

## 正交试验优化芒果果脯微波渗糖工艺

袁芳<sup>1</sup> 李丽<sup>2,3\*</sup> 黄秋婵<sup>1</sup> 邱诗铭<sup>1</sup> 李文<sup>4</sup> 肖占仕<sup>2,3</sup>

(1.广西民族师范学院 生物与食品工程学院 广西 崇左 532200 ;

2.广西壮族自治区农业科学院 农产品加工研究所 广西 南宁 530007 ;

3.广西果蔬贮藏与加工新技术重点实验室 广西 南宁 530007 ;

4.崇左市环境保护监测站 广西 崇左 532200)

**摘要** :以凯特芒果为原料,芒果果脯总糖含量为评价指标,通过单因素试验和正交试验优化芒果果脯微波渗糖工艺条件,并分析黄原胶对芒果果脯质构特性的影响。结果表明,最佳微波渗糖条件为微波功率210 W、料液比1:3(g:mL)、黄原胶添加量0.3%、微波时间60 min、糖浓度40%,在该最佳工艺条件下,芒果果脯的总糖含量为46.24%。0.3%黄原胶的添加能显著降低果脯硬度和提高其咀嚼性( $P<0.05$ ),而对内聚性、弹性、胶黏性没有显著影响( $P>0.05$ )。

**关键词** :芒果果脯;微波渗糖;工艺优化;含糖量;质构分析

中图分类号 :TS255.4

文章编号 :0254-5071(2019)09-0172-05

doi:10.11882/j.issn.0254-5071.2019.09.033

引文格式 :袁芳,李丽,黄秋婵,等.正交试验优化芒果果脯微波渗糖工艺[J].中国酿造,2019,38(9):172-176.

## Optimization of microwave-assisted sugar osmosis technology of preserved mango by orthogonal tests

YUAN Fang<sup>1</sup>, LI Li<sup>2,3\*</sup>, HUANG Qiuchan<sup>1</sup>, QIU Shiming<sup>1</sup>, LI Wen<sup>4</sup>, XIAO Zhanshi<sup>2,3</sup>

(1.College of Biology and Food Engineering, Guangxi Normal University for Nationalities, Chongzuo 532200, China;

2.Agricultural Products Processing Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China;

3.Guangxi Key Laboratory of Fruits and Vegetables Storage-processing Technology, Nanning 530007, China;

4.Chongzuo Environmental Protection and Monitoring Station, Chongzuo 532200, China)

**Abstract** :Using Kate mango as the raw material and the total sugar content of preserved mango as the evaluation index, the conditions of microwave-assisted sugar osmosis technology of preserved mango were optimized by single factor tests and orthogonal tests, and the effect of xanthan gum on the texture characteristics of preserved mango was analyzed. The results showed that the optimal microwave-assisted sugar osmosis conditions were microwave power 210 W, solid-liquid ratio 1:3 (g:ml), xanthan gum addition 0.3%, microwave time 60 min, and sugar concentration 40%. Under the optimal technology conditions, the total sugar content of preserved mango was 46.24%. The addition of 0.3% xanthan gum could significantly reduce the hardness and improve the chewiness of the preserved mango ( $P<0.05$ ), but had no significant effect on cohesiveness, elasticity and adhesiveness ( $P>0.05$ ).

**Key words** :preserved mango; microwave-assisted sugar osmosis; technology optimization; sugar content; texture analysis

芒果(*Mangifera indica* L.)是著名的亚热带水果,营养丰富,长期食用可以降低血脂、提高血清抗氧化能力<sup>[1-2]</sup>。成熟的芒果香气浓郁,酸甜可口,深受消费者喜爱。由于市场价值低,每年约有70%的次果被丢弃,利用率低,造成浪费。对芒果进行深加工研究,对充分开发其市场价值具有重大意义。

果脯是新鲜水果经过去皮、去核、渗糖、干燥、整形等工艺制成的传统食品,传统渗糖工艺存在耗时长、效率低、营养物质流失严重等缺点,而微波渗糖技术相比传统的渗糖工艺,因其穿透力强,可以使得食品内外同时加热,食品

内部水分快速升温汽化,食品因组织内汽化产生膨胀力和物料的质构变化而形成网状多孔结构,有利于糖分的渗入,提高渗糖效率<sup>[3-4]</sup>,并可以较好地保持水果的营养品质<sup>[5]</sup>。GERARD K A等<sup>[6]</sup>研究发现,微波处理可以抑制多酚氧化酶的活性,从而减少褐变发生;汪愈等<sup>[7-9]</sup>对橙皮、苹果、蓝莓等果脯的微波渗糖工艺进行研究发现,微波渗糖时间、糖液浓度等对渗糖效果的影响显著,此外,在制作果脯的过程中添加胶体也会影响渗糖效果,并且胶体还能增加果脯的饱满度和透明度、改善果脯品质<sup>[9-11]</sup>。

目前,芒果果脯渗糖工艺包括超声波渗糖<sup>[2]</sup>、微波渗

收稿日期 2019-04-01

修回日期 2019-07-15

基金项目 :广西高校中青年教师基础能力提升项目(2019KY0791) 广西民族师范学院科研项目(2017YB001) 国家重点研发计划项目(编号:2018YFD0401301) 广西创新驱动发展专项项目(桂科AA17204038 桂科AA17204042) 广西农业科学院基本科研业务专项项目(桂农科2015YT86 桂农科2018YM04 桂农科2018YT27)

作者简介 :袁芳(1986-),女,讲师,硕士,研究方向为农产品加工与贮藏。

\*通讯作者 :李丽(1983-),女,研究员,硕士,研究方向为果蔬贮藏与加工技术。

糖、真空渗糖和传统渗糖<sup>[2,10]</sup>,关于微波渗糖工艺的优化尚未研究。因此,本研究以凯特芒果为原料,采用单因素试验及正交试验对芒果果脯的微波渗糖工艺进行优化,并分析黄原胶对芒果果脯质构特性的影响,为芒果果脯工艺的进一步开发提供理论参考。

## 1 材料与方

### 1.1 材料与试剂

#### 1.1.1 材料

凯特芒果:采摘于广西崇左龙州果园,鲜果的平均含糖量为5.18%。

#### 1.1.2 试剂

白砂糖(食品级):中粮屯河崇左糖业有限公司;黄原胶(纯度为99%):南通润丰石油化工有限公司;氯化钙(分析纯):西安天正康源生物技术有限公司;异抗坏血酸(分析纯):广州卡芬生物科技有限公司;柠檬酸(分析纯):金锦乐化学有限公司;氯化钠(分析纯):庸德盐业(江苏)有限公司;均为食品级;浓硫酸(分析纯):广州市御和田化工科技有限公司;蒽酮(分析纯):南京远淑医药科技有限公司。

### 1.2 仪器与设备

GZX-GF101-2-BS-II鼓风干燥箱:上海跃进医疗器械有限公司;Galanz微波炉:广东格兰仕微波炉电器有限公司;UV1601紫外分光光度计:上海佑科仪器仪表有限公司;FTC/TMS-Pilot质构仪:美国FTC公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 芒果果脯制备工艺流程

原料验收→去皮→去核→切块→硬化护色→渗糖→烘干整形→包装成品

操作要点:

(1)原料验收:选择成熟度为80%~90%、大小大致相同的青皮凯特芒果,清洗去泥沙。

(2)去皮、去核:人工去皮去核。

(3)切块:将去皮去核后的芒果肉切成5 cm×1.5 cm×1.5 cm的长条。

(4)硬化护色:按照料液比1:3(g:mL)将芒果条在硬化护色液中常温浸泡3 h。硬化护色液为0.4%CaCl<sub>2</sub>、0.4%柠檬酸、0.1%抗坏血酸、0.1%NaCl的混合液<sup>[12-13]</sup>。

(5)渗糖:在一定的微波条件下进行微波渗糖。

(6)烘干整形:将渗糖之后的芒果片表面的糖液沥干,放置托盘中,置于温度为55℃的干燥箱内,每隔3 h翻盘一次,干燥10 h,直至含水量低于20%。

#### 1.3.2 芒果果脯微波渗糖工艺优化单因素试验

(1)微波功率对芒果果脯微波渗糖效果的影响

将经过硬化护色处理的芒果条分别按照料液比1:3(g:mL)加入含50%蔗糖和0.3%黄原胶的溶液中,分别于微波功率为70 W、140 W、210 W、350 W的微波炉中渗糖30 min,

每隔5 min暂停1 min,考察微波功率对芒果果脯微波渗糖效果的影响。

(2)料液比对芒果果脯微波渗糖效果的影响

将经过硬化护色处理的芒果条分别按照料液比1:2、1:3、1:5、1:10、1:20(g:mL)加入含50%蔗糖和0.3%黄原胶的溶液中,于微波功率为210 W的微波炉中渗糖30 min,每隔5 min暂停1 min,考察料液比对芒果果脯微波渗糖效果的影响。

(3)黄原胶添加量对芒果果脯微波渗糖效果的影响

将经过硬化护色处理的芒果条按照料液比1:3(g:mL)分别加入含50%蔗糖和0.3%、0.6%、0.9%、1.2%、1.6%黄原胶的溶液中,于微波功率为210 W的微波炉中渗糖30 min,每隔5 min暂停1 min,考察卡拉胶添加量对芒果果脯微波渗糖效果的影响。

(4)微波时间对芒果果脯微波渗糖效果的影响

将经过硬化护色处理的芒果条分别按照料液比1:3(g:mL)加入含50%蔗糖和0.3%黄原胶的溶液中,于微波功率为210 W的微波炉中渗糖0 min、10 min、20 min、30 min、40 min、50 min、60 min、70 min,每隔5 min暂停1 min,考察微波时间对芒果果脯微波渗糖效果的影响。

(5)糖浓度对芒果果脯微波渗糖效果的影响

将经过硬化护色处理的芒果条分别按照料液比1:3(g:mL)加入含0%、30%、40%、50%、60%、70%蔗糖和0.3%黄原胶的溶液中,于微波功率210 W的微波炉中渗糖50 min,每隔5 min暂停1 min,考察糖浓度对芒果果脯微波渗糖效果的影响。

#### 1.3.3 芒果果脯微波渗糖工艺优化正交试验

在单因素试验的基础上,选取对芒果果脯渗透效果影响显著的因素黄原胶添加量(A)、渗透时间(B)、糖浓度(C)为考察因素,总糖含量(Y)为评价指标,按L<sub>3</sub>(3<sup>4</sup>)进行3因素3水平正交试验,因素与水平见表1。

表1 芒果果脯微波渗糖工艺优化正交试验因素与水平

Table 1 Factors and levels of orthogonal tests for microwave-assisted sugar osmosis technology optimization of preserved mango

水平	A 黄原胶添加量/%	B 微波时间/min	C 糖浓度/%
1	0	40	40
2	0.3	50	50
3	0.6	60	60

#### 1.3.4 检测方法

总糖含量的测定:采用蒽酮比色法测定果脯中总糖含量<sup>[14]</sup>。

质构分析:芒果果脯硬度、内聚性、弹性、胶黏性和咀嚼性的测定参照ZHAO W Q等<sup>[15-16]</sup>的质地剖面分析(texture profiles analysis,TPA)法并略做修改。具体方法:采用直径

为10 mm的圆柱加载压头,起始力为0.38 N,测试速度为60 mm/min,回程速度为60 mm/min,压缩比为60%,每组样品5次平行试验。

### 1.3.5 统计分析

采用SPSS17.0软件中的Duncan test进行单因素方差分析,并进行显著性比较,若 $P < 0.05$ ,则表示差异显著。采用Excel 2010作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 芒果果脯微波渗糖工艺优化单因素试验

#### 2.1.1 微波功率对芒果果脯微波渗糖效果的影响

微波对渗糖有明显的促进作用<sup>[12]</sup>,微波功率大小也会影响渗糖效果。不同微波功率对芒果果脯微波渗糖效果的影响见图1。由图1可知,随着微波功率的增大,芒果果脯中总糖含量逐渐升高。当微波功率为210 W时,芒果果脯中总糖含量为26.90%,比微波功率为70 W时的总糖含量高15.89%;当微波功率为350 W时,芒果果脯的色泽变深,且当微波功率进一步增大时,糖液产生泡沫溢出。本研究结果与王愈等<sup>[7]</sup>的研究结果一致,即渗糖速率随着微波功率升高而增大,微波功率太低时,渗糖太慢,但微波功率太高会使糖液褐变进而影响果脯的品质<sup>[6]</sup>。因此,确定最优微波功率为210 W。

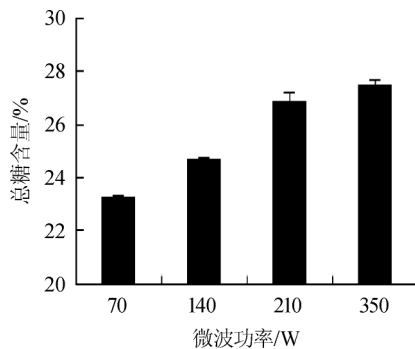


图1 微波功率对芒果果脯微波渗糖效果的影响

Fig. 1 Effect of microwave power on microwave-assisted sugar osmosis of preserved mango

#### 2.1.2 料液比对芒果果脯微波渗糖效果的影响

不同料液比对芒果果脯微波渗糖效果的影响见图2。由图2可知,料液比对芒果果脯渗糖效果有一定的影响,随着料液比的减少,芒果果脯中总糖含量先增加后趋于稳定。当料液比为1:5(g:mL)时,芒果果脯中总糖含量最高,为29.01%,但与料液比1:3(g:mL)差异不显著( $P > 0.05$ )。分析原因可能是由于渗糖过程中,糖分子不断渗入芒果片,糖液中糖浓度下降快,造成芒果细胞膜内外的糖浓度差下降,从而影响渗糖效果,这与椰子角的渗糖工艺研究结论一致<sup>[17]</sup>,考虑到渗糖后会浪费大量的糖液,因此,选择最佳料液比为1:3(g:mL)。

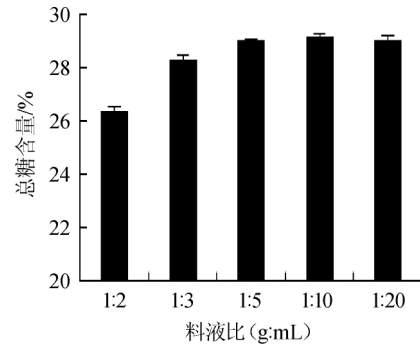


图2 料液比对芒果果脯微波渗糖效果的影响

Fig. 2 Effect of solid-liquid ratio on microwave-assisted sugar osmosis of preserved mango

#### 2.1.3 黄原胶添加量对芒果果脯微波渗糖效果的影响

在糖液中添加胶体能改善果脯的质构,但同时会影响渗糖的效果<sup>[18]</sup>。不同黄原胶添加量对芒果果脯微波渗透效果的影响见图3。由图3可知,随着黄原胶添加量的增加,芒果果脯中总糖含量呈先升高后下降的趋势。当黄原胶添加量为0.3%时,芒果果脯中总糖含量最高,为28.25%,渗糖效果最好,说明黄原胶的添加量过大会阻碍糖分渗入芒果组织内部。分析原因可能是由于黄原胶是一种很好的增稠剂,可以增大糖液的黏性,限制了水分和糖分子的相互移动,同时在芒果片表面形成胶层,使糖分的移动进一步受阻。因此,选择最佳黄原胶添加量为0.3%。

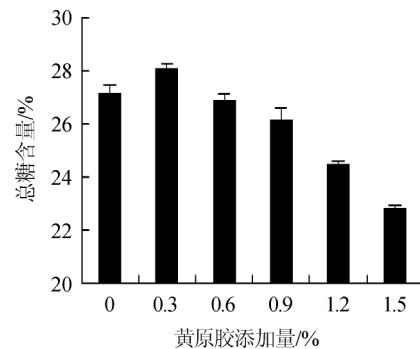


图3 黄原胶添加量对芒果果脯微波渗糖效果的影响

Fig. 3 Effect of xanthan gum addition on microwave-assisted sugar osmosis of preserved mango

#### 2.1.4 微波时间对芒果果脯微波渗糖效果的影响

不同微波时间对芒果果脯微波渗透效果的影响见图4。由图4可知,微波时间对芒果果脯含糖量的影响显著,随着微波时间的延长,芒果果脯中总糖含量逐渐增加。当微波时间为20~50 min时,由于糖液浓度高,芒果果脯细胞膜内外糖浓度差较大,传质动力大,渗糖速率较快,所以芒果果脯的总糖含量增加最快;当微波时间 $> 50$  min之后,随着微波时间继续延长,糖液中糖浓度下降到一定程度,而芒果片内的糖浓度较高,由浓度差产生的推动力迅速减小,糖

分子通过细胞膜的速率也明显减缓<sup>[7,19]</sup>,芒果果脯的含糖量增长缓慢;当微波时间为70 min时,芒果果脯中含糖量最高,为32.4%,但此时的芒果条组织近乎软烂,不利于果脯形成良好的果脯质地。因此,选择最佳微波时间为50 min。

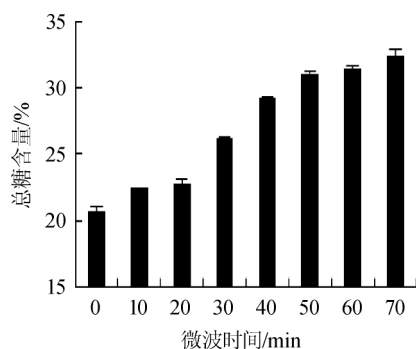


图4 微波时间对芒果果脯微波渗糖效果的影响

Fig. 4 Effect of microwave time on microwave-assisted sugar osmosis of preserved mango

### 2.1.5 糖浓度对芒果果脯微波渗糖效果的影响

糖浓度对芒果果脯微波渗糖效果的影响见图5。由图5可知,当糖浓度<50%时,随着糖浓度的增加,由浓度差形成的推动力就越大,糖分子迁移也更快,芒果果脯中总糖含量增加;当糖浓度>50%时,芒果果脯中总糖含量开始下降,分析原因可能是由于糖浓度过高,溶液黏性增加,不利于糖分子移动,另外渗透压太高,也会导致细胞内汁液的流失,不利于吸收更多的糖分子,这与孙海涛等<sup>[20-21]</sup>研究结果一致。因此,选择最佳糖浓度为50%。

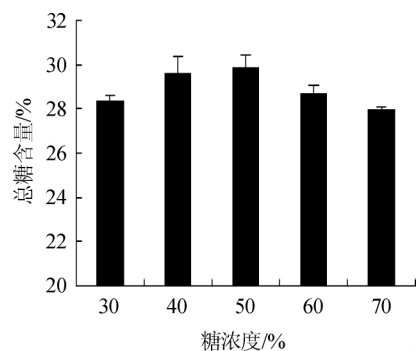


图5 糖液浓度对芒果果脯微波渗糖效果的影响

Fig. 5 Effect of sugar content on microwave-assisted sugar osmosis of preserved mango

## 2.2 芒果果脯微波渗糖工艺优化正交试验

在单因素试验的基础上,选取对芒果果脯渗透效果影响显著的因素黄原胶添加量(A)、微波时间(B)、糖浓度(C)为考察因素,总糖含量(Y)为评价指标,采用正交试验优化芒果果脯的微波渗糖工艺条件,结果与分析见表2,方差分析见表3。

表2 芒果果脯微波渗糖工艺优化正交试验结果与分析

Table 2 Results and analysis of orthogonal tests for microwave-assisted sugar osmosis technology optimization of preserved mango

试验号	A 黄原胶添加量	B 微波时间	C 糖浓度	D	Y 总糖含量/%
1	2(0.3)	1(40)	2(50)	3	25.36
2	2	2(50)	3(60)	1	27.28
3	3(0.6)	2	1(40)	3	36.08
4	3	1	3	2	18.32
5	1(0)	1	1	1	25.03
6	1	2	2	2	27.39
7	3	3(60)	2	1	35.86
8	2	3	1	2	42.30
9	1	3	3	3	20.68
$k_1$	24.37	22.90	34.47		
$k_2$	31.65	30.25	29.54		
$k_3$	30.09	32.95	22.09		
R	7.28	10.05	12.38		

表3 正交试验结果方差分析

Table 3 Variance analysis of orthogonal tests results

方差来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
校正模型	483.187	6	80.531	20.325	0.048	*
A	88.150	2	44.075	11.124	0.082	
B	162.114	2	81.057	20.457	0.047	*
C	232.923	2	116.461	29.393	0.033	*
误差	7.924	2	3.962			
总计	7 904.322	9				
校正的总计	491.112	8				

注：“\*”表示对结果影响显著( $P < 0.05$ )。

由表2的极差分析可知,各因素对渗糖效果的影响大小依次为 $C > B > A$ ,即糖浓度>微波时间>黄原胶添加量。最优组合为 $A_2B_3C_1$ ,即黄原胶添加量为0.3%,微波时间为60 min,糖浓度为40%。由表3方差分析可知,糖浓度和微波时间对渗糖效果影响均显著( $P < 0.05$ ),黄原胶添加量对渗糖效果影响不显著( $P > 0.05$ )。因为最佳组合 $A_2B_3C_1$ 不在正交分析试验中,因此按照该工艺进行验证试验。结果表明,在此最优微波渗糖工艺条件下,芒果果脯中总糖含量为46.24%。

### 2.3 黄原胶对芒果果脯质地的影响

添加黄原胶对芒果果脯的微波渗糖工艺虽然没有显著影响,但是能改变芒果果脯的质地。以未添加黄原胶的芒果果脯为对照,最优微波渗糖工艺制作的芒果果脯(黄原胶添加量0.3%)为试验组,考察黄原胶对芒果果脯质地的影响,结果见表4。

由表4可知,添加黄原胶的芒果果脯的硬度为24.72 N,比未添加黄原胶的芒果果脯低4.04 N,且两种渗糖方式的果

脯硬度差异显著( $P < 0.05$ ),说明添加黄原胶使得果脯更柔软。此外,还原胶还可以显著提高果脯的咀嚼性( $P < 0.05$ ),但添加黄原胶对芒果果脯的内聚性、弹性和胶黏性没有显著影响( $P > 0.05$ )。祝美云等<sup>[18-19]</sup>研究发现,添加胶体主要对果脯的饱满度、透明度、质地和色泽会产生一定的影响,并且影响效果和胶体种类、添加量有很大关系。王晨等<sup>[22]</sup>研究发现,硬度、胶黏性和咀嚼性与感官评定指标存在显著相关性。本试验对芒果果脯进行了质地分析,发现与不添加黄原胶的芒果果脯相比,添加黄原胶的果脯硬度更小、具有更大的咀嚼性,说明添加黄原胶能有效改善芒果果脯的质地。

表4 黄原胶对芒果果脯质地的影响

Table 4 Effect of xanthan gum on texture of preserved mango

项目	硬度/N	内聚性	弹性/mm	胶黏性/N	咀嚼性/mJ
不加黄原胶	28.76±2.01 <sup>a</sup>	0.34±0.80 <sup>a</sup>	3.49±1.03 <sup>a</sup>	10.01±3.26 <sup>a</sup>	37.15±12.65 <sup>b</sup>
加黄原胶	24.72±2.16 <sup>b</sup>	0.42±0.12 <sup>a</sup>	4.38±0.73 <sup>a</sup>	10.32±2.10 <sup>a</sup>	45.98±14.88 <sup>a</sup>

注:同列肩不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

### 3 结论

本研究通过单因素试验和正交试验优化了芒果果脯的微波渗糖工艺条件,最终确定最优微波渗糖工艺为微波功率210 W、料液比1:3(g:mL)、黄原胶添加量0.3%、微波时间60 min、糖浓度40%,在该工艺下,芒果果脯的总糖含量为46.24%。芒果果脯的质构分析结果表明,0.3%黄原胶可显著降低果脯硬度和提高其咀嚼性( $P < 0.05$ ),而对内聚性、弹性、胶黏性没有显著影响( $P > 0.05$ )。

### 参考文献:

[1] ROBLES-SANCHEZ M, ASTIAZARAN-GARCIA H, MARTÍN-BELLOSO O, et al. Influence of whole and fresh-cut mango intake on plasma lipids and antioxidant capacity of healthy adults[J]. *Food Res Int*, 2011, 44(5): 1386-1391.

[2] 熊亚,李敏杰. 玛咖芒果复合酒发酵动力学模型的建立[J]. *中国酿造*, 2017, 36(8): 109-113.

[3] 蔺芳. 微波技术在食品加工中的应用研究[J]. *中国调味品*, 2014, 39(7): 138-140.

[4] 关海宁,赵晓伟,刁小琴,等. 响应面优化微波结合木聚糖酶制备稻壳

低聚木糖工艺研[J]. *中国酿造*, 2019, 38(1): 129-133.

[5] ZHANG M, TANG J, RAS M, et al. Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables[J]. *Trends Food Sci Tech*, 2006, 17(10): 524-534.

[6] GERARD K A, ROBERTS J S. Microwave heating of apple mash to improve juice yield and quality[J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2004, 37(5): 551-557.

[7] 王愈,马世敏. 微波渗糖加工低糖橙皮果脯的工艺研究[J]. *中国食品学报*, 2011, 11(1): 91-96.

[8] 魏征,祝美云,邵建峰. 低糖苹果果脯微波渗糖工艺影响因素研究[J]. *食品科学*, 2010, 31(18): 37-40.

[9] 马艳弘,周剑忠,王英,等. 低糖蓝莓果脯的微波渗糖工艺[J]. *食品科学*, 2013, 34(10): 50-54.

[10] 王中凤. 低糖芒果脯加工工艺[J]. *食品与发酵工业*, 2006, 32(10): 86-87.

[11] 王顺民,李勇,曹卫兵. 低糖紫薯果脯微波真空渗糖工艺优化[J]. *食品与机械*, 2016, 32(7): 196-201.

[12] 祝美云,魏征,高峰. 不同微波渗糖工艺对低糖果脯维生素C保存的影响[J]. *果树学报*, 2010, 27(2): 299-302.

[13] SIDDIQ M, SOGI D S, DOLAN K D. Antioxidant properties, total phenolics, and quality of fresh-cut 'Tommy Atkins' mangoes as affected by different pre-treatments[J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2013, 53(1): 156-162.

[14] 曹建康,姜微波,赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京:中国轻工业出版社, 2007: 44-46, 57-58.

[15] ZHAO W Q, FANG Y, ZHANG Q A, et al. Correlation analysis between chemical or texture attributes and stress relaxation properties of 'Fuji' apple [J]. *Postharvest Biol Tec*, 2017, 129: 45-51.

[16] SINGH V, GUIZANI N, AL-ALAWI A, et al. Instrumental texture profile analysis (TPA) of date fruits as a function of its physico-chemical properties[J]. *Ind Crop Prod*, 2013, 50(10): 866-873.

[17] 张观飞,杨锦胜,陈卫军,等. 无硫椰子角的微波渗糖工艺[J]. *食品科技*, 2017, 42(8): 120-125.

[18] 祝美云,魏征,郭祥永. 可食性胶体添加对低糖猕猴桃果脯微波渗糖效果的影响[J]. *果树学报*, 2011, 28(4): 635-640.

[19] 赵晓玲. 低糖山楂果脯加工工艺研究[J]. *中国食物与营养*, 2015, 21(4): 59-62.

[20] 孙海涛,邵信儒,姜瑞平,等. 响应面试验优化超声渗糖制备野生软枣猕猴桃果脯工艺及其质构分析[J]. *食品科学*, 2015, 36(20): 49-55.

[21] 周彤,陈恺,董卓群,等. 响应面法优化杏梅超声波渗糖工艺[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(15): 165-170.

[22] 王晨,杨薇,易丽,等. 低糖樱桃番茄果脯渗糖工艺研究及品质评价[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(3): 265-278.