉条 X 射线衍射图。红薯和马铃薯淀粉属于 B 型, 在衍射角为 2θ 为 5.6° , 17° , 22° , 24° 附近出现比较强的衍射峰^[17,18]。绿豆淀粉属于 A 型淀粉, 在衍射角为 2θ 16.60° 的在 15° , 17° , 18° , (双峰) 23° 附近出现强峰^[19]。由图 2 可知, 3 类淀粉做成粉条后, 衍射角为 2θ 17° 附近的峰增强, 其他衍射峰强度降低或消失。与其他

样品 X 射线衍射相比,耐煮性最差的样品 3 和 5 在衍射角为 2θ 20° 附近有明显较强衍射峰,说明这 2 种粉条制作过程淀粉球破裂程度较低,粉条基本维持原淀粉球 X 射线衍射特征。造成这种现象的可能原因有企业生产过程粉浆糊

化不充分、粉条水煮过程水温不够高、粉条干燥过程速度太快回生淀粉生成量少等。衍射角 2θ 20° 附近峰强度与粉条耐水煮性之间可能具有负相关性,这方面需要对更大量粉条样品进行研究来验证此推理的正确性。



注: 1 天豫红薯粉条; 2 龙大龙口绿豆粉条; 3 升林红薯粉条; 4 龙须红薯粉条; 5 富昌龙口绿豆粉条; 6 六六顺龙口绿豆粉条; 7 双塔马铃薯粉条。

图 2 7 种不同品牌粉条 X 射线衍射图

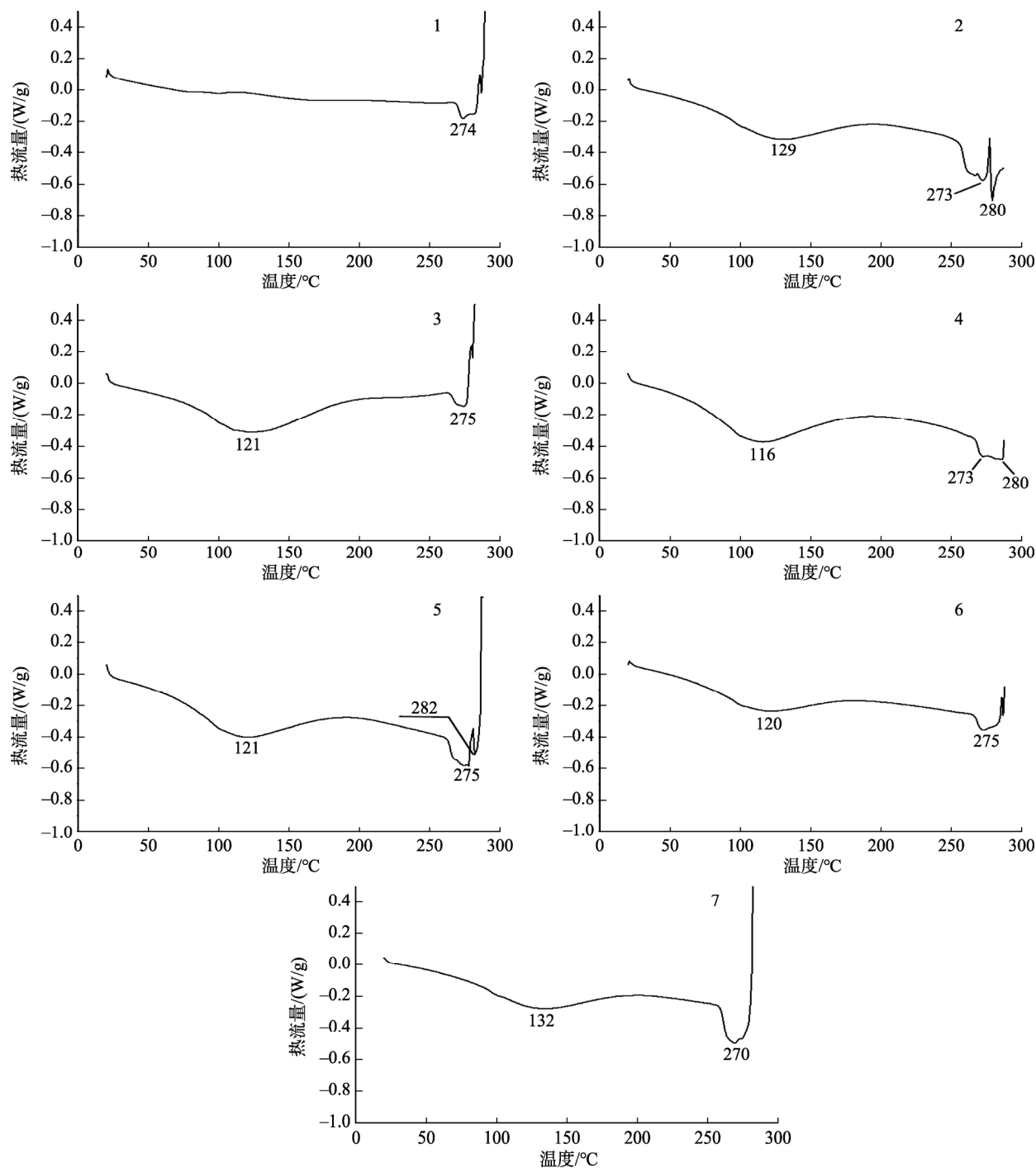
Fig.2 X-ray diffraction of 7 kinds of starchy noodles

3.4 差示扫描量热分析

图 3 为 7 种不同品牌粉条差示扫描量热(differential scanning calorimetry, DSC)图。

由图 3 可知, 1 号甘薯粉条中添加明矾量最多, 为 106.75 mg/100 g, 粉条中只有一个融化峰, 融化温度较低

的原淀粉的晶体融化峰消失了^[20], 说明淀粉原有晶体已被完全破坏。3 号和 4 号甘薯粉条明矾添加量差不多, 但 4 号粉条耐水煮性比 3 号强很多。其原因可能是 3 号粉条中原淀粉晶体融化温度为 121 °C, 比 4 号粉条的 116 °C 高, 所以在粉条制作过程 3 号淀粉溶胀破裂的难度大, 粉条中存



注: 1 天豫红薯粉条; 2 龙大龙口绿豆粉条; 3 升林红薯粉条; 4 龙须红薯粉条; 5 富昌龙口绿豆粉条; 6 六六顺龙口绿豆粉条; 7 双塔马铃薯粉条

图 3 7 种不同品牌粉条差示扫描量热图
Fig.3 DSC of 7 kinds of starchy noodles

在大量淀粉球, 这样的粉条吸水性强, 不耐煮。对比红薯、绿豆和马铃薯粉条差热可知, 3类粉条中原淀粉晶体融化温度由大到小为: 马铃薯>绿豆>红薯。图3中温度较高的峰是淀粉重结晶峰^[21], 3类粉条的重结晶融化温度相差不大, 都在270~275 °C范围。未加明矾的5和6号粉条耐水煮性不佳, 说明明矾在增加粉条中重结晶淀粉含量方面起到了明显的促进作用。

4 结 论

7种粉条明矾含量由高到低为: 天豫红薯粉条>升林红薯粉条>龙须红薯粉条>龙大龙口绿豆粉条>双塔马铃薯粉条>六六顺龙口绿豆粉条~富昌龙口绿豆粉条, 红薯粉条中明矾含量较高。按照耐水煮时间长短, 7种粉条耐水煮性由高到低为: 双塔马铃薯粉条>龙须红薯粉条>天豫红薯粉条>龙大龙口绿豆粉条>六六顺龙口绿豆粉条>升林红薯粉条>富昌龙口绿豆粉条。加了明矾后粉条在衍射角为 2θ 20°附近衍射峰明显降低或消失, 衍射角为 2θ 17°附近衍射峰明显增强; 明矾在增加粉条中重结晶淀粉含量方面起到了明显的促进作用, 要生产耐水煮无明矾添加粉条一定要选择容易溶胀的淀粉, 采用能加速淀粉回生重结晶的糊化工艺。

参考文献

- [1] Tan HZ, Gu WY, Zhou JP, *et al.* Comparative study on the starch noodle structure of sweet potato and mung bean [J]. *J Food Sci*, 2006, 71(8): 447-455.
- [2] 陶瑞青, 张海均, 贾冬英. 薯类粉条粉丝加工中明矾替代物的研究进展[J]. *粮食与饲料工业*, 2012, 12(2): 39-40, 44.
Tao RX, Zhang HJ, Jia DY. Progress of study on alum substitute of the potato vermicelli process [J]. *Food Feed Ind*, 2012, 12(2): 39-40, 44.
- [3] 李敏, 吴卫国, 杨韵. 无矾红薯粉丝加工工艺研究[J]. *农产品加工(学刊)*, 2014, (5): 30-34.
Lee M, Wu WG, Yang Y. Research on alum sweet potato noodle processing [J]. *Proc Agric Prod J*, 2014, (5): 30-34.
- [4] 李颖. 无矾红薯粉丝的加工研究[J]. *粮油加工*, 2009, (6): 113-115.
Li Y. Processing study on vanadium-free sweet potato vermicelli [J]. *Grain Oil Proc*, 2009, (6): 113-115.
- [5] 余树玺, 邢丽君, 木泰华, 等. 4种不同甘薯淀粉成分、物化特性及其粉条品质的相关性研究[J]. *核农学报*, 2015, 29(4): 734-742.
Yu SX, Xing LJ, Mu TH, *et al.* The study of correlation between the physicochemical properties of starch from different sweet potato varieties and the quality of its starch noodle [J]. *J Nuclear Agric Sci*, 2015, 29(4): 734-742.
- [6] 廖卢艳, 蒋立文, 张喻. 不同改性方法对红薯淀粉性质及粉条品质的影响研究[J]. *中国粮油学报*, 2015, 30(11): 49-53.
Liao LY, Jiang LW, Zhang Y. Effect of different modification methods on sweet potato starch properties and its noodle quality [J]. *J Chin Cere Oil Ass*, 2015, 30(11): 49-53.
- [7] 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, 130.
Liao LY, Wu WG. Optimized technology for improving sweet potato starch noodle by heat-moisture treatment [J]. *J Chin Cere Oil Assoc*, 2016, 31(10): 114-119, 130.
- [8] 范会平, 李瑞, 王娜, 等. 冷冻工艺对无铝红薯粉条品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2016, 42(8): 142-146.
Fan HP, Li R, Wang N, *et al.* Effect of freezing process on the quality of sweet potato vermicelli without aluminum [J]. *Food Ferment Ind*, 2016, 42(8): 142-146.
- [9] 郝建东, 张力, 贺雅欣. 添加细菌纤维素无明矾马铃薯淀粉粉条的实验研究[J]. *天津科技大学学报*, 2016, 31(6): 34-38.
Hao JD, Zhang L, He YX. Alum-free potato starch noodles with bacterial cellulose as food additive [J]. *J Tianjin Univ Sci Technol*, 2016, 31(6): 34-38.
- [10] 庞彩霞, 王利民. 响应面法优化马铃薯无矾营养粉条生产工艺[J]. *食品研究与开发*, 2017, 38(19): 71-75.
Pang CX, Wang LM. Optimization of potato-free alum nutritive noodle production process by response surface methodology [J]. *Food Res Dev*, 2017, 38(19): 71-75.
- [11] 廖彪, 王浩东. 天然富硒无矾魔芋红薯粉条生产工艺的优化[J]. *贵州农业科学*, 2018, 46(1): 94-96.
Liao B, Wang HD. Optimization of production technology for Se-enriched and No-alum Konjac-sweet potato vermicelli [J]. *Guizhou Agric Sci*, 2018, 46(1): 94-96.
- [12] 曾洁, 姜继凯, 高海燕. 无添加马铃薯粉条老化工艺及贮藏品质研究[J/OL]. *食品科学*, 2019, (1): 1-12.
Zeng J, Jiang JK, Gao HY. Optimization of the aging process for potato vermicelli without additive and quality changes during storage [J/OL]. *Food Sci*, 2019, (1): 1-12.
- [13] 杨书珍, 于康宁, 黄启星. 明矾替代物对甘薯粉丝品质的影响[J]. *中国粮油学报*, 2009, 24(10): 54-58.
Yang SZ, Yu KN, Huang QM. Investigation on sweet potato *Vermicellis* free of alum [J]. *J Chin Cere Oil Assoc*, 2009, 24(10): 54-58.
- [14] 赵二芳, 王妮, 郝丽琴. 化学浸提-电感耦合等离子体发射光谱法测定粉条中活性铝的化学形态[J]. *分析科学学报*, 2017, 33(3): 432-434.
Zhao EL, Wang N, Hao LQ. Determination of chemical species of active aluminum in vermicelli by chemical extractions combined with inductively coupled plasma optical emission spectrometry [J]. *Anal Sci J*, 2017, 33(3): 432-434.
- [15] Flores-Morales A, Jiménez-Estrada M, Mora-Escobedo R. Determination of the structural changes by FT-IR, Raman, and CP/MAS 13C NMR spectroscopy on retrograded starch of maize tortillas [J]. *Carbohydr Polym*, 2012, 87(1): 61-68.
- [16] Sevenou O, Hill SE, Farhat IA, *et al.* Organisation of the external region of the starch granule as determined by infrared spectroscopy [J]. *Inter J Biol Macromol*, 2002, 31(1-3): 79-85.
- [17] Van Soest JG, Tournois H, De Wit D, *et al.* Short-range structure in (partially) crystalline potato starch determined with attenuated total reflectance Fourier-transform IR spectroscopy [J]. *Carbohydr Res*, 1995, (279): 201-214.

- [18] Shi M, Gao Q, Liu Y. Corn, potato, and wrinkled pea starches with heat-moisture treatment: Structure and digestibility [J]. *Cere Chem*, 2018, 95(5): 603-614.
- [19] Schenk G, Carrington LE, Hamilton SE, *et al.* Crystallization and preliminary X-ray diffraction data for a purple acid phosphatase from sweet potato [J]. *Acta Crystallograph Sect D*, 1999, 55(12): 2051-2052.
- [20] Tananuwong K, Reid DS. DSC and NMR relaxation studies of starch-water interactions during gelatinization [J]. *Carbohydr Polym*, 2004, 58(3): 345-358.
- [21] Kim JO, Kim WS, Shin MS. A comparative study on retrogradation of rice starch gels by DSC, X-ray and α -amylase methods [J]. *Starch-Stärke*, 1997, 49(2): 71-75.

(责任编辑: 陈雨薇)

作者简介



蒋荣霞, 硕士, 主要研究方向为食品科学。

E-mail: 1365072184@qq.com

连喜军, 博士, 副教授, 主要研究方向为回生淀粉研究。

E-mail: lianliu2002@163.com