

不同加工方式下菠萝蜜种子物理性质及挥发性成分的比较分析

林丽静, 张文华, 静玮, 袁源, 黄晓兵, 龚霄, 李积华

(中国热带农业科学院农产品加工研究所, 广东湛江 524001)

摘要: 比较研究了干燥、煮熟及粉碎处理下菠萝蜜种子样品的粒度大小、水合能力、持油性、溶胀性及其挥发性成分的变化。结果表明, 菠萝蜜煮熟种子表面积平均粒径为 116.13 μm , 大于新鲜种子的 74.15 μm 和干燥种子的 29.22 μm , 新鲜种子体积平均粒径最大为 550.26 μm , 干燥种子比表面积最大为 0.21 m^2/g ; 干燥种子的持水性 (5.25) 和膨胀性 (4.00) 比新鲜种子和煮熟种子强, 新鲜种子的持油性最强为 1.66。从菠萝蜜新鲜种子检出 31 种挥发性化合物, 占总相对含量的 77.37%; 干燥和煮熟种子分别检出 24 种和 32 种化合物, 分别占总含量的 63.32% 和 35.74%, 表明干燥和水煮处理会减少菠萝蜜种子风味物质。而煮熟种子中酯类化合物达 16 种, 多于新鲜种子的 8 种和干燥种子的 9 种, 且经过干燥和煮熟加工之后, 甲醇等有毒成分得到清除, 益于食用, 为菠萝蜜种子的食用加工提供一定的理论依据。

关键词: 菠萝蜜种子; 风味成分; 水合能力; 持油性; 粒度

文章编号: 1673-9078(2013)10-2474-2479

Physical Properties and Volatile Compositions of Jackfruit Seeds under Different Processing Methods

LIN Li-jing, ZHANG Wen-hua, JING Wei, YUAN Yuan, HUANG Xiao-bing, GONG Xiao, LI Ji-hua

(Agricultural Products Processing Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Zhanjiang 524001, China)

Abstract: The water binding ability, oil-holding capacity, particle size, swelling capacity and volatile compositions from drying, cooking and shattering were analyzed and compared. The results showed that the average surface area diameter of cooked seed was 116.13 μm , which was larger than that of fresh seed (74.15 μm) and dried seed (29.22 μm). Fresh seed had the biggest average volume diameter 550.26 μm and dried seed had the largest specific surface area 0.21 m^2/g . Dried jackfruit seed had stronger water binding capacity (5.25) and swelling capacity (4.0) than other two processed seeds while the greatest oil-holding capacity belonged to fresh seed, being of 1.66. 31 kinds of volatile compounds were detected in fresh seed, accounting for 77.37% of the total volatile compositions. 24 and 32 kinds were tested in dried and cooked seed individually, occupying 63.32% and 35.74% of the total compounds, respectively. It was indicated that the dried and cooked methods could decrease the total relative content of the volatile ingredients in jackfruit seed. However, cooked seed contained more esters (16 kinds) than those from fresh seed (8 kinds) and dried seed (9 kinds). Moreover, compared with fresh seed, some toxic components such as methanol were removed through drying or cooking. Thus, this research could provide certain theoretical foundation for eating and processing jackfruit seed.

Key words: jackfruit seed; flavor components; water binding ability; oil-holding capacity; particle size

菠萝蜜 (*Artocarpus heterophyllus* L.), 又称为树菠萝、木菠萝、包蜜、大菠萝和牛肚子果, 是一种典

收稿日期: 2013-06-18

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项项目(201303077)

作者简介: 林丽静(1978-), 男, 博士, 助理研究员, 研究方向热带果蔬加工

通讯作者: 李积华(1979-), 男, 博士, 副研究员, 主要从事食品加工研究开发工作

型的热带水果, 在我国已有一千多年的种植历史^[1]。其原产印度, 在我国主要分布于台湾、海南、广东、广西、云南及福建等省区。菠萝蜜果肉风味独特, 具有营养价值高, 有生津醒酒、止渴解烦、益气助消化之功效, 被誉称为“热带珍宝”、“热带水果皇后”^[2-4]。菠萝蜜种子包埋于果肉当中, 约占果肉的 1/3, 呈椭圆形, 富含淀粉, 尤其直链淀粉含量高, 而且其中还含有脂肪、蛋白和纤维素等, 炒食或煮食, 味香如芋,

可作粮食代用品,是南方的木本粮食作物,是有待开发加工利用的粮食新资源。然而,在对果肉食用及加工后,菠萝蜜种子通常被当作废弃物丢弃,而且随着菠萝蜜现代种植技术和加工技术的迅速发展,大量种子作为副产物出现,如不加以利用,不但浪费资源,而且处理不当还会对环境造成污染。目前关于菠萝蜜种子的研究主要集中在对其中淀粉特性及其提取制备上^[5],对加工过程中种子的一些物理性质和某些化学成分的研究鲜有报道。菠萝蜜加工产品香气成分是其品质和生产工艺一项重要的检测指标^[6],近年来,对菠萝蜜种子香气成分已有一些研究^[2,7-8],但是对其加工过程中挥发性成分的变化却少有报道。本研究基于菠萝蜜种子常见的干燥及水煮加工方式,对处理后的种子进行粉碎处理,比较菠萝蜜新鲜种子、干燥种子以及煮熟种子粉碎后某些物理性质包括粒度、持水性、持油性及溶胀性的差异,同时对其中的挥发性成分进行分离鉴定,分析加工过程中风味的变化,以期能为菠萝蜜种子加工利用研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

干包菠萝蜜:购于湛江市霞山区兴隆水果批发市场。

1.2 主要仪器

FD-1 冷冻干燥机,北京博医康实验仪器有限公司;2000MU 激光粒度仪,德国新帕泰克公司;Joyoung 打浆机,九阳公司;CR22G III 高速冷冻离心机,Hitachi 日立公司;AOC5000-GCMS-QP2010Plus 气相色谱—质谱联用仪,岛津公司;FA2104N 电子天平,贵州兰科实验室仪器设备有限公司;DHG-9246A 鼓风干燥箱,上海精宏实验设备有限公司;835-50 氨基酸自动分析仪,Hitachi 日立公司。

1.3 方法

1.3.1 样品粉碎制备工艺

菠萝蜜新鲜种子样品制备:取适量菠萝蜜新鲜种子,刀切成小块,于粉碎机中充分粉碎,所得样品于-20℃密封冷冻保存备用。

菠萝蜜干燥种子样品制备:取适量菠萝蜜新鲜种子,65℃干燥24h,于粉碎机中充分粉碎,所得样品密封置于干燥器中备用。

菠萝蜜煮熟种子样品制备:取适量新鲜菠萝蜜种子,100℃水煮15min,滤干水粉,用刀切开,然后

于粉碎机中充分粉碎,所得样品于-20℃密封冷冻保存备用。

1.3.2 样品粒度测定

粒度测定:采用激光粒度分析仪测定。

1.3.3 样品理化特性分析

持水性:以持水力表示。在100mL烧杯中称取1.0000g(M_1)样品,加入蒸馏水70mL,不间断搅拌2h后于20000r/min下离心10min,弃去上清液,称取沉淀重量(M_2)。以每克样品所吸收水的克数表示持水力,计算公式为:

$$\text{持水力} = (M_2 - M_1) / M_1$$

持油性:以持油力表示。在50mL离心管中称取1.0000g(M_1)样品,加入橄榄油20mL,不间断搅拌30min后于20000r/min下离心10min,弃去上清液,用滤纸吸干离心管内外壁残留的橄榄油后称取沉淀重量(M_2)。以每克样品所持油的克数表示持油力,计算公式为:

$$\text{持油力} = (M_2 - M_1) / M_1$$

溶胀性:以膨胀力表示。在100mL量筒中称取4.0000g(M)样品,加入蒸馏水60mL,振荡混匀后室温静置4h,读取物料体积数(V)。以每克样品吸水膨胀后的体积(mL)表示膨胀力,计算公式为:

$$\text{持水力} = (V - M) / M$$

1.3.4 样品风味成分分析

采用顶空固相微萃取法,先将SPME的萃取纤维头放在烧烤池老化30min,老化温度为250℃,时间为2h;取样品2g置于10mL密封顶空样品瓶,于80℃萃取富集30min,250℃的解吸2min。

气相色谱条件:载气He,DB-WAX毛细管色谱柱(30m×0.32mm,0.5μm),流速1.46mL/min,进样温度250℃,起始柱温40℃,保持3min,先以4℃/min升至220℃保持3min,再以10℃/min升至260℃。

质谱条件:电离方式EI,离子源温度230℃,电子能量70eV,质量扫描30~550m/z。匹配度(SI)≥80,谱图检索采用Wiley9.lib和NIST08.LIB质谱库进行检索。

1.4 数据统计分析

本试验中所得数据均为三次重复试验所得平均值,并通过Excel软件和岛津气相工作站进行数据处理和分析。

2 结果与分析

2.1 样品的粒度测定

由图 1 可知,新鲜种子粒度主要分布区域: 0.60~2000.00 μm, 集中分布在 70.00~1700.00 μm。干燥种子粒度主要分布在 0.50~700.00 μm, 集中分布在 70.00~700.00 μm, 粒度分布区域在新鲜种子区域范围内, 说明粉碎前干燥 24 h 基本不会破坏菠萝蜜种子的骨架结构这一结论。煮熟种子粒度主要分布区域为 5.00~720.00 μm, 集中分布在 40.00~650.00 μm, 煮熟种子经粉碎后粒径较前两种有所减小, 说明水煮处理可能破坏菠萝蜜种子的结构, 致使粉碎能得到较小粒径。对样品粒度的特性进行分析, 结果如表 1, 煮熟种子表面积平均粒径大于新鲜种子和干燥种子, 体积平均粒径为新鲜种子最大, 比表面积最大的是干燥种子。

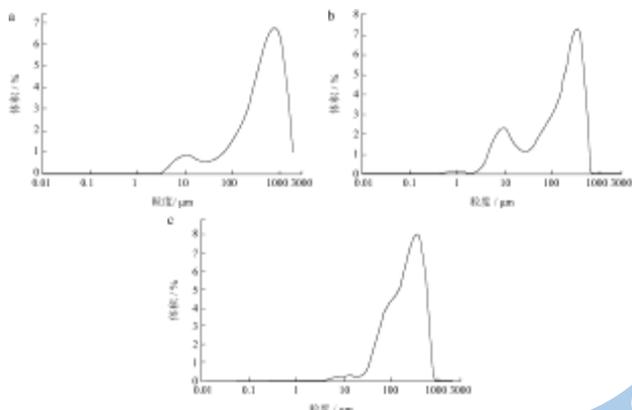


图 1 样品的粒度分布

Fig.1 Particle size distribution of samples

注: a: 新鲜种子; b: 干燥种子; c: 煮熟种子。

表 1 样品的粒度特性 (±SD)

Table 1 Particle size characteristics of samples

粒度特性	新鲜种子	干燥种子	煮熟种子
表面积平均粒径/μm	74.15±11.67	29.22±5.69	116.13±0.08
体积平均粒径/μm	550.26±20.38	212.17±7.68	260.52±3.17
比表面积(m ² /g)	0.08±0.02	0.21±0.04	0.05±0.00

2.2 样品的水合能力和持油性分析

表 2 样品的水合能力和持油性分析 (±SD)

Table 2 Analysis of water binding and oil-holding capacities of samples

项目	新鲜种子	干燥种子	煮熟种子
持水性	3.02±0.16	5.25±0.17	2.65±0.28
膨胀性	2.00±0.58	4.00±0.23	2.63±0.11
持油性	1.66±0.30	1.62±0.18	0.74±0.22

样品的水合能力包括持水性和膨胀性, 主要与样品组成成分的结构、样品的表面积、孔径、比表面积、颗粒大小、温度、pH、离子种类组成、离子强度以及亲水集团等有关^[9]。样品分析结果如表 2, 干燥种子的

持水性 (5.25) 和膨胀性 (4.00) 要比新鲜种子和煮熟种子效果要好, 分别是新鲜种子的 1.74 倍与 2.00 倍, 分别为煮熟种子的 1.98 倍与 0.19 倍, 说明 65 °C 干燥 24 h 基本不会破坏菠萝蜜种子的骨架结构, 而且可能使更多的亲水基团暴露, 从而增强其水合能力; 而 100 °C 水煮 15 min 后滤水显然能破坏其结构, 降低持水能力, 另外, 水煮可以让种子成分充分地吸水, 从而也降低其持水能力。对于膨胀性来说, 煮熟可能改变种子营养成分的结构, 导致其膨胀性比新鲜种子的要高。持油性主要与组成成分表面性质和颗粒大小有关, 同时还可能与总电荷密度、水合能力有关^[9]。新鲜种子的持油性说明新鲜种子的持油性最强 (1.66), 分别是干燥种子和煮熟种子的 1.02 倍与 2.24 倍, 可能是因为干燥种子与煮熟种子脂类物质减少。

2.3 挥发性成分的测定

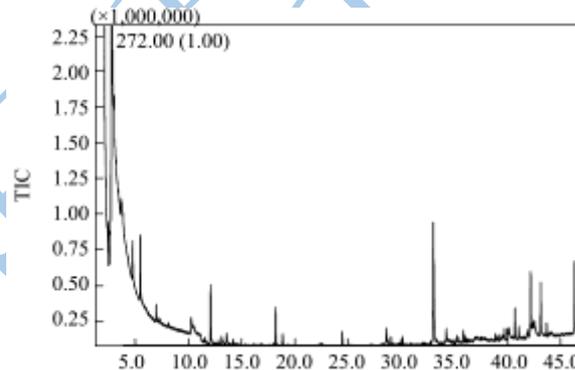


图 2 种子风味成分的总离子色谱图

Fig.2 Total ion chromatogram of flavor components in fresh seed

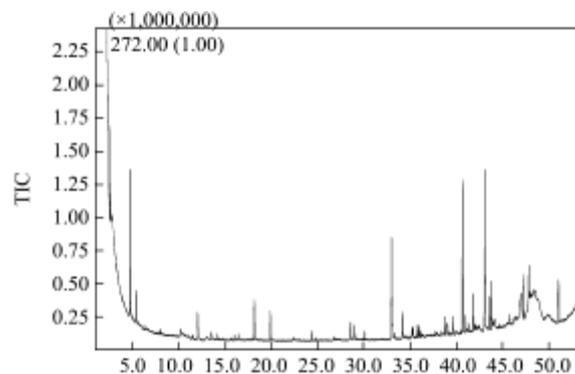


图 3 干燥种子风味成分的总离子色谱图

Fig.3 Total ion chromatogram of flavor components in dried seed

新鲜菠萝蜜种子中挥发性成分如图 2 和表 4 所示, 鉴定出的挥发物质有 31 种, 主要挥发性成分中醇类化合物 (4 种) 占总含量为 26.84%, 其中甲醇含量最高, 为 22.32%; 酸类化合物 (2 种) 占总含量为 4.38%, 其中乙酸较高, 为 4.36%; 酯类化合物 (8 种) 占总

含量为 8.82%，其中乙酸甲酯和氨基甲酸甲酯含量较高，分别为 3.25% 和 3.40%；烃类化合物（8 种）占总含量为 0.76%；其它类化合物（9 种）占总含量为 36.57%，其中以氨基脒最高，为 33.38%。菠萝蜜新鲜种子总检测出挥发性化合物占总含量为 77.37%。鉴定出的所有挥发性化合物中以醇类化合物较多，尤其以甲醇含量较高，一定程度上表明新鲜菠萝蜜种子不能直接食用，必须要经过加工处理方可食用。

如图 3 和表 4 所示，从干燥菠萝蜜种子鉴定出的挥发性物质有 24 种，菠萝蜜干燥种子主要挥发物质中醇类化合物（1 种）占总含量 52.43%，所检测出的醇类化合物为乙醇。研究表明醇类物质主要可以呈现清香和青鲜香气^[10]。菠萝蜜新鲜种子及干燥种子的风味没有果肉那么独特浓郁，可能是因为增香醇类物质较少。干燥种子中酸类化合物没有检测到，其主要原因为其经过加热鼓风干燥后，酸类物质已经挥发减少，没有达到仪器的检测下限；酯类化合物（9 种）占总含量为 1.79%，其含量比新鲜种子有所减少；烃类化合物（7 种）占总含量为 0.39%；其它类化合物（7 种）占总含量为 8.71%。菠萝蜜干燥种子总检测出风味化合物占总含量为 63.32%。检测出的挥发性物质总量和种类都要比新鲜种子的少，其原因是经过干燥后，挥发性物质挥发或分解的缘故，所以菠萝蜜种子干燥粉碎加工不利于其风味成分的保存。

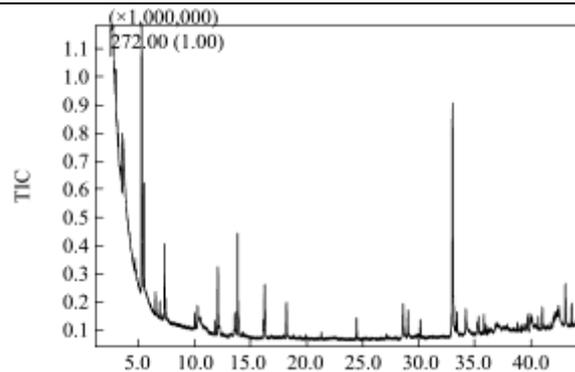


图 4 煮熟种子风味成分的总离子色谱图

Fig.4 Total ion chromatogram of flavor components in cooked seed

煮熟的菠萝蜜种子挥发性物质测定结果如图 4 和表 4 所示，鉴定出的挥发物质共 32 种，其中酸类化合物（3 种）占总含量为 4.57%，其中乙酸相对含量较高，为 4.41%，其酸类化合物总相对含量及乙酸相对含量都要新鲜种子的高。酯类化合物（16 种）占总含量为 7.45%，其中乙酸丁酯和乙酸丙酯含量较高，分别为 2.67% 和 2.10%；烃类化合物（6 种）占总含量为 4.12%；其它类化合物（7 种）占总含量为 19.60%。菠萝蜜煮熟种子检测出挥发性化合物占总含量为 35.74%。煮熟种子风味成分中酯类化合物达 16 种，多于新鲜种子的 8 种和干燥种子的 9 种，说明水煮处理可以增加种子的风味，提升种子的口感。

表 4 样品的挥发性成分 (%)

Table 4 Volatile components of samples

种类	序号	化合物名称	新鲜种子		干燥种子		煮熟种子	
			相对含量	总相对含量	相对含量	总相对含量	相对含量	总相对含量
醇类	1	甲醇	22.32					
	2	乙醇			52.43			
	3	2-乙烯氧基乙醇	2.81	26.84		52.43		
	4	甲基乙酰甲醇	1.63					
	5	4-萜烯醇	0.08					
酸类	1	乙酸	4.36				4.41	
	2	2-甲基丁酸	0.02	4.38				4.57
	3	异丁酸					0.11	
	4	异戊酸					0.05	
酯类	1	乙酸甲酯	3.25					
	2	2-甲基丁基乙酸酯					0.07	
	3	3-甲基丁酸己酯					0.02	
	4	3-甲基丁酸戊酯		8.82		1.79	0.07	7.45
	5	氨基甲酸甲酯	3.4					
	6	丁酸丁酯					0.05	
	7	癸酸酯			0.03			

接上页							
8	己二酸二辛酯		0.09				
9	邻苯二甲酸二丁酯	0.05	0.12		0.17		
10	邻苯二甲酸二甲酯	0.14	0.05		0.17		
11	邻苯二甲酸二乙酯	1.09	0.36		1.21		
12	邻苯二甲酸二异丁酯	0.85	0.85		0.04		
13	亚麻酸甲酯	0.03					
14	亚油酸乙酯		0.12				
15	乙酸丙酯				2.1		
16	乙酸丁酯				2.67		
17	乙酸乙戊酯				0.23		
18	乙酸异戊酯	0.01					
19	异戊酸丙酯				0.05		
20	异戊酸丁酯				0.02		
21	异戊酸乙酯				0.07		
22	正戊酸异戊酯				0.46		
23	棕榈酸甲酯		0.02		0.05		
24	棕榈酸乙酯		0.15				

1	六甲基环三硅氧烷	0.31					
2	1-辛炔		0.02				
3	苯				3.51		
4	环己硅氧烷	0.08	0.09		0.09		
5	间异丙基甲苯	0.02					
6	六甲基环三硅氧烷		0.09		0.31		
烃类	7 十八烷		0.76	0.02	0.39	4.12	
8	十甲基环五硅氧烷	0.21			0.15		
9	十九烷	0.04		0.07	0.03		
10	十六烷	0.04			0.03		
11	十七烷	0.04		0.04			
12	十五烷			0.06			
13	四甲基十五烷	0.02					

1	氨基脲	33.38					
2	2-辛烯醛		0.01				
3	2-正戊基咪喃	0.02					
4	4-羟基丁酸胍				4.53		
5	DL-丙氨酸-L-丙氨酸	1.21					
6	N-氨基吗啡	0.11		0.07	0.14		
其它	7 氨基脲		36.57	3.92	8.71	2.86	19.6
8	八甲基硅油			0.09		0.23	
9	苯甲醛	0.12				0.07	
10	苯乙醛					0.1	
11	丙酮					11.67	
12	庚醛	0.01					

转下页

接上页

13	癸醛		0.16
14	环壬酮	0.06	
15	己醛	0.14	
16	碳酸胍		0.27
17	戊醛	1.52	
18	乙酰胍		4.19

3 结论

3.1 干燥种子的持水性 (5.25) 和膨胀性 (4.00) 要比新鲜种子和煮熟种子效果要好, 分别是新鲜种子的 1.74 倍与 2.00 倍, 为煮熟种子的 1.98 倍与 0.19 倍。新鲜种子的持油性为 1.66, 分别为干燥种子和煮熟种子的 1.02 倍与 2.24 倍。

3.2 新鲜种子粒度主要分布区域: 0.60~2000.00 μm, 集中分布在 70.00~1700.00 μm。干燥种子粒度主要分布在 0.50~700.00 μm, 集中分布在 70.00~700.00 μm, 煮熟种子粒度主要分布区域为 5.00~720.00 μm, 集中分布在 40.00~650.00 μm。煮熟种子表面积平均粒径大于新鲜种子和干燥种子, 体积平均粒径为新鲜种子最大, 比表面积最大的是干燥种子。

3.3 菠萝蜜新鲜种子检测出挥发性化合物共 31 种, 占总含量 77.37%; 菠萝蜜干燥种子检测出风味化合物 24 种, 占总含量 63.32%; 菠萝蜜煮熟种子检测出挥发性化合物 32 种, 占总含量 35.74%。虽然菠萝蜜种子经过干燥和煮熟之后挥发性成分总相对含量都在减少, 但是煮熟的种子风味成分中酯类化合物达 16 种, 远远多于新鲜种子的 8 种和干燥种子的 9 种, 经过两种方式加工之后, 甲醇等有毒成分得到清除, 利于食用, 为菠萝蜜种子的食用加工提供一定的理论依据。

参考文献

[1] 王佳珺, 郭璇华. 菠萝蜜下脚料中多酚含量的分析[J]. 食品研究与开发, 2012, 3(6): 36-38
Wang J J, Guo X H. An Analysis of Polyphenol in Jackfruit's Trash [J]. Food Research and Development, 2012, 3(6): 36-38

[2] 纳智. 菠萝蜜中香气成分分析[J]. 热带亚热带植物学报, 2004, 3(6): 36-38
Na Z. Analysis of Aroma Components from the Fruits of *Artocarpus heterophyllus* [J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2004, 3(6): 36-38

[3] 李移, 李尚德, 陈杰. 菠萝蜜微量元素含量的分析[J]. 广东微量元素科学, 2003, 10(1): 57-59
Li Y, Li S D, Chen J. Analysis on Trace Elements in

Artocarpus heterophyllus Lam [J]. Guangdong Trace Elements Science, 2003, 10(1): 57-59

[4] 林华娟, 秦小明, 肖巧玲. 菠萝蜜果肉中果胶物理化学性质的初步探讨[J]. 广西热带农业, 2006, 6: 1-4
Lin H J, Qin X M, Xiao Q L. Preliminary Study on Physicochemical Properties of The Pectin in Jackfruit Pulp [J]. Guangxi Tropical Agriculture, 2006, 6: 1-4

[5] 初众, 魏来, 陆敏泉. 菠萝蜜种子淀粉特性研究进展[J]. 中国食物与营养, 2008, 6: 20-22
Chu Z, Wei L, Lu M Q. Research Progress in Starch Properties of Jackfruit Seed [J]. Food and Nutrition in China, 2008, 6: 20-22

[6] 谭乐和, 郑维全. 菠萝蜜种子淀粉提取及其理化性质测定[J]. 海南大学学报(自然科学版), 2000, 18(4): 388-390
Tan L H, Zheng W Q. Starch Extraction of Jack-fruit Seeds and Determination of Its Physicochemical Characteristics [J]. Natural Science Journal of Hainan University, 2000, 18(4): 388-390

[7] 幸红星, 李春丽, 刘春华, 等. 菠萝蜜种子脂肪酸成分的 GC-MS 分析[J]. 安徽农业科学, 2012, 35: 17224-17225
Xing H X, Li C L, Liu C H, et al. GC-MS Analysis on *Artocarpus heterophyllus* Seeds Fatty Acid Components [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2012, 35: 17224-17225

[8] 张玲, 张钟, 海金萍, 等. 发酵型菠萝蜜果酒香气成分的 GC/MS 分析[J]. 酿酒科技, 2011, 11: 17-22
Zhang L, Zhang Z, Hai J P, et al. Analysis of Flavoring Compositions of Fermenting Jackfruit Fruit Wine by GC/MS [J]. Liquor-Making Science & Technology, 2011, 11: 17-22

[9] 孟怡幡, 金晖, 郑鸯鸯, 等. 不同工艺南瓜膳食纤维的理化特性研究[J]. 中国食品添加剂, 2012, 4: 122-124
Meng Y F, Jin H, Zheng Y Y, et al. Studies on physico-chemical properties of the dietary fiber prepared from pumpkin with different treatments [J]. China Food Additives, 2012, 4: 122-124

[10] S Grant Wyllie, David N Le ach. Sulfur-containing compounds in the aroma volatile s of melons [J]. Journal Agricultural and Food Chemistry, 1992, 40: 253-256

现代食品科技