

空气炸锅处理对慈姑淀粉品质的影响

The effect of air fryer treatment on the quality of arrowhead starch

席婉婷¹ 崔林梅² 雷敏³ 戢得蓉¹ 李梦¹ 胡洋澜¹

XI Wan-ting¹ CUI Lin-mei² LEI Min³ JI De-rong¹ LI Meng¹ HU Yang-lan¹

(1. 四川旅游学院食品学院, 四川 成都 610100; 2. 陕西理工大学生物科学与工程学院,

陕西 汉中 723001; 3. 沈阳农业大学食品学院, 辽宁 沈阳 110866)

(1. College of Food and Technology, Sichuan Tourism University, Chengdu, Sichuan 610100, China;

2. College of Biological Science and Engineering, Shaanxi University of Technology, Hanzhong, Shaanxi

723001, China; 3. Food College of Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110866, China)

摘要:目的:探究空气炸锅处理对慈姑淀粉品质的影响。

方法:以慈姑淀粉为研究对象,考察空气炸锅的热循环方式(160℃处理10 min)对不同目数慈姑淀粉理化性质的影响。**结果:**经空气炸锅处理后淀粉性质有所改变,不同粒度的淀粉经处理后表现的性质也有差异。不同目数的慈姑淀粉在空气炸锅处理的作用下,黏度均与原淀粉明显不同,透光率显著增高且透明度增加不同,淀粉透明度随淀粉目数的增高而降低;同时,糊化特性如冻融稳定性也显著降低,溶解度和膨润度有所上升。改性后的慈姑淀粉颗粒外表破碎、有皱缩、形状变化增多,特征衍射峰变化明显。**结论:**空气炸锅处理在一定程度上破坏了慈姑淀粉的颗粒形状,改变了淀粉自身的性质,较其他改性方式更简单。

关键词:慈姑淀粉;变性淀粉;理化指标;空气炸锅

Abstract: Objective: To explore the effect of air frying pan treatment on the quality of arrowhead starch. **Methods:** Taking arrowhead starch as the research object, the effects of thermal cycle mode of air fryer (treated at 160℃ for 10 min) on the physical and chemical properties of arrowhead starch with different mesh numbers were investigated. **Results:** The properties of starch changed after treatment in air fryer, and the properties of starch with different particle sizes were also different after treatment. Under the treatment of air fryer, the viscosity of arrowhead starch with different mesh numbers was significantly different

from that of the original starch, the light transmittance increased significantly and the transparency increased differently, and the transparency of starch decreased with the increase of mesh number; At the same time, the gelatinization properties such as freeze-thaw stability also decreased significantly, and the solubility and swelling degree increased. The modified Sagittaria starch particles have broken appearance, shrinkage, increased shape change, and obvious change of characteristic diffraction peak. **Conclusion:** The air fryer treatment destroyed the particle shape of arrowhead starch to a certain extent, changed the properties of starch itself, which was simpler than other modification methods.

Keywords: arrowhead starch; modified starch; physicochemical index; air fryer

慈姑是泽泻科慈姑属多年生水生直立草本植物^[1],最初种植在欧洲和亚洲温带地区的湿地,在中国、印度尼西亚和其他地区也有种植^[2]。其主要食用部位是块茎,呈黄白色或绿白色^[3],其淀粉已被用于食品工业^[4]。天然淀粉的某些性质限制了其工业应用^[5],如脱水收缩率高,胶体结构呈海绵状,不适合冷冻食品^[6]。慈姑淀粉的透明度仅为13%左右,直接影响了慈姑淀粉及其制品的可接受性和外观^[6-7];慈姑淀粉凝沉性低于普通淀粉^[8],也影响其相关产品的机械性能,从而影响其加工性能、感官性能和营养价值^[9]。

改性淀粉是研究扩展淀粉利用范围的一个重要方向,具体方法有多种^[10],但关于慈姑淀粉的改性方法较少。酸水解后经微波处理可获得慈姑抗性淀粉^[11],其持水性较强,但溶解性和透明度较差;采用 γ -辐照后的慈姑淀粉,溶解度、吸水率和透光率增加,溶胀力、体积密度和脱水率降低^[12-13]。对慈姑块茎粉进行烘烤,可提高其糊化温度和对水、油的吸收能力,有效改变慈姑粉的烘烤特

基金项目:四川省科技厅应用基础研究项目(编号:2018JY0450);四川旅游学院校级重点科研项目(编号:19SCTUZZ04);四川旅游学院科研创新团队基金(编号:2018SCTUTD05);四川旅游学院大学生科研项目(编号:2022XKZ29)

作者简介:席婉婷,女,四川旅游学院在读本科生。

通信作者:戢得蓉(1989—),女,四川旅游学院讲师,硕士。

E-mail: 240765570@qq.com

收稿日期:2021-09-23 **改回日期:**2022-03-05

性^[3]。过氧化氢氧化慈姑淀粉,能改善其溶解度、膨润度及凝沉性,但冻融稳定性变差^[14]。

空气油炸锅^[15]是将循环热空气对流密闭在一个容器中对食物进行快速加热熟化。以空气炸锅热处理作为一种物理改性的方式,能有效简化操作步骤并缩短时间,而且安全性较化学处理也有所提高。研究拟通过对不同粒度下的慈姑淀粉进行空气炸锅处理,探究粒度对慈姑淀粉的影响以及空气炸锅热处理方式对慈姑淀粉理化性质的影响,旨在明确其理化性质变化情况和原理。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

慈姑淀粉:弥勒市竹园镇蔗林食品厂;
分析天平:FA1004 型,常州衡正电子仪器有限公司;
恒温水浴锅:DZKW-S-8 型,北京市永光明医疗仪器有限公司;
pH 计:STARTER 3100 型,奥豪斯仪器有限公司;
恒温加热磁力搅拌器:DF-101S 型,巩义市予华仪器有限责任公司;
黏度计:NDJ-5S 型,上海昌吉地质仪器有限公司;
紫外分光光度计:UV8100 型,北京莱伯泰科仪器有限公司;
电热鼓风干燥器:101-6A 型,北京中兴伟业仪器有限公司;
场发射扫描电子显微镜:SIGMAHD 型,德国蔡司公司;
傅立叶变换红外光谱仪:Nicolet is 50 型,美国赛默飞公司;
X-射线衍射仪:Rigaku smartlab 9 型,日本理学株式会社;
空气炸锅:KL-26J601 型,杭州九阳生活电器有限公司;
色差仪:SC-80C 型,北京康光仪器有限公司;
测量仪:Q200DSC 型,美国 TA 仪器。

1.2 试验方法

1.2.1 变性淀粉的制备 取足量慈姑淀粉过 50 目筛,编号 C100,依次用 300,250,200,150,100,50 目试验筛分离。按最终过筛目数将过 50~300 目筛的淀粉分别标号为 C101~C106。称取 10 g 淀粉样品加入到空气炸锅中,160 ℃处理 10 min,得到样品备用。将原淀粉处理后编号为 C200,按目数 50~300 分别记为 C201~C206。

1.2.2 DSC 测定 采用扫描量热法。

1.2.3 色差测定 参照杨学年等^[16]的方法。

1.2.4 透明度测定 参照张志华^[17]的方法。

1.2.5 溶解度和膨胀度测定 参照郭泽斌^[18]的方法,并按式(1)、式(2)计算淀粉溶解度和膨胀度。

$$S = \frac{A}{M} \times 100\%, \quad (1)$$

$$B = \frac{P}{M(1-S)} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

S——溶解度,%;

A——被溶解淀粉质量,g;

M——溶液中慈姑淀粉质量,g;

B——膨胀度,%;

P——膨胀后质量,g。

1.2.6 冻融稳定性测定 参照焦云鹏等^[19]的方法,按式(3)计算析水率。

$$A = \frac{m - m_1}{m} \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

A——析水率,%;

m——淀粉糊质量,g;

m₁——离心管中沉淀物质量,g。

1.2.7 黏度测定 按 GB/T 22427.7—2008。

1.2.8 电镜分析 将改性前后的慈姑淀粉进行真空冷冻干燥,研碎,使其均匀分散并固定在铜台上,喷金后用扫描电镜观察。

1.2.9 红外光谱分析 采用 KBr 压片法。

1.2.10 X 射线衍射分析 使用 X 射线衍射仪进行测定,测试条件:淀粉过 300 目,Cu-Kα 辐射,波长 1.540 56 nm,衍射扫描范围 5°~40°,管压 40 kV,电流 150 mA,扫描速度 2(°)/min。

1.2.11 数据分析 采用 Origin、SPSS 及 Excel 进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 黏度

由表 1 可知,空气炸锅处理后的淀粉黏度高于原淀粉,其糊化温度发生改变,黏度升高。50,100,150 目数的慈姑淀粉经处理后黏度有较大变化,200,250,300 目数的慈姑淀粉在不同温度下的黏度变化较小。空气炸锅处理后的慈姑淀粉黏度发生明显变化,可能是此物理处理过程对其结构造成了破坏,且由于颗粒大小的不同,所发生的淀粉黏度改变也有所不同,说明选择空气炸锅方式处理时,慈姑淀粉目数大小会影响处理后的淀粉黏度。

2.2 色差

由表 2 可知,原淀粉与空气炸锅处理后的淀粉亮度值 L* 无明显差别,略低于 50 目数的,空气炸锅处理后的 100,250 目数的慈姑淀粉亮度值明显降低,说明空气炸锅处理不能明显提升慈姑淀粉的亮度值,经处理后的淀粉 b* 轻微下降,可能是由于结构的变化导致其对光的折射性能发生改变。过筛后,除 300 目数的慈姑淀粉的 b* 值无明显变化外,其他目数慈姑淀粉的 b* 值明显升高。

2.3 透明度

由图 1 可知,空气炸锅处理对慈姑淀粉的透明度有明显正向的影响,且随着目数的增大即颗粒变小,处理后

表 1 空气炸锅处理前后慈姑淀粉的黏度

Table 1 Viscosity of arrowhead starch before and after treatment

温度/℃	淀粉黏度/(mPa·s)							
	C100	C200	C201	C202	C203	C204	C205	C206
45	103	454	284	495	496	498	494	498
55	136	483	483	496	490	497	390	509
65	150	628	1 130	498	500	515	495	500
75	254	773	1 150	1 150	501	561	503	502
85	421	894	1 170	1 130	1 150	506	510	517

表 2 处理前后慈姑淀粉色差

Table 2 Difference color of arrowhead starch before and after treatment

样品	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *
C100	70.47±0.277 ^b	2.94±0.230 ^a	11.25±0.183 ^a
C200	71.12±0.111 ^b	2.56±0.036 ^b	10.49±0.151 ^b
C201	68.99±0.127 ^c	2.85±0.462 ^a	12.90±0.211 ^a
C202	69.92±0.093 ^b	2.78±0.195 ^a	12.25±0.161 ^a
C203	70.02±0.166 ^b	3.04±0.046 ^a	12.01±0.067 ^a
C204	70.17±0.006 ^b	2.97±0.081 ^a	12.21±0.160 ^a
C205	69.72±0.006 ^d	2.90±0.070 ^a	12.33±0.199 ^a
C206	70.45±0.190 ^a	2.47±0.029 ^b	10.07±0.046 ^b

的慈姑淀粉的透明度呈上升趋势,说明空气炸锅处理影响了其与水结合的能力,破坏了慈姑淀粉颗粒间的结构,改变了慈姑淀粉的分散程度。

2.4 溶解度和膨润度

由图 2 可知,处理前后淀粉膨润度和溶解度变化有所差异。未处理原淀粉的溶解度和膨润度均较小,空气炸锅处理后,淀粉的膨润度和溶解度随目数的增大而增大。这是由于淀粉颗粒更加细小,容易溶于水,因此溶解度更高。

2.5 冻融稳定性

由图 3 可知,改性后的淀粉析水率增大,且随着目数

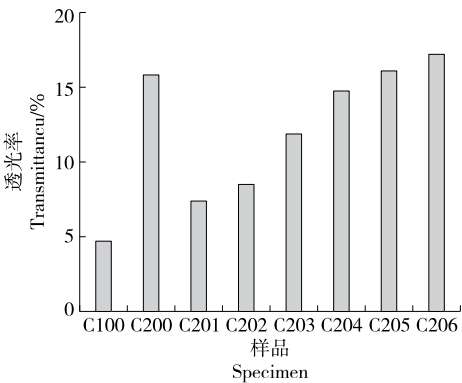


图 1 处理前后慈姑淀粉的透明度

Figure 1 Transparency of arrowhead starch before and after treatment

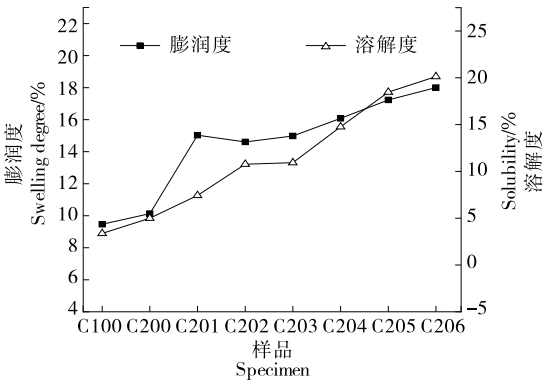


图 2 处理前后淀粉的膨润度和溶解度

Figure 2 Starch swelling degree before and after treatment

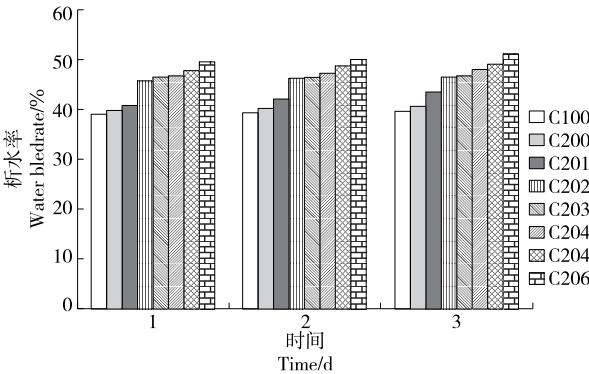


图 3 处理前后慈姑淀粉的冻融稳定性

Figure 3 Freeze-thaw stability of arrowhead starch before and after treatment

的增大,淀粉的析水率也依次增大,表明冻融稳定性变差。这可能是由于淀粉结构改变,直链淀粉变多的缘故^[20]。

2.6 DSC

由图 4 可知,处理前后淀粉的相变起始温度变化较小,不同粒度条件下相变的起始温度变化也较小。C106 和 C201 的相变糊化焓差异较大,不同粒度间 C201 和 C206 的相变峰值温度差异较小。C106 和 C206 的相变终值温度差异明显,但不同粒度间 C201 和 C206 的相变峰值温度差异更加明显。不同粒度间糊化焓差异较大可能是糊化过程中粒度的差异造成的,空气炸锅处理后的淀

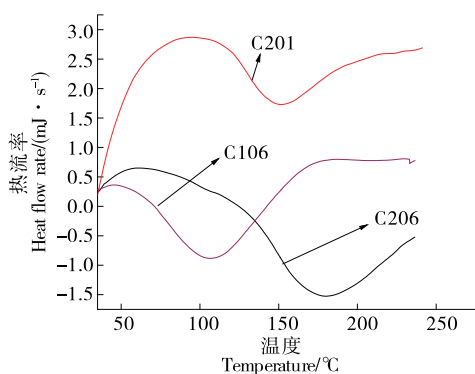


图4 处理前后慈姑淀粉的DSC分析

Figure 4 DSC analysis of arrowhead starch before and after treatment

粉更易糊化^[21]。

2.7 扫描电镜

慈姑原淀粉颗粒主要呈球形,表面光滑膨胀^[14]。由图5可知,经空气炸锅处理后,C201表面裂纹明显增多,且相比C206的表面也有明显的裂纹变化。由于筛分方式的局限性,C201中还包含些许C206的颗粒。处理后的两种淀粉表面均有不同程度的皱缩,表明空气炸锅处理慈姑淀粉并未改变淀粉的形状,但对淀粉颗粒的表面有较明显的影响。颗粒表面结构发生变化,说明其中的支链淀粉、直链淀粉含量等可能发生了变化^[22]。

2.8 红外光谱

在 $3\,000\sim 3\,500\text{ cm}^{-1}$ 范围内,羧基二聚体强氢键使O—H伸缩振动变成弥散的宽谱带,改性淀粉的分子中和分子间的O—H基团形成的氢键作用力强,O—H伸缩振动向低频移动,吸收谱比原淀粉更加弥散。慈姑淀粉之间的变化最为明显,可能是由于淀粉分子处于不断运动的状态,此时氢键O—H...O中的距离在不断变化。而H...O之间的距离在一定范围内:变化的范围越大,谱

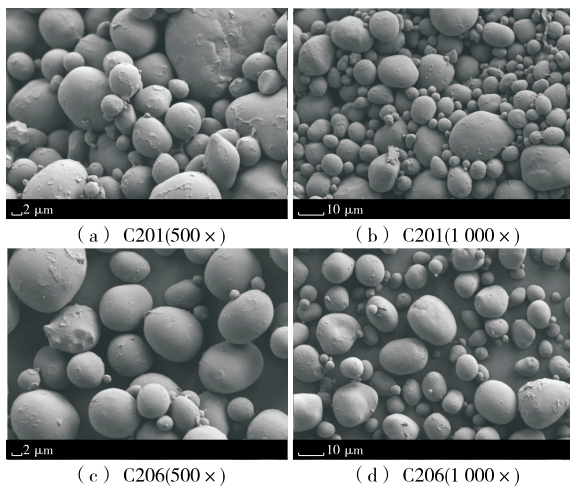


图5 淀粉颗粒电镜结果图

Figure 5 Electron microscopic results of starch granules

带就越弥散^[23]。由图6可知,变性后的慈姑淀粉的作用效果明显,可能是由于慈姑淀粉的结构发生了变化。

2.9 X-衍射

慈姑原淀粉在 15.16° , 17.10° , 17.92° , 22.99° 处出现了明显的吸收峰,属于典型的A型射线衍射谱图。由图7可知,经处理的同一粒度淀粉的衍射峰明显变高,而不同粒度的淀粉处理后的衍射峰又有明显的升高,说明不仅空气炸锅处理对淀粉性质有影响,且粒度对淀粉的结构也有明显影响,可能是由于淀粉部分结晶结构发生了改变。原淀粉C101的结晶度为43.55%,处理后C201的结晶度为46.73%,C206的结晶度为34.71%。同样粒度下的C101和C201的结晶度相差较小,但处理后C201和C206之间相差较C101和C201之间的大,可能是淀粉经空气炸锅处理后,随着粒度的不断变大,结晶度之间的差异也就越大,说明粒度对淀粉的作用是有有效的。结晶度的变化可能是由于热处理对淀粉的内部结构造成了影响,使内部结构发生了变化。

3 结论

试验表明,空气炸锅处理作用下,淀粉的结晶度上升,且随粒度的减小结晶度下降,透明度冻融稳定性上

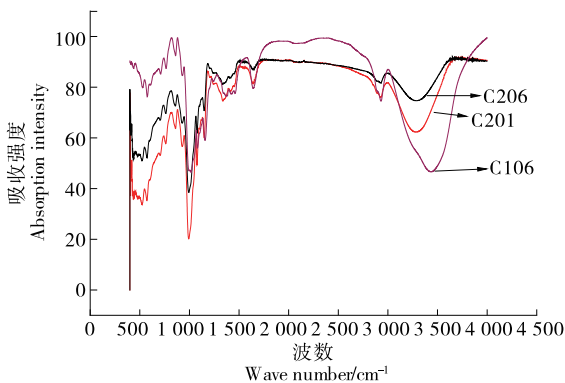


图6 处理前后慈姑淀粉的红外光谱分析

Figure 6 Infrared spectroscopic analysis of arrowhead starch before and after treatment

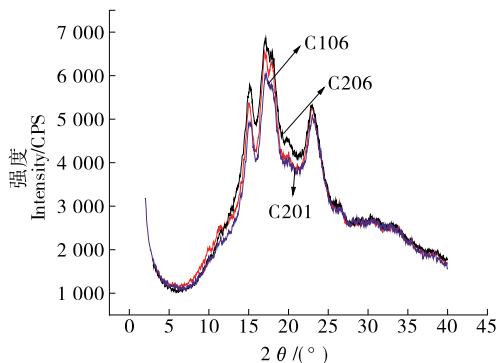


图7 处理前后慈姑淀粉的X-衍射分析

Figure 7 X-ray diffraction analysis of arrowhead starch before and after treatment

升。电镜下的颗粒外表结构差异明显,表明淀粉结构受到了破坏,且在微观上红外光谱分析和 X-衍射分析差异明显。不同淀粉粒度状态下,随着粒度的减小,慈姑淀粉的色差有明显不同,透明度明显上升,冻融稳定性增加,膨润度的差异也增加。研究拓展了物理改性方法空气炸锅对慈姑淀粉的处理,了解到过筛不同目数淀粉的理化性质变化情况,但尚未考虑空气炸锅对直链淀粉含量等的影响变化,仍需更多试验论证。

参考文献

- [1] 唐小闲, 段振华, 任爱清, 等. 即食慈姑片微波干燥特性及动力学模型研究[J]. 食品与机械, 2020, 36(10): 177-182, 227.
TANG X X, DUAN Z H, REN A Q, et al. Study on microwave drying characteristics of instant arrowhead slices and kinetic model[J]. Food & Machinery, 2020, 36(5): 177-182, 227.
- [2] LI A, ZHANG Y H, ZHANG Y J, et al. Comparison of morphology and physicochemical properties of starch among 3 arrowhead varieties[J]. Journal of Food Science, 2016, 81(5): C1 110-C1 117.
- [3] WANI I A, GANI A, TARIQ A, et al. Effect of roasting on physicochemical, functional and antioxidant properties of arrowhead (*Sagittariasagittifolia* L.) flour[J]. Food Chemistry, 2016, 197: 345-352.
- [4] KUHNLEIN H V, TURNER N J. Traditional plant foods of Canadian indigenous peoples: Nutrition, botany and use[J]. Food & Nutrition in History & Anthropology, 1991, 13(1): 98.
- [5] BETANCUR A D, CHEL G L. Acid hydrolysis and characterization of *Canavalia ensiformis* Starch[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1997, 45(11): 378-382.
- [6] 赵力超, 伍颖华, 刘欣, 等. 慈姑淀粉糊特性研究[J]. 食品科学, 2010, 31(11): 87-90.
ZHAO L C, WU Y H, LIU X, et al. Starch paste properties of cigu[J]. Food Science, 2010, 31(11): 87-90.
- [7] KIM Y S, WIESENBOEN D P, LORENZEN J H, et al. Suitability of edible bean and potato starches for starch noodles [J]. Cereal Chemistry, 1996, 73(3): 302-308.
- [8] 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.
- [9] MATIGNON A, TECANTE A. Starchretrogradation: From starch components to cereal products[J]. Food Hydrocolloids, 2017, 68: 43-52.
- [10] IDREES A W, ARIF A W, ADIL G, et al. Effect of gamma-irradiation on physico-chemical and functional properties of arrowhead (*Sagittariasagittifolia* L.) tuber flour[J]. Food Bioscience, 2015, 11: 23-32.
- [11] HAQ F, YU H J, WANG L, et al. Advances in chemical modifications of starches and their applications[J]. Carbohydrate Research, 2019, 476: 12-35.
- [12] WEI Q, WEN C T, ZHANG J X, et al. Structural characterization and physicochemical properties of arrowhead resistant starch prepared by different methods[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 157: 96-105.
- [13] WANI A A, WANI I A, HUSSAIN P R, et al. Physicochemical properties of native and γ -irradiated wild arrowhead (*Sagittariasagittifolia* L.) tuber starch[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2015, 77: 360-368.
- [14] 戴得蓉, 雷敏, 谢建明, 等. 过氧化氢/硫酸铜氧化慈姑淀粉的制备及性质研究[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(13): 209-216.
JI D R, LEI M, XIE J M, et al. Preparation and properties of arrowhead starch oxidized by $H_2O_2/CuSO_4$ [J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(13): 209-216.
- [15] 杨佚. 空气炸锅: 用空气煎炸食物[J]. 大众用电, 2013(12): 40.
YANG Y. Air frying pan: Frying food with air [J]. Public Electricity, 2013(12): 40.
- [16] 杨学岩, 周维. 色差的测量和评定方法及应用[J]. 现代涂料与装, 2014, 17(9): 1-4, 29.
YANG X Y, ZHOU W. Methods for measuring and evaluating chromatic aberrations and their applications[J]. Modern Coatings and Fittings, 2014, 17(9): 1-4, 29.
- [17] 张志华. 超声波处理对淀粉结构与性质的影响研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2012: 16.
ZHANG Z H. Effect of ultrasonic treatment on the structure and properties of starch[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2012: 16.
- [18] 郭泽镜. 超高压处理对莲子淀粉结构及理化特性影响的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2014: 43.
GUO Z B. Effect of ultrahigh pressure treatment on the structure and physicochemical properties of lotus seed starch[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2014: 43.
- [19] 焦小鹏, 贡汉坤. 慈姑淀粉的提取及性质研究[J]. 食品科技, 2013, 38(7): 193-197.
JIAO Y P, GONG H K. Study on the extraction and properties of mushroom starch[J]. Food Science and Technology, 2013, 38(7): 193-197.
- [20] 何海霞, 黎冬明, 吴莹莹, 等. 脚板薯淀粉理化特性研究[J]. 食品与机械, 2020, 36(5): 30-33, 38.
HE H X, LI D M, WU Y Y, et al. Study on physicochemical properties of the starch from *Dioscorea alata* L.[J]. Food & Machinery, 2020, 36(5): 30-33, 38.
- [21] 赖健. 微波处理对板栗淀粉结晶度的影响[J]. 食品与发酵工业, 2005(5): 40-42.
LAI J. Effect of microwave treatment on crystallinity of chestnut starch[J]. Food and Fermentation Industry, 2005(5): 40-42.
- [22] 王绍清, 王琳琳, 范文浩, 等. 扫描电镜法分析常见可食用淀粉颗粒的超微形貌[J]. 食品科学, 2011, 32(15): 74-79.
WANG S Q, WANG L L, FAN W H, et al. Scanning electron microscopy was used to analyze the ultrafine morphology of common edible starch granules[J]. Food Science, 2011, 32(15): 74-79.
- [23] 翁诗甫, 黄倩, 郭洪梅, 等. 傅里叶变换红外光谱分析[M]. 3 版. 北京: 化学工业出版社, 2016: 38-42.
WENG S F, HUANG Q, GUO H M, et al. Fourier transform infrared spectroscopy analysis[M]. 3rd Ed. Beijing: Chemical Industry Press, 2016: 38-42.