

高直链枇杷核淀粉的提取与表征

方修贵¹, 俞国伟^{1*}, 曹雪丹¹, 赵凯¹, 林媚¹, 黄振东¹, 李祖光², 滕渊洁²

(1. 浙江省柑橘研究所, 浙江台州 318026; 2. 浙江工业大学 化学工程学院, 浙江杭州 310014)

摘要: 枇杷 [*Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl.] 是重要的经济作物。作为生产枇杷罐头的副产品, 枇杷果核含有大量的淀粉, 在食品、材料加工等领域具有潜在的应用价值。为了解枇杷核淀粉的潜在用途, 考察淀粉的基本组成, 并从晶体形貌、质构特性等多个方面做表征, 发现淀粉的纯度为 92.60%, 直链淀粉含量为 49.30%。淀粉颗粒形状多为凹球形、多面体。根据晶体特性判定枇杷核淀粉属于 C 型淀粉。相比于马铃薯淀粉、玉米淀粉, 枇杷核淀粉制成的凝胶质构参数都适中。

关键词: 枇杷核; 淀粉; 表征; 糊化; 全质构分析

Extraction and Characterization of High Amylose Content Starch from Loquat Kernels

FANG Xiu-gui¹, YU Guo-wei^{1*}, CAO Xue-dan¹, ZHAO Kai¹, LIN Mei¹, HUANG Zhen-dong¹,
LI Zu-guang², TENG Yuan-jie²

(1. Zhejiang Institute of Citrus Research, Taizhou 318026, Zhejiang, China; 2. College of Chemical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, Zhejiang, China)

Abstract: The loquat [*Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl.] is an important cash crop. Loquat kernels are a by-product of loquat can production. They contain a large amount of starch that may have potential applications in food and material processing. To promote realization of potential uses of loquat kernel starch, its basic composition was investigated. Several aspects were characterized, including crystal morphology, textural properties, etc. Starch purity was 92.60% by weight, and amylose content was 49.30% by weight. Starch particle shape mainly included cupped spheres and polyhedrons. Loquat kernel starch belongs to the C-type starches according to its crystal properties. By comparison with potato starch and maize starch, the textural parameters of the gel produced from loquat kernel starch were all midrange.

Key words: loquat kernel; starch; characterization; gelatinization; textural profile analysis (TPA)

引文格式:

方修贵, 俞国伟, 曹雪丹, 等. 高直链枇杷核淀粉的提取与表征[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(15): 84-91.

FANG Xiugui, YU Guowei, CAO Xuedan, et al. Extraction and Characterization of High Amylose Content Starch from Loquat Kernels[J]. Food Research and Development, 2021, 42(15): 84-91.

枇杷 [*Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl.] 是蔷薇科中为数不多的亚热带代表性作物^[1], 属于常绿果树^[2]。一般认为枇杷起源于中国东南部, 自古就在中国和日本有大量栽培^[1]。在中国, 枇杷集中分布于东部、中南部以及西南部, 栽培历史已超过 2 200 年^[3]。枇杷树

的果实、果核、叶片与花皆可用作中药材^[3]。如今, 枇杷已在世界范围广泛栽培^[2]。中国的枇杷年产量已达 38 000 t 以上, 占世界总产量的三分之二^[3]。在浙江黄岩, 枇杷与杨梅、蜜橘并称为三大特产。

枇杷果实除了鲜销外, 还可以加工成果酱、罐头。枇杷罐头企业每年产生大量的枇杷果核作为副产品丢弃, 其果核中含有大量淀粉, 有待开发利用。如今, 为了降低淀粉行业对于粮食原料的依赖性, 做到“不与人争粮”, 开发新型非粮原料淀粉已成为研究热点。例如, 从短柄枹栎种子^[4]、鹰嘴豆^[5]、白果^[6]、菠萝蜜籽^[7]、

基金项目: 浙江省科学技术厅公益项目(LGN18C200005)

作者简介: 方修贵(1964—), 男(汉), 副研究员, 本科, 研究方向: 食品加工。

* 通信作者: 俞国伟(1988—), 男(汉), 博士, 研究方向: 天然产物化学。

芸豆^[8]、莲子^[9]、茶籽粕^[10]、竹豆^[11]、紫茉莉籽^[12]、芭蕉芋^[13]、罗汉参^[14]、桃榔^[15]等资源中得到的淀粉的理化特性、生物活性已经得到了较深入的研究。而该领域对枇杷果核中淀粉至今仍然没有相关研究。

本文为了论证枇杷核淀粉的应用价值,用传统方法从枇杷果核中提取淀粉,用国标法进行基本成分分析,并用场发射扫描电子显微镜(field emission-scanning electron microscope, FE-SEM)、动态光散射(dynamic light scattering, DLS)、傅里叶变换红外光谱(Fourier transform infrared spectrometry, FT-IR)、X射线衍射(X-ray diffraction, XRD)、热重分析(thermogravimetric analysis, TGA)、差示扫描量热法(differential scanning calorimetry, DSC)、全质构分析(textural profile analysis, TPA)等多种不同技术手段进行表征,用于考察该新产品的物理、化学特性,为进一步的应用研究提供必要信息。

1 材料与amp;方法

1.1 原材料与试剂

枇杷果核:浙江台州黄岩第一罐头食品厂;甘油(分析纯)、溴化钾(光谱级):上海阿拉丁生化科技公司;马铃薯淀粉(生化试剂):上海国药集团化学试剂有限公司;玉米淀粉:江苏南京甘汁园糖业有限公司。

1.2 仪器

FEI Nova Nano SEM 450 超高分辨率扫描电子显微镜:美国FEI公司;NanoBrook Omni多角度粒度与高灵敏度Zeta电位分析仪:美国布鲁克海文仪器公司;Nexus傅里叶变换红外分析仪:美国尼高力公司;Ultima IV X射线衍射仪:日本理学株式会社;TA Q5000 IR热重分析仪:美国TA仪器有限公司。Mettler Toledo差示扫描量热仪:瑞士梅特勒-托利多集团;TA.new plus全质构分析仪:美国Isenso集团。

1.3 淀粉的提取方法

提取枇杷核淀粉流程如图1所示。

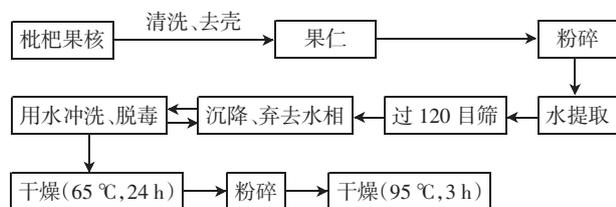


图1 提取枇杷核淀粉流程

Fig.1 Flow diagram of extraction of loquat kernel starch

将果核去壳得到果仁,粉碎后直接用水提取淀粉。初步得到的粗淀粉需要反复用水冲洗至少3次,

用以除去氢氰酸,确保每公斤最终产品中的氢氰酸含量不高于0.5 mg。最终得到的产品如图2所示。



图2 枇杷核淀粉最终产品外观

Fig.2 Appearance of the final product of loquat kernel starch

1.4 基本成分分析

1.4.1 淀粉纯度测定

通过测定产品中淀粉的实际含量来确定枇杷核淀粉的纯度,方法基于GB 5009.9—2016《食品安全国家标准 食品中淀粉的测定》中的第二法,从样品中除去可溶性糖和脂质,然后酸解生成还原性单糖,测定单糖的含量,进而计算出淀粉的含量。

1.4.2 直链淀粉含量测定

直链淀粉的测定方法基于GB/T 15683—2008《大米 直链淀粉含量的测定》,样品先进行脱脂,然后分散在NaOH溶液中,添加碘试剂,根据溶液在720 nm处的吸光值计算直链淀粉含量。

1.4.3 水分、灰分、蛋白质、脂质含量测定

根据GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》中的第一法,通过测定枇杷核淀粉在干燥前后的质量变化计算其水分含量。灰分含量的测定基于GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》中的第一法,将样品焙烧并称量以计算灰分含量。蛋白质含量的测定使用凯氏定氮法,基于GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中的第一法。脂质含量的测定采用GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》中的第二法,样品先用盐酸水解,将结合态脂质转化为游离态脂质,并对游离态脂质进行提取、量化。用该方法可以计算出样品中游离态脂质和结合态脂质的总量。

1.5 微观形貌观察

将样品黏附在导电胶上,喷涂金粉,然后固定在FE-SEM的样品台上进行电镜观察,在2000×的放大倍数下获取显微照片。

1.6 粒度分析

用DLS法对枇杷核淀粉进行粒度分析。将1 g枇杷核淀粉与20 mL甘油混合,在室温(25±2)℃下进行

10 min 的磁力搅拌,然后超声处理 3 min,再振荡数次,将混合物倒入石英皿中进行分析。

1.7 官能团特性表征

将样品与溴化钾按照质量比 5:95 混合。将混合物压制成圆形薄片放入红外分析仪中进行表征。红外扫描范围设定为 $400\text{ cm}^{-1}\sim 4\,000\text{ cm}^{-1}$,分辨率设定为 4 cm^{-1} ,进行 64 次扫描以获得样品的 FT-IR 谱图。

1.8 晶体特性表征

取样品粉末直接进行 XRD 表征,扫描范围设定为 $5^\circ\sim 90^\circ$,步长设定为 0.02° 。

1.9 热特性表征

1.9.1 TGA

测试条件在文献[16]的基础上做出调整。将大约 20 mg 枇杷核淀粉放置于小坩锅中,将坩锅置于热重分析仪的炉腔中,在 N_2 气氛下,温度以 $15\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ 的升温速率从 $25\text{ }^\circ\text{C}$ 升至 $600\text{ }^\circ\text{C}$ 。

1.9.2 DSC

测试条件在文献[17]基础上做出调整。将枇杷核淀粉与蒸馏水按照质量比 1:3 的比例混合形成悬液。将少量的悬液倒入小坩锅中,将坩锅置于差示扫描量热仪中。在 N_2 气氛下,温度以 $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ 的升温速率从 $25\text{ }^\circ\text{C}$ 升至 $140\text{ }^\circ\text{C}$ 。

1.10 凝胶特性表征

将淀粉与水混合,在 $95\text{ }^\circ\text{C}$ 下加热 20 min,同时进行温和磁力搅拌,以防止淀粉沉降。将制得的淀粉凝胶置于全质构分析仪的载物台上,选用 TA/0.5 圆柱形凝胶测试探头进行全部测试。测试类型设定为压缩,距离设定为 20 mm。两次压缩之间的时间间隔设定为 5 s。测试前探头移动速度为 $3\text{ mm}/\text{s}$,测试速度为 $1\text{ mm}/\text{s}$,测试后速度为 $1\text{ mm}/\text{s}$ 。

2 结果与讨论

2.1 基本组成

国标法检测得到的枇杷核淀粉基本组成见表 1。

表 1 国标法检测得到的枇杷核淀粉基本组成

Table 1 Basic composition of loquat kernel starch determined with Chinese standard methods

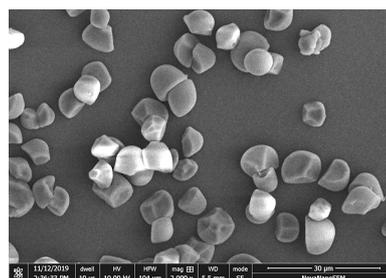
项目	含量/%
蛋白质	0.38
脂质	0.10
灰分	0.07
水分	2.02
淀粉	92.60
直链淀粉(干基)	49.30

如表 1 所示,枇杷核淀粉中的灰分、蛋白质、脂质含量都处于较低水平,灰分含量尤其低。样品中淀粉的实际含量为 92.60%,其中,直链淀粉含量(干基)为 49.30%。

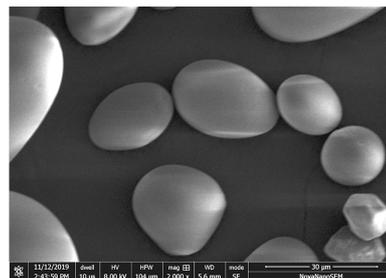
在 Punia 等^[18]的研究中,小麦淀粉的直链淀粉含量为 23.8%。相比之下,本研究中枇杷核淀粉的直链淀粉含量高出很多。高直链淀粉含量的淀粉具有多个方面的优异特性,这是枇杷核淀粉的最有价值之处。

2.2 SEM 结果

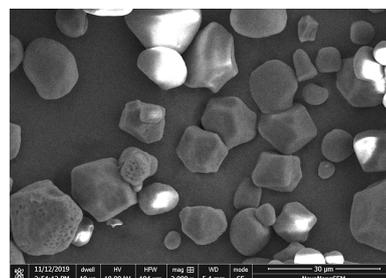
从图 3 中可以看到,枇杷核淀粉颗粒的形状明显不规则,多数呈凹球形或多面体,具有清晰的棱角。颗粒之间存在聚集行为。此外,还能看到一些淀粉颗粒表面黏附了较微小的颗粒,可能是脂质、蛋白质等杂质。



(A)



(B)



(C)

(A)枇杷核淀粉;(B)马铃薯淀粉;(C)玉米淀粉。

图 3 淀粉 SEM 照片

Fig.3 SEM photographs of starch

马铃薯淀粉颗粒相当规则,并能较好地分散,其中多数为卵形或球形,只有很少量的颗粒呈不规则多面体。玉米淀粉的显微特征与枇杷核淀粉相似,颗粒形状不规则,存在大量的多面体,还有很少量的颗粒

呈球形或钟形。颗粒之间有很明显的聚集行为,一些颗粒表面具有孔道。导致这些淀粉样品具有不同微观形貌的原因不仅仅是淀粉种类的差异,还与淀粉的纯度有关。本研究提取的枇杷核淀粉含有一定量的脂质、蛋白质,这已经由基本组成分析结果所论证。该类杂质的存在会使淀粉颗粒之间的静电力分布变得不规则,因而导致颗粒的聚集行为同样不规则。

2.3 DLS 结果

枇杷核淀粉的 DLS 结果如表 2 所示。

其有效直径的平均值为 15.34 nm, 平均多分散度为 5.851。颗粒直径与多分散指数的标准误、标准差都处在误差允许的范围内,表明结果可靠。

相比于 SEM 直接观察到的粒径,DLS 测得的结果

表 2 枇杷核淀粉的粒度分析结果
Table 2 Analytical results of particle size of loquat kernel starch

运行序号	有效直径/nm	多分散度	计数率/kcps	扩散系数/(cm ² /s)
1	13.18	7.169	2 176.8	3.506 × 10 ⁻¹⁰
2	14.41	3.871	2 044.5	3.208 × 10 ⁻¹⁰
3	18.42	6.514	2 209.1	2.509 × 10 ⁻¹⁰
平均值	15.34	5.851	2 143.5	3.074 × 10 ⁻¹⁰
标准误	1.58	1.008	50.4	2.953 × 10 ⁻¹¹
标准差	2.74	1.746	87.2	5.115 × 10 ⁻¹¹

显著偏低。该现象说明枇杷核淀粉颗粒在固态下更容易聚集,因而粒径大于 DLS 所测定的悬液中的颗粒粒径。

2.4 FT-IR 结果

不同淀粉样品的 FT-IR 谱图见图 4。

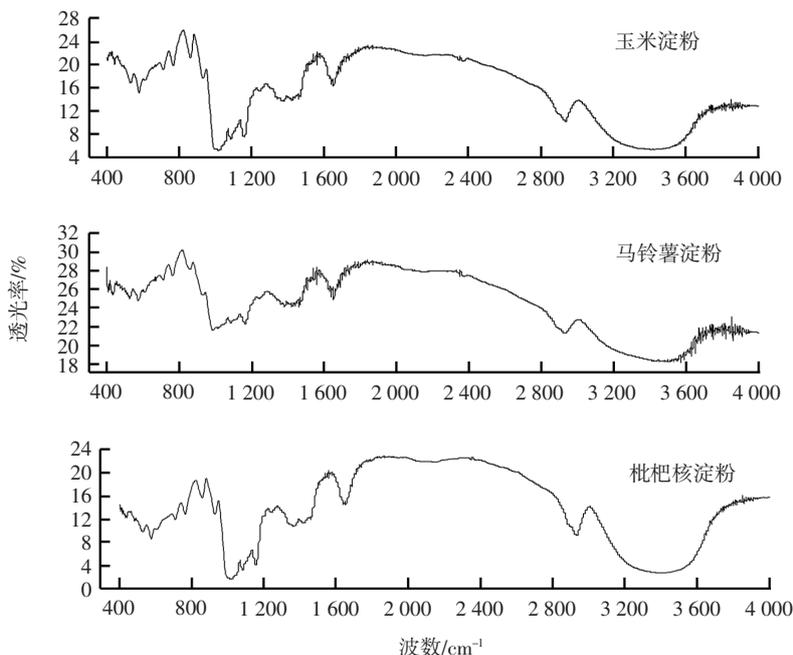


图 4 不同淀粉样品的 FT-IR 谱图

Fig.4 FT-IR spectrograms of different starch samples

从图 4 中可以看出 3 个淀粉样品具有一些完全相同的红外吸收范围,包括 462 cm⁻¹~682 cm⁻¹、965 cm⁻¹~1 189 cm⁻¹、1 285 cm⁻¹~1 472 cm⁻¹、1 594 cm⁻¹~1 707 cm⁻¹、1 985 cm⁻¹~2 278 cm⁻¹、2 850 cm⁻¹~3 004 cm⁻¹、3 004 cm⁻¹~3 742 cm⁻¹。对比吸收强度后发现,枇杷核淀粉、玉米淀粉在 462 cm⁻¹~682 cm⁻¹、965 cm⁻¹~1 189 cm⁻¹、2 850 cm⁻¹~3 004 cm⁻¹ 的范围内具有比马铃薯淀粉较强的红外吸收。在 3 004 cm⁻¹~3 742 cm⁻¹,枇杷核淀粉的红外吸收比玉米淀粉、马铃薯淀粉都更强。除了上述范围,3 个淀粉样品在其它波数范围的红外吸收强度相对接近。总体上,枇杷核淀粉的红外特征吸收更接近于玉米淀粉。

2.5 XRD 结果

淀粉根据 X 射线衍射结果可以分为 A 型、B 型、C

型^[9]。A 型淀粉在 2θ 衍射角为 17、18° 时具有双峰,在 2θ 为 15°、23° 时具有较强的衍射峰。B 型淀粉在 17° 具有强峰,在 5.6° 具有特征峰。除此之外,还在 15、22、24° 附近具有多个小峰。C 型淀粉的衍射方式是 A 型和 B 型的组合类型^[9]。测试并比较了马铃薯淀粉、玉米淀粉、枇杷核淀粉的 X 射线衍射情况。3 个淀粉样品的 XRD 谱图如图 5 所示。

图 5 结果表明,玉米淀粉在 15.1、17.2、19.6、23.1° 有衍射峰,属于 A 型。马铃薯淀粉在 5.7、15.1、17.2、23.1° 有衍射峰,属于 B 型。

枇杷核淀粉的衍射行为明显是上述两种淀粉的混合类型,相对更接近于玉米淀粉。因此,可以初步判定枇杷核淀粉是 C 型淀粉。

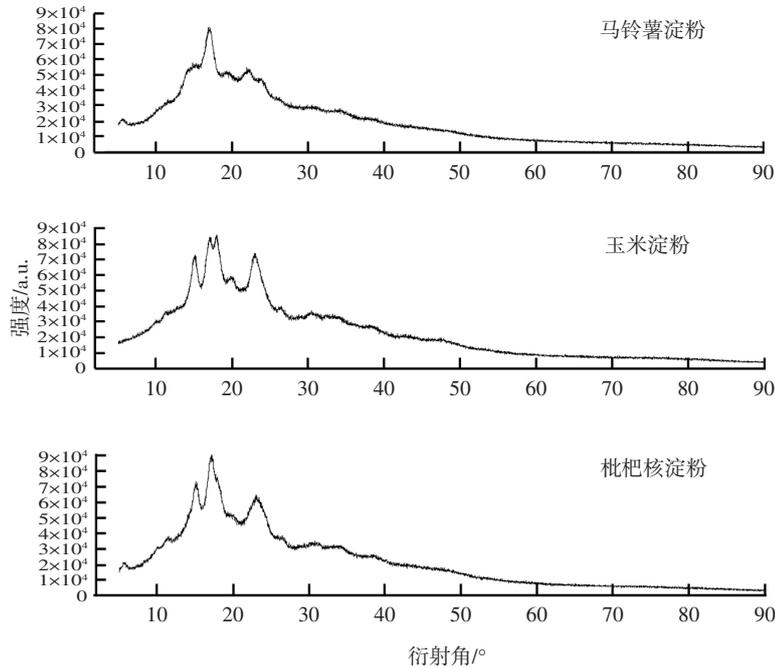
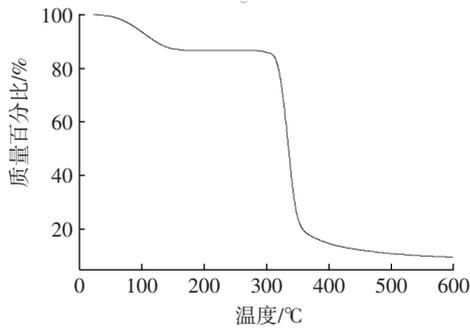


图5 不同淀粉样品的XRD谱图
Fig.5 XRD spectrograms of different starch samples

2.6 TGA 结果

枇杷核淀粉在升温过程中的质量损失见图6。



从图6中可以观察到,在升温的初始阶段,枇杷核淀粉只有轻微的质量损失。当温度达到100℃时,质量

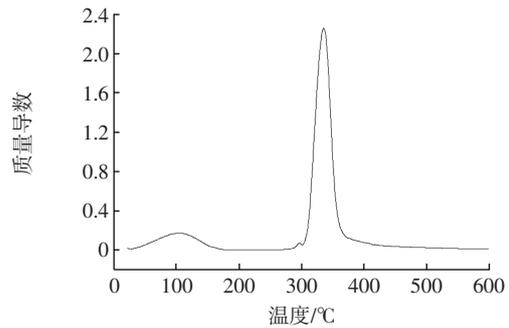


图6 枇杷核淀粉在升温过程中的质量损失
Fig.6 Weight loss during temperature rise of loquat kernel starch

损失程度达到第一个峰值。很显然,第一阶段的质量损失主要是由淀粉中所含水分的蒸发导致的。

当温度达到193.9℃时,淀粉的质量降低为初始质量的86.7%,即质量损失程度为13.3%。此后,样品质量趋于稳定。然而,当温度升至318.7℃时,枇杷核淀粉再次失重,幅度显著大于前一次,这说明淀粉发生了强烈解离。当温度达到335.3℃时,质量导数达到最大值2.258。当温度升至383.6℃时,淀粉的质量降低为初始质量的16.2%,即质量损失程度为83.8%。此后,质量损失速率开始降低,并逐渐趋于稳定。

Abera等^[19]的研究表明从25℃至240℃的升温过程中,马铃薯淀粉、小麦淀粉的质量损失程度分别为4%、11%。从240℃至316℃,马铃薯淀粉、小麦淀粉的

质量损失程度分别为67%、71%。相比之下,本研究的枇杷核淀粉质量损失亦分为两个阶段,且后一个阶段质量损失明显更大,但解离温度较高,这表明枇杷核淀粉的热稳定性高于谷物淀粉。

2.7 DSC 结果

枇杷核淀粉悬液的DSC测试结果如图7所示。

玻璃化温度的起点为64.98℃,中点为66.91℃。糊化温度的起点 T_0 为109.30℃,峰值 T_p 为111.55℃,终点 T_e 为118.84℃。

糊化焓是打破淀粉颗粒中有序螺旋结构所需的能量^[19]。在糊化过程中,淀粉需要克服氢键作用力,因而糊化是典型的吸热过程。该过程中,淀粉颗粒吸收水分并膨胀,分子从有序态变为无序态。另一方面,升

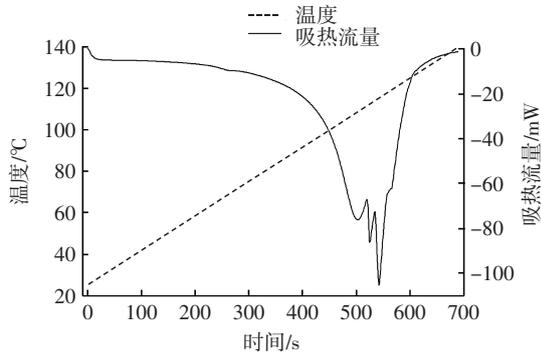


图7 枇杷核淀粉悬液的升温过程以及相应的环境热流变化
Fig.7 Temperature rise process of loquat kernel starch slurry, and the corresponding variation of heat flow of the environment

温过程中淀粉的吸热情况与淀粉类型、颗粒形状、粒径以及所含杂质的种类有关。因此,糊化过程中会发生复杂的热流变化。

Abera 等^[19]报道了马铃薯淀粉、小麦淀粉的糊化温度 T_0 分别为 56.53、55.56 °C, T_p 分别为 61.46、61.14 °C, T_c 分别为 68.47、67.06 °C。Zhu 等^[20]的研究表明马铃薯、

甘薯、藜麦淀粉的 T_0 分别为 60.3、60.8、53.6 °C。甘薯、藜麦、马铃薯淀粉的 T_c 分别为 75.2、73.4、71.5 °C。通过对比很容易发现,本研究中枇杷核淀粉的糊化温度明显高于已有报道的其它淀粉。这可能是由枇杷核淀粉的较高结晶度造成的,同时,由于直链淀粉比支链淀粉更难糊化,因而枇杷核淀粉中较高的直链淀粉含量也可能是引起糊化温度偏高的关键因素。

2.8 凝胶全质构分析结果

该部分测试的样品包括 15% 马铃薯淀粉凝胶, 15% 玉米淀粉凝胶, 以及浓度分别为 15%、20% 的枇杷核淀粉凝胶。在制备淀粉凝胶的过程中注意到马铃薯淀粉的悬液成胶速率较快。玉米淀粉悬液相对较难成胶, 而枇杷核淀粉悬液最难成胶。在温度已经达到设定值的情况下, 仍然需要持续加热数分钟才能得到凝胶。这说明枇杷核淀粉悬液需要吸收更多热量才能成胶, 该现象与 2.7 所述枇杷核淀粉具有较高糊化温度是一致的。不同淀粉凝胶样品的全质构分析所得的 $F-t$ 曲线见图 8。

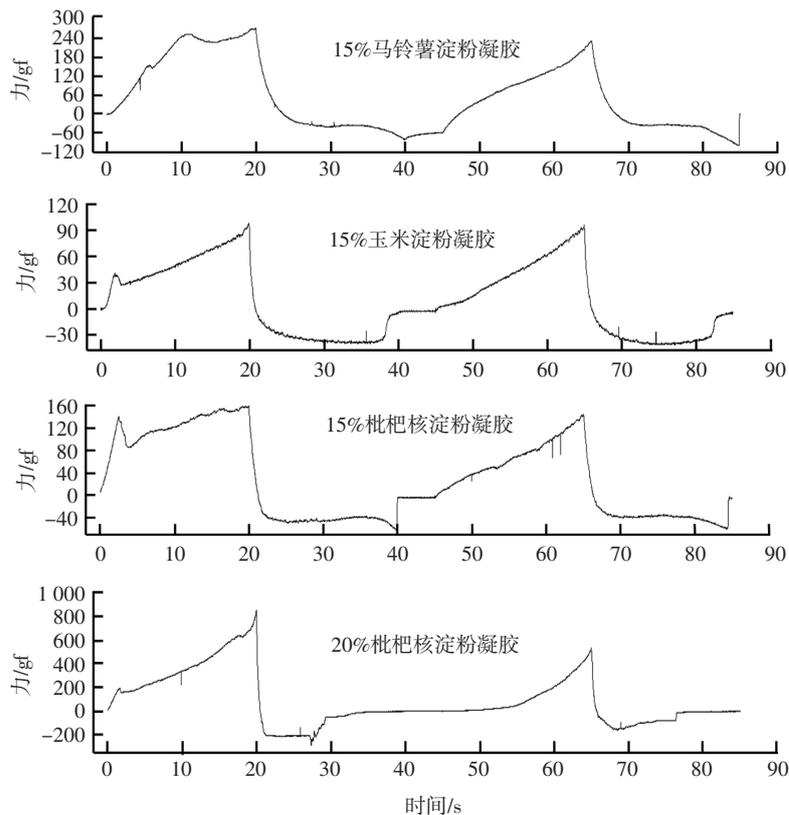


图8 不同淀粉凝胶样品的全质构分析所得的 $F-t$ 曲线
Fig.8 $F-t$ curves obtained from TPA of different starch gel samples

全质构分析的目的是模拟人的咀嚼行为,用特定的探头挤压样品,记录探头所受的力与时间的对应关系。基于 $F-t$ 关系,可以计算出硬度、脆度、咀嚼度等质构参数。不同淀粉凝胶的 $F-t$ 曲线相应的质构参数见

表 3。

从表 3 中可以看到,15% 的枇杷核淀粉凝胶的硬度 (158.61 gf)、脆度 (118.09 gf)、胶黏性 (833.03 gf·s)、咀嚼度 (87.178 gf) 都介于 15% 马铃薯淀粉凝胶和 15%

表3 淀粉凝胶全质构分析得到的重要参数

Table 3 Important parameters obtained from TPA of starch gel

样品	正面积/(gf·s)	负面积/(gf·s)	最大峰梯度/(gf/s)	第一个峰值力/gf	硬度/gf	脆度/gf	胶黏性/(gf·s)	咀嚼度/gf
15%马铃薯淀粉凝胶	3 940.27	1 039.25	13.66	237.68	272.416	237.68	1 039.25	173.867
15%玉米淀粉凝胶	1 048.5	612.95	4.95	37.116	98.58	37.116	612.95	68.245
15%枇杷核淀粉凝胶	2 501.89	833.03	8.27	118.09	158.61	118.09	833.03	87.178
20%枇杷核淀粉凝胶	7 546.46	1 980.27	43.18	193.851	861.883	193.851	1 980.27	227.273

玉米淀粉凝胶之间。

当枇杷核淀粉凝胶的浓度增至20%时,上述参数显著更高,其中,硬度为861.883 gf,胶黏性为1 980.27 gf·s,咀嚼度为227.273 gf,都高于马铃薯淀粉凝胶的相应数值。然而,20%枇杷核淀粉凝胶的脆度为193.851 gf,仍然低于15%马铃薯淀粉凝胶的脆度237.68 gf。相对而言,15%枇杷核淀粉凝胶的各项指标都处在中等水平。

3 结论

本研究所提出的从枇杷罐头废弃物提取淀粉的观点可以潜在地减少淀粉行业对于谷物原料的消耗,并充分地利用了非粮作物的加工副产品,符合废物利用、可持续发展的理念。经国标法检测,枇杷核淀粉的淀粉纯度为92.60%,直链淀粉含量为49.30%,水分、灰分、蛋白质、脂质含量也都符合淀粉产品的一般要求。FT-IR结果表明枇杷核淀粉的官能团特性与玉米淀粉相似。XRD结果表明枇杷核淀粉的晶体特性属于马铃薯淀粉与玉米淀粉的混合型,与C型淀粉的晶型一致。TGA表明枇杷核淀粉在335.3℃附近大量解离,高于谷物淀粉的热解温度,具有良好的热稳定性。DSC表征获得了枇杷核淀粉的玻璃转化温度与糊化温度。浓度为15%的枇杷核淀粉凝胶的强度介于马铃薯淀粉与玉米淀粉之间。

至此,本研究对枇杷核淀粉的一系列分析、表征论证了其特性符合商品化淀粉的一般要求。浙江省每年的枇杷罐头加工厂可产生枇杷核约5 000 t,完全满足枇杷淀粉的批量提取及其后续深加工的原料需求。利用浙江枇杷产量大的优势,以枇杷核淀粉和枇杷汁为原料制作枇杷淀粉软糖产品,作为地方特色食品是很有销售前景的。

值得注意的是,高直链淀粉含量使枇杷核淀粉具有一般谷物淀粉所不具备的特性,例如高热稳定性、高糊化温度。高直链淀粉很难完全消化,因而相对减少了人体能量摄入,同时,高直链淀粉可以参与肠道微生物发酵,有利于提升肠道益生菌数量。此外,直链淀粉具有类似于纤维素的分子结构,比支链淀粉的成膜性更好,制成的薄膜具有良好的透明度、疏水性、抗

张强度。基于这些特性,枇杷核淀粉有望进一步开发为相应的功能性食品或材料。

参考文献:

- [1] FERRERES F, GOMES D, VALENTÃO P, et al. Improved loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) cultivars: Variation of phenolics and antioxidative potential [J]. *Food Chemistry*, 2009, 114:1019-1027.
- [2] SONG Y Q, MILNE RI, ZHOU H X, et al. Floral nectar chitinase is a potential marker for monofloral honey botanical origin authentication: A case study from loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) [J]. *Food Chemistry*, 2019, 282:76-83.
- [3] ZHENG M, XIA Q, LU S. Study on drying methods and their influences on effective components of loquat flower tea [J]. *Food Science and Technology*, 2015, 63: 14-20.
- [4] 李松南, 李雅琴, 金姗姗, 等. 短柄栎种子淀粉的理化性质研究[J]. *食品研究与开发*, 2016, 37(15):56-60.
LI Songnan, LI Yaqing, JIN Shanshan, et al. Study on physicochemical properties of *Quercus glandulifera* Bl. seed starch [J]. *Food Research and Development*, 2016, 37(15):56-60.
- [5] 徐鑫, 毛红艳, 于明. 鹰嘴豆抗性淀粉制备工艺优化及其结构特性的研究[J]. *新疆农业科学*, 2017, 54(10):1847-1855.
XU Xin, MAO Hongyan, YU Ming. Study on optimization of chickpea resistant starch preparation and its structural properties [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2017, 54(10):1847-1855.
- [6] 张彩虹, 黄立新, 谢普军, 等. 白果直链/支链淀粉的分离及性能研究[J]. *林产化学与工业*, 2017, 37(4): 103-109.
ZHANG Caihong, HUANG Lixin, XIE Pujun, et al. Extraction and performance of *Ginkgo biloba* Linn. amylase and amylopectin [J]. *Chemistry and Industry of Forest Products*, 2017, 37(4):103-109.
- [7] 左慧玉, 徐飞, 张彦军, 等. 双螺杆挤压对菠萝蜜种子淀粉消化特性及血糖指数的影响[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(11):305-310.
ZUO Huiyu, XU Fei, ZHANG Yanjun, et al. Effect of twin screw extrusion on digestibility and glycemic index of jackfruit seed starch [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(11):305-310.
- [8] 刘淑婷, 王颖, 王志辉, 等. 不同品种芸豆淀粉及其抗性淀粉结构和物化特性比较[J]. *中国食品学报*, 2020, 20(4):49-56.
LIU Shuting, WANG Ying, WANG Zhihui, et al. Comparison of structure and physicochemical properties of kidney bean starch and resistant starch from different varieties [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2020, 20(4):49-56.
- [9] 江洪波, 梅晓芸. 莲子淀粉加工特性的研究[J]. *食品研究与开发*, 2014, 35(22):21-23.

- JIANG Hongbo, MEI Xiaoyun. Study on processing properties of lotus starch[J]. Food Research and Development, 2014, 35(22):21-23.
- [10] 韦思庆, 熊拯, 黄泰溢. 茶籽粕淀粉的提取工艺及物理性质研究[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(10):26-29.
- WEI Siqing, XIONG Zheng, HUANG Taiyi. Study on the extraction of tea seed meal and physical properties of starch[J]. Food Research and Development, 2015, 36(10):26-29.
- [11] 康欣月, 王立梅, 孙姜, 等. 竹豆淀粉理化性质的研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(22):20-24.
- KANG Xinyue, WANG Limei, SUN Jiang, et al. Study on the physical and chemical properties of bamboo beans starch[J]. Food Research and Development, 2017, 38(22):20-24.
- [12] 张正茂, 阚玲. 紫茉莉籽淀粉的物化特性研究[J]. 中国食品添加剂, 2017(7):117-123.
- ZHANG Zhengmao, KAN Ling. Physicochemical properties of starch from *Mirabilis jalapa* L. seed[J]. China Food Additives, 2017(7): 117-123.
- [13] 赖俐超, 曾敏, 唐春保. 酸解芭蕉芋淀粉的制备及性能[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(17):75-78.
- LAI Lichao, ZENG Min, TANG Chunbao. Preparation and property of acid hydrolyzed *Canna edulis* Ker starch [J]. Food Research and Development, 2018, 39(17):75-78.
- [14] 张玉, 史亚萍, 李响, 等. 响应面法优化罗汉参淀粉提取工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(18):61-65.
- ZHANG Yu, SHI Yaping, LI Xiang, et al. Study on extraction technology of luohanshen starch by response surface methodology[J]. Food Research and Development, 2018, 39(18):61-65.
- [15] 张露, 符珍, 林莹, 等. 桃榔淀粉老化特性的研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(18):25-30.
- ZHANG Lu, FU Zhen, LIN Ying, et al. Study on retrogradation properties of *Arenga pinnata* starch[J]. Food Research and Development, 2019, 40(18):25-30.
- [16] ZAIN A H M, WAHAB M K A, ISMAIL H. Solid-state photo-cross-linking of cassava starch: improvement properties of thermoplastic starch[J]. Polymer Bulletin, 2018, 75(8): 3341-3356.
- [17] MAPENGO CR, RAY SS, EMMAMBUX MN. Pasting properties of hydrothermally treated maize starch with added stearic acid [J]. Food Chemistry, 2019, 289:396-403.
- [18] PUNIA S, SIROHA A K, SANDHU K S, et al. Rheological behavior of wheat starch and barley resistant starch (type IV) blends and their starch noodles making potential[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 130: 595-604.
- [19] ABERA G, WOLDEYES B, DESSALEGN H, et al. Comparison of physicochemical properties of indigenous Ethiopian tuber crop (*Coccinia abyssinica*) starch with commercially available potato and wheat starches[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 140:43-48.
- [20] ZHU F, HUA Y, LI G. Physicochemical properties of potato, sweet potato and quinoa starch blends [J]. Food Hydrocolloids, 2020, 100: 105278-105285.

加工编辑:张弘

收稿日期:2020-08-29