

“几种重要食品资源提质利用” 特约专栏文章之四

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2020.03.004

薯类粉条中与淀粉相关的 结构性质研究

邹金浩¹, 李 燕¹, 苏小军^{1,2}, 李清明^{1,2}, 李文佳¹

(1. 湖南农业大学 食品科学技术学院, 湖南 长沙 410128;

2. 湖南省发酵食品工程技术研究中心, 湖南 长沙 410128)

摘 要: 为了解薯类淀粉粉条结构特点, 选取3种木薯淀粉(SC9、SC205、LMC), 3种淮山淀粉(GY2、SFY、MPY)和1种红薯淀粉(XSSP)制成的粉条为研究对象, 对其色泽、微观样貌、结晶结构进行测定和比较。结果表明, 各粉条的色泽、微观样貌、结晶结构差异显著。星树红薯粉条色泽最好, 而双峰淮山粉条色泽较暗。淮山粉条和红薯粉条存在部分还未完全糊化的淀粉颗粒, 呈现出清晰的团粒结构, 木薯粉条的糊化程度最高, 淀粉的团粒结构已基本消失, SC9木薯粉条可以看到均匀完整的网络结构。粉条的结晶结构均遭到破坏, 不同品种薯类粉条的有序结构与无序结构比例有明显差异。

关键词: 木薯; 淮山; 红薯; 粉条; 淀粉; 微观形貌; 结晶结构

中图分类号: TS231 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2020)03-0026-05

网络首发时间: 2020-04-17 11:08:38

网络首发地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3863.TS.20200417.1019.003.html>

Starch-related structure properties of different root crop starch noodle

ZOU Jin-hao¹, LI Yan¹, SU Xiao-jun^{1,2}, LI Qing-ming^{1,2}, LI Wen-jia¹

(1. College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; Hunan Provincial Research Center of Engineering and Technology for Fermented Food, Changsha, Hunan 410128, China)

Abstract: In order to understand the structure properties of root crop starch noodle, three kinds of tapioca starch noodles (SC9, SC205, LMC), three kinds of yam starch noodles (GY2, SFY, MPY) and one kind of sweet potato starch noodle (XSSP) were used to study the structure properties. The results showed that the color, microstructure and crystallinity of starch noodle exhibited significantly differences among different varieties. XSSP starch noodle had the highest white index, while SFY starch noodle had the lowest white index. The special inner structure of starch noodles was composed of some broken starch granules and some gel-like substances from SEM. Yam starch noodles and sweet potato starch noodles showed a clear starch granule structure. Cassava starch noodles had the highest degree of gelatinization. The crystal structure of starch noodle was damaged, and the ratio of ordered structure to disordered structure of different varieties of root crop starch noodle was significantly different.

Key words: tapioca; yam; sweet potato; starch noodles; starches; microstructure; crystalline structure

收稿日期: 2020-03-16

基金项目: 湖南省教育厅资助科研项目(17C0764); 湖南省重点研发计划项目(2016NK2113)

作者简介: 邹金浩, 1995年出生, 男, 硕士研究生, 研究方向为农产品加工与贮藏。

通讯作者: 李文佳, 1982年出生, 女, 讲师, 研究方向为农产品加工, E-mail: liwenjia9301@163.com.

我国是薯类生产大国,木薯、淮山和红薯等薯类品种资源丰富,种植区域广,加工特性差异大。粉条是我国传统的淀粉类食品,薯类淀粉是制备粉条的主要原料之一^[1-3],淀粉的性质对粉条的品质有很大的影响。目前对粉条的研究主要集中在不同原料淀粉的性质与粉条品质间的关系及粉条品质改善等方面^[4-7]。Kasemsuwan 等^[8]利用扫描电镜观察了绿豆粉条的微观形貌,发现粉条中淀粉经糊化和回生后形成了网络结构,淀粉颗粒破裂且不再完整。袁霖^[9]通过 X 衍射研究了绿豆、蚕豆、红薯和马铃薯粉丝中淀粉结晶结构,发现绿豆粉丝在 17°处有结晶峰,其他粉丝均无结晶峰。范代超^[10]研究了不同淀粉粉条的微观形貌和结晶结构,发现淀粉加工成粉条后,结晶结构遭到严重的破坏,粉条的 X 射线衍射峰强度变弱。Tan^[11]等对绿豆和红薯粉条的结构进行研究,认为绿豆淀粉直链淀粉含量较高,分支很少,支链淀粉含量适中,具有许多长链;因此,绿豆粉条具有较高的结晶度、良好的内聚性和优异的品质。在粉条的加工过程中,粉条色泽、微观形貌、结晶结构等会发生很大的变化,粉条中淀粉形成的网络结构与粉条品质关系密切,是决定粉条品质重要因素。因此,深入了解粉条的微观形貌和结晶结构对提高粉条的品质具有一定的指导意义。

本文选用中国南方地区栽培较广的 7 个代表性薯类品种,在前期对其淀粉理化特性研究的基础上,通过色差仪、扫描电镜、X 射线衍射、红外光谱等对粉条的色泽、微观形貌、晶体结构进行测定和比较研究,旨在深入了解粉条的结构,为拓宽薯类淀粉的应用渠道提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

木薯(分别为华南 9 号(SC9),华南 205(SC205)和利民木薯(LMC)),红薯(星树,简称 XSSP),淮山(分别为桂淮 2 号(GY2)、双峰淮山(SFY)、马铺山药(MPY)):市场购买,具体来源及品种特征描述见文献^[12]。

参照 Li 等^[13]的方法用水提法从上述所列 7 个品种的薯类原料中提取淀粉。

参照廖卢艳等^[6]的方法制备了 7 种薯类粉条。

1.2 仪器与设备

CR-400 型色彩色差计:柯尼卡美能达公司;JSM-6380LV 型扫描电子显微镜:日本电子株式会社;XRD-6000 型 X 射线衍射仪:岛津国际贸易有限公司;IRAffinity-1 型傅里叶变换红外光谱:日本 shimadzu 公司。

1.3 实验方法

1.3.1 粉条色泽的测定

色差仪先用标准白板进行校准。取一定量的样品于测试槽中平铺放好,按下测试键,在色差仪上读取 L^* 、 a^* 、 b^* 三个参数。 L^* 、 a^* 、 b^* 值分别表示样品的亮度、红绿值、黄蓝值。每个样品平行测定三次。白度公式:

$$W_H = 100 - \sqrt{(100 - L)^2 + a^2 + b^2}$$

1.3.2 粉条扫描电镜测试

将干燥的粉条样品用导电双面胶固定在样品台上,然后进行喷金处理,再用扫描电镜观察并拍照,扫描电镜加速电压为 25 kV。

1.3.3 粉条 X 射线衍射

将样品粉末压片后,用 X 射线衍射仪测定试样的结晶结构。测定条件为:扫描模式为连续,扫描范围 5°~80°,扫描速度:5°/min,步宽:0.02°,靶:Cu,管压:40 kV,管流:30 mA,狭缝:1.0°、1.0°、0.3°。波长:1.540 6。

1.3.4 粉条的红外光谱

取 100 mg 左右的 KBr 于玛瑙钵中研碎,加约 1 mg 样品,研匀,压片。将其在 400~4 000 cm^{-1} 波数范围内扫描,以波数(cm^{-1})为横坐标,吸光度为纵坐标,得到红外吸收光谱。

1.3.5 统计分析方法

运用 Origin8.0 和 SPSS20.0 软件对实验数据进行分析 and 图形绘制,数据以 $\bar{x} \pm \text{SD}$ 的形式表示。

2 结果与分析

2.1 不同薯类粉条的品质分析

色泽是粉条重要的品质属性,一般来说, L^* 值越大,粉条的亮度越大,粉条品质越好, a^* 、 b^* 值越接近于 0,其杂色越少,粉条品质越好。测定了不同薯类粉条的色泽,结果见表 1。各薯类粉条的色泽差异显著。其中 XSSP 粉条的 L^* 值和白度值最大,色泽较白;而 SFY 粉条 a^* 最大,

SC9 粉条的 b^* 最大。淮山粉条中, GY2 的 L^* 值最大, b^* 最小, 有较好的色泽品质。SFYSN 白度值最低, 色泽偏暗。各薯类粉条的色泽差异显著, 这可能与其淀粉的各化学成分含量不同、结晶结构等有关^[14]。

表 1 不同品种薯类粉条的色泽

粉条	L^*	a^*	b^*	白度
SC9SN	59.45±0.06 ^d	-1.10±0.02 ^e	6.44±0.02 ^a	58.92±0.06 ^c
SC205SN	63.21±0.23 ^c	-0.86±0.01 ^d	4.13±0.03 ^d	62.97±0.23 ^{cd}
LMCSN	65.56±0.01 ^b	-0.95±0.01 ^c	3.42±0.02 ^c	65.38±0.01 ^b
XSSPSN	66.87±0.17 ^a	-1.08±0.02 ^f	4.59±0.02 ^c	66.53±0.16 ^a
GY2SN	63.17±0.10 ^c	-0.63±0.01 ^c	2.32±0.02 ^e	63.09±0.10 ^c
SFYSN	55.22±0.03 ^e	0.03±0.02 ^a	5.52±0.01 ^b	54.88±0.03 ^f
MPYSN	63.02±0.11 ^c	-0.45±0.01 ^b	3.37±0.03 ^f	62.86±0.11 ^d

注: 同一列中不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

2.2 不同薯类粉条的微观形貌观察

由淀粉经糊化后回生形成的凝胶状物质和破损的淀粉颗粒共同形成粉条的网络结构^[15]。各薯类粉条表面的扫描电镜结果如图 1 所示。由图 1 可以看出, 不同薯类粉条的微观样貌差异较大,

各粉条中淀粉均出现不同程度的糊化。木薯粉条的糊化程度最高, 淀粉的团粒结构已基本消失, 粉条结构由淀粉糊化后的凝胶组成, SC9 木薯粉条可以看到均匀完整的网络结构 (如图 1 箭头所示)。红薯粉条的表面有凹陷孔洞, 且存在未完全糊化的淀粉颗粒 (如图 1 箭头所示)。Tan^[11]等研究认为红薯粉条内部的孔洞是因为红薯淀粉中支链淀粉的含量较高且支链淀粉的链长较短, 导致粉条回生较少和内部结构疏松, 干燥后的漏水使粉条内部产生孔洞。淮山粉条存在部分还未完全糊化的淀粉颗粒, 还可以看到清晰的团粒结构, 淀粉粒与淀粉凝胶共同组成粉条结构。前期对淀粉性质的研究表明^[12], 淮山淀粉、红薯淀粉的糊化温度较高, 而木薯淀粉的糊化温度较低, 这是导致粉条的糊化程度不同的原因。因此在实际生产过程中, 可根据原料淀粉糊化温度, 通过合理控制糊化温度和糊化时间来改善粉条品质。除此之外, 淀粉颗粒的大小, 结晶紧密程度或结晶度不同也会导致淀粉的糊化程度不同^[16], 从而影响粉条的品质。

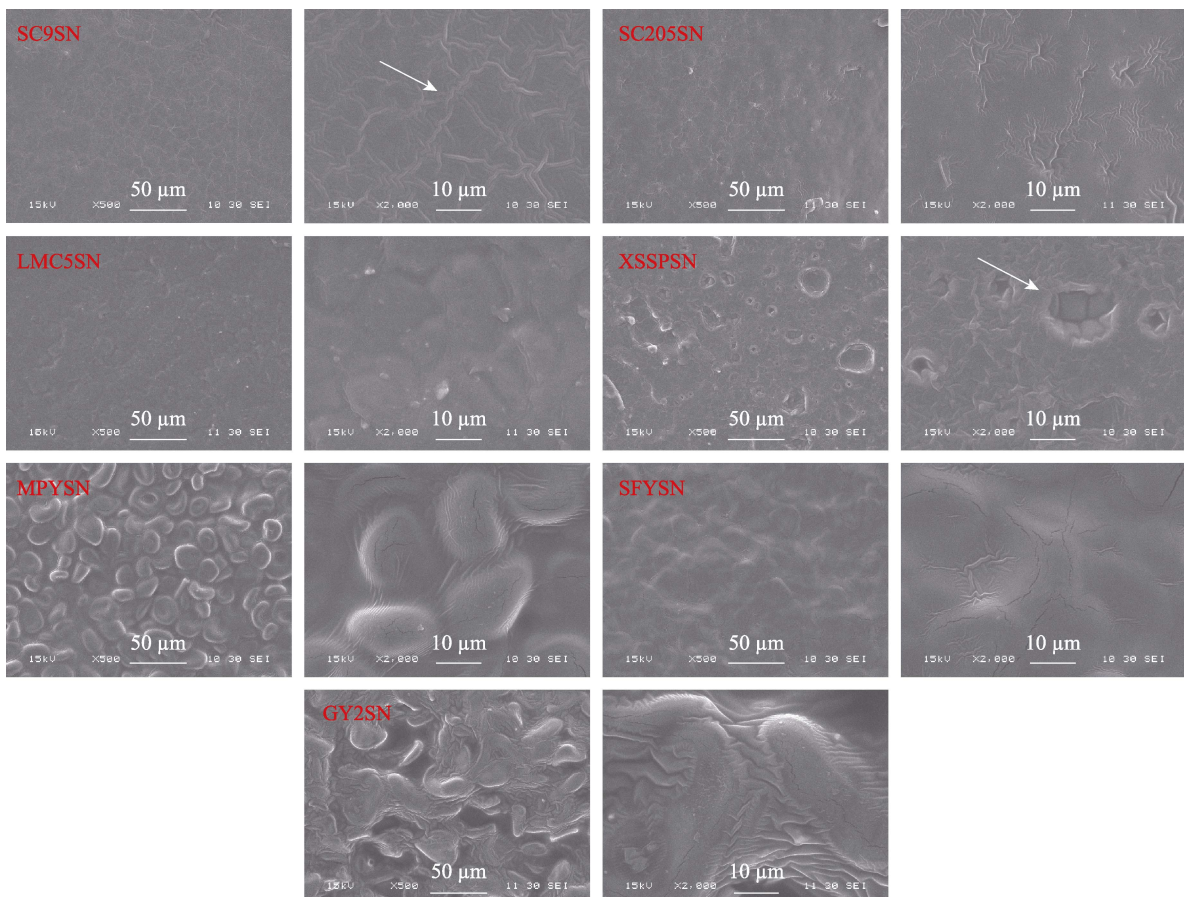


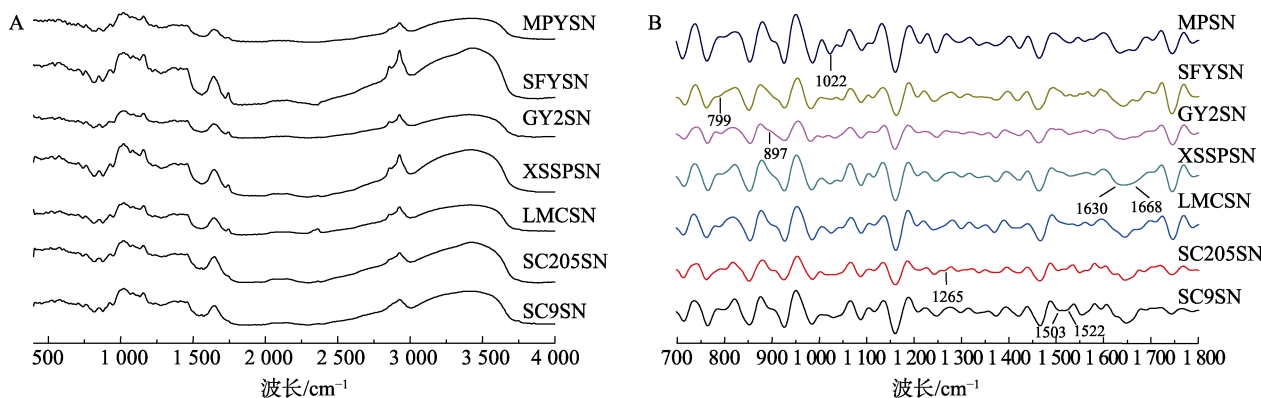
图 1 不同品种薯类粉条的扫描电镜形貌

2.3 不同薯类粉条的红外光谱

图 2 分别为不同品种薯类粉条的红外光谱图。从图 2 可以看出, 经过糊化加工后的各薯类粉条与其淀粉的红外光谱的吸收峰有一些明显的差异, 主要为在 $2\ 930\ \text{cm}^{-1}$ 和 $1\ 642\ \text{cm}^{-1}$ 附近出现了双峰, 这两个吸收峰分别代表 CH_2 的反对称伸缩振动以及淀粉中吸附水中无定型区域的吸收峰^[17]。除此之外, 各吸收峰的位置和强度也发生了一些变化。

红外光谱对淀粉链的构象和螺旋的有序比较敏感, 通过去卷积处理各薯类粉条的红外光谱图, 可以定量研究其有序区域与无序区域的比例以及经过加工后有序结构发生的变化^[18]。 $1\ 045\ \text{cm}^{-1}$ 和 $1\ 022\ \text{cm}^{-1}$ 附近的吸收峰分别代表淀粉的有序结构和无序结构, $995\ \text{cm}^{-1}$ 附近的吸收峰为 C-OH 的弯曲振动, $1\ 045/1\ 022\ \text{cm}^{-1}$ 和 $1\ 022/995\ \text{cm}^{-1}$

的峰强度的比值分别反映了淀粉的有序程度和无序程度^[19]。通过 OMNIC 软件对各薯类粉条的 FTIR 原始波谱 $1\ 200\sim 800\ \text{cm}^{-1}$ 段进行处理, 得到的结果如表 2 所示。从表 2 中可以看出, 不同品种的薯类粉条的有序结构与无序结构的比例有明显差异。7 个粉条的 $1\ 045/1\ 022\ \text{cm}^{-1}$ 比值为 $0.721\sim 0.973$, 桂淮 2 号粉条 (GY2SN) 的 $1\ 045/1\ 022\ \text{cm}^{-1}$ 比值最高, 利民木薯 (LMCSN) 的最低。 $1\ 022/995\ \text{cm}^{-1}$ 为 $1.023\sim 1.163$, 木薯 SC9 粉条 (SC9SN) 的 $1\ 022/995\ \text{cm}^{-1}$ 比值最高, 双峰淮山粉条 (SFYSN) 最低。总的来说, 淮山粉条和红薯粉条的 $1\ 045/1\ 022\ \text{cm}^{-1}$ 比值大于木薯粉条, 而 $1\ 022/995\ \text{cm}^{-1}$ 比值小于木薯粉条和红薯粉条, 这与其淀粉的有序结构与无序结构的比例有关。这说明在糊化加工过程中, 淀粉原有的结构会被破坏而导致有序结构减少, 无序结构增加。



A 为傅里叶变换红外光谱, B 为二阶导数光谱。

图 2 不同品种薯类粉条的红外光谱

表 2 不同品种薯类粉条的 ATR 数值

名称	SC9	SC205	LMC	XSSP	GY2	SFY	MPY
1 045/1 022	0.748	0.734	0.721	0.770	0.973	0.807	0.776
1 022/995	1.163	1.316	1.113	1.153	1.052	1.023	1.033
结晶度/%	16.73	15.17	14.7	18.91	17.6	18.45	22.99

为进一步分析不同粉条的红外光谱特征, 采用 Savitsky-Golay 方法对粉条的红外光谱进行二阶导数处理 (图 2B), 由图 2B 可知, 三个淮山粉条在 $800\sim 1\ 022\ \text{cm}^{-1}$ 间差别较大, 存在单峰或肩峰, 而木薯和红薯在 $1\ 200\sim 1\ 800\ \text{cm}^{-1}$ 间差别较大, 存在单峰或肩峰。

2.4 不同薯类粉条的 X 射线衍射

图 3 为不同品种薯类淀粉条的 X 衍射图谱。从图 3 中可以看出, 各薯类淀粉加工成粉条后,

衍射峰的变化非常明显。7 种薯类粉条的衍射峰均变窄或消失, 木薯粉条在 2θ 为 17° 处的衍射峰的强度变弱, 峰宽变窄, 在 2θ 为 23° 处的衍射峰消失不见, 且形成了弥散的“馒头”型的衍射图谱。红薯粉条和淮山粉条在 2θ 为 17° 处的衍射峰的强度变化不大, 但其峰宽变的很窄, 且在 2θ 为 23° 处的强衍射峰变成了多个弱衍射峰。不同薯类粉条的衍射峰变化不同, 这除了与其淀粉来源和生长环境有关, 还与其淀粉的支链淀粉的链长、

直链淀粉含量以及淀粉结晶结构的紧密程度等因素有关。

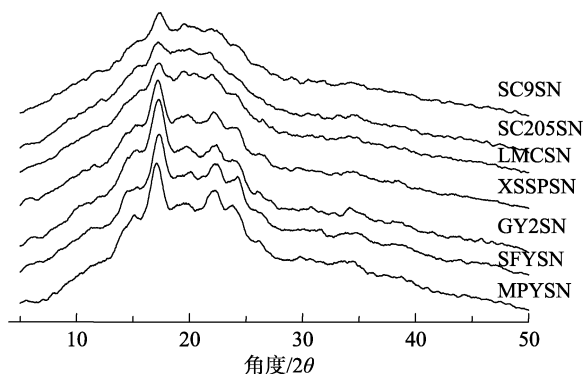


图3 不同品种薯类粉条的X-射线衍射图


参照陈翠兰^[20]的方法,通过MDI Jade软件对各薯类粉条的结晶度进行计算,结果如表2所示。从表2可以看出,7种薯类粉条的结晶度存在较大差异,其中MPY粉条的结晶度最大为22.99%,LMC粉条的结晶度最小为14.7%,与 $1\ 045/1\ 022\ \text{cm}^{-1}$ 比值规律相似,淮山粉条和红薯粉条的结晶度大于木薯粉条。粉条加工过程中,淀粉结晶结构遭到严重的破坏,但并未完全消失,且不同品种薯类粉条结晶结构破坏的程度不同,这可能会导致其粉条的品质发生不同的变化。

3 结论

研究对比了木薯、红薯和淮山等薯类粉条的色泽、微观样貌、结晶结构。结果表明,经过糊化加工后,各粉条的色泽、微观样貌、结晶结构差异显著。XSSPSN白度值最高,色泽最好,而SFYSN白度值最低,色泽最暗。各粉条的微观样貌差异大,淮山粉条和红薯粉条存在部分还未完全糊化的淀粉颗粒,可以看到明显的团粒结构,木薯粉条的糊化程度最高,淀粉的团粒结构已基本消失,粉条结构由淀粉糊化后的凝胶组成,SC9木薯粉条可以看到均匀完整的网络结构。傅里叶变换红外光谱扫描和X射线衍射结果表明,粉条的结晶结构均遭到破坏,不同品种的薯类粉条的有序结构与无序结构的比例有明显差异。

粉条作为我国重要的淀粉类食品,其与淀粉相关的结构性质直接影响粉条品质,在前期研究中发现,不同来源的淀粉品质存在显著差异,进一步了解粉条品质与粉条结构之间的关系,有助于为进一步提升粉条品质提供技术依据。

参考文献:

- [1] TAN H Z, LI Z G, TAN B. Starch noodles: History, classification, materials, processing, structure, nutrition, quality evaluating and improving[J]. Food Research International, 2009, 42(5-6): 0-576.
- [2] MUHAMMAD K, KUSNANDAR F, HASHIM D M, et al. Application of native and phosphorylated tapioca starches in potato starch noodle[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2001, 34(3): 275-280.
- [3] CHEN Z, SAGIS L, LEGGER A, et al. Evaluation of starch noodles made from three typical Chinese sweet - potato starches[J]. Journal of Food Science, 2002, 67(9): 3342-3347.
- [4] SANDHU K S, KAUR M, MUKESH. Studies on noodle quality of potato and rice starches and their blends in relation to their physicochemical, pasting and gel textural properties[J]. LWT-Food Science and Technology, 2010, 43(8): 1289-1293.
- [5] SINGH N, SINGH J, SODHI N S. Morphological, thermal, rheological and noodle-making properties of potato and corn starch[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2002, 82(12): 1376-1383.
- [6] 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.
- [7] 谭洪卓, 谭斌, 刘明, 等. 甘薯淀粉性质与其粉丝品质的关系[J]. 农业工程学报, 2009, 25(4): 286-292.
- [8] KASEMSUWAN T, BAILEY T, JANE J. Preparation of clear noodles with mixtures of tapioca and high-amylose starches[J]. Carbohydrate Polymers, 1998, 36(4): 301-312.
- [9] 袁霖, 张声华. 粉丝质量与其原料淀粉性质关系的研究[J]. 食品科学, 1991, 12(5): 12-16.
- [10] 范代超. 几种粉丝淀粉特性及其对食用品质的影响研究[D]. 重庆: 西南大学, 2013. 20-35
- [11] TAN H Z, GU W Y, ZHOU J P, et al. Comparative study on the starch noodle structure of sweet potato and mung bean[J]. Journal of Food Science, 2006, 71(8): C447-C455.
- [12] 邹金浩, 李燕, 余虹露, 等. 7种特色根茎类淀粉的流变与凝胶特性研究[J]. 食品与机械, 2019, 35(6): 43-48.
- [13] LI Q, ZHANG L, YE Y, et al. Effect of salts on the gelatinization process of Chinese yam (*Dioscorea opposita*) starch with digital image analysis method[J]. Food Hydrocolloids, 2015, 51: 468-475.
- [14] 孔雁, 张影全, 邢亚楠, 等. 小麦粉质量性状对兰州拉面色泽的影响[J]. 中国食品学报, 2018, 18(12): 295-301.
- [15] WANG D, FAN D C, DING M, et al. Characteristics of different types of starch in starch noodles and their effect on eating quality[J]. International Journal of Food Properties, 2015, 18(11): 2472-2486.
- [16] 李源. 加工处理方法对米粉结构性性质影响的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2012. 24-29.
- [17] 任静, 刘刚, 欧全宏, 等. 淀粉的红外光谱及其二维相关红外光谱的分析鉴定[J]. 中国农学通报, 2014, 31(17): 58-64.
- [18] 满建民, 蔡灿辉, 严秋香, 等. 红外光谱技术在淀粉粒有序结构分析中的应用[J]. 作物学报, 2012, 38(3): 505-513.
- [19] SEVENOU O, HILL S E, FARHAT I A, et al. Organisation of the external region of the starch granule as determined by infrared spectroscopy[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2003, 31(1-3): 79-85.
- [20] 陈翠兰, 张本山, 陈福泉. 淀粉结晶度计算的新方法[J]. 食品科学, 2011, 32(9): 68-72. 

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。