

微波对槟榔干果杀菌效果及其品质的影响

庄光辉¹, 邓浩¹, 冯建成², 邢福能¹, 康效宁¹, 王世萍¹, 吴涛², 张容鹄^{1*}

海南省农业科学院农产品加工设计研究所

¹ 海南省热带果蔬冷链研究重点实验室 海南海口 570100

² 海南大学热带生物资源教育部重点实验室, 海南海口 570228

摘要 以槟榔干果为材料, 研究微波对槟榔干果杀菌效果及其品质的影响, 采用单因素法和多因素正交法优化槟榔干果微波杀菌的工艺条件。结果表明, 在微波频率 2 450 MHz, 微波功率为 850 W, 装载量为 (9.5 ± 0.01) kg/m², 微波处理 75 s 后, 密封袋封口, 常温贮藏 180 d, 处理组槟榔干果中菌落总数、霉菌数目和大肠菌群数均未检出, 理化性质无显著影响。

关键词 槟榔干果; 微波; 杀菌; 品质

中图分类号 TS205.9

文献标识码 A

Effect of Microwave on Sterilization and Quality Properties of Dried Betelnut

ZHUANG Guanghui¹, DENG Hao¹, FENG Jiancheng², XING Funeng¹,

KANG Xiaoning¹, WANG Shiping¹, WU Tao², ZHANG Ronghu^{1*}

¹ Institute of Processing & Design of Agroproducts, Hainan Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Hainan Tropical Fruit and Vegetable Cold Chain, Haikou, Hainan 570100, China

² Key Laboratory of Tropical Biological Resources, Ministry of Education, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China

Abstract Microbial contamination was a difficult problem to be solved in dried betelnut storage. The effect of microwave on sterilization and quality properties of dried betelnut was studied. The process conditions of the microwave sterilization of dried betelnut were optimized by simple and multifactor orthogonal tests. The experiment results showed that the optimized process conditions were determined as follows: microwave frequency 2 450 MHz, microwave power 850 W, batch amount (9.5 ± 0.01) kg/m², and the microwave processing time 75 s. The total bacterial count, mould and coliform bacteria were undetected from the dried betelnut sterilized by microwave, which were packaged in zippered plastic bags under normal temperature storage for 180 d. At the same time, the physical and chemical quality of the dried betelnut was not significantly changed. It laid a good foundation for the application of microwave processing technology in industrial processing of betel nut.

Key words dried betelnut; microwave; sterilization; quality properties

doi 10.3969/j.issn.1000-2561.2018.01.025

槟榔 (*Areca catechu* L.) 是棕榈科槟榔属常绿乔木, 广泛分布于南亚和东南亚, 中国海南、台湾等地为其主产区。槟榔在海南是第二大热带经济作物, 槟榔业已成为海南和湖南两省的经济支柱产业之一^[1-2]。现代研究证实槟榔果有多种药理学活性, 包括抗寄生虫、抗炎、镇痛、抗过敏、调节血糖和血脂等功效, 居四大南药之首^[3]。

槟榔干果由槟榔鲜果经蒸汽或热泵干燥初加工而成 (俗称白果, 非烟熏果), 是槟榔主要深加工产品—食用槟榔生产的主要原料^[4]。目前, 食用槟榔产品合格率整体偏低, 主要原因是微生物指标超标, 不仅影响食用槟榔产品的质量, 同时也危害消费者的健康^[2]。槟榔干果原料存放中发霉腐烂是影

响食用槟榔品质的主要因素之一, 因而防止槟榔干果贮藏期微生物污染是亟待解决的问题^[1,2,5]。

微波是频率范围在 300 MHz~300 GHz 的非电离辐射电磁波, 微波处理技术在食品工业中各种加工处理如漂烫、干燥、巴氏灭菌、烘焙及食品解冻等方面都有广泛应用^[6]。微波杀菌同传统灭菌方法相比具有时间短、升温快、营养损失少, 食品有更好的口感和可接受性等特点而日益受到广泛的重视^[7]。目前还未见微波杀菌用于槟榔干果贮藏的报道^[8]。本研究以槟榔干果为研究对象, 研究微波对槟榔干果杀菌效果及其品质的影响, 以期微波处理技术在槟榔加工业中的产业化应用提供理论依据。

收稿日期 2017-06-15

修回日期 2017-09-06

基金项目 海南省重点研发计划专项项目 (No. ZDYF2016099)。

作者简介 庄光辉 (1975—), 男, 学士, 高级农艺师; 研究方向: 采后生物学。* 通讯作者 (Corresponding author): 张容鹄 (ZHANG Ronghu), E-mail: zrh0912@126.com。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 材料与试剂 槟榔干果购于海南省万宁市槟榔初加工厂；马铃薯去皮切块备用；平板计数琼脂 PCA 培养基、月桂基硫酸盐胰蛋白胨肉汤 LST (含小倒管)、煌绿乳糖胆盐肉汤 BGLB 培养基均购于上海广锐生物科技有限公司；其余试剂均为国产分析纯。

1.1.2 仪器与设备 HF-200A 型高速多功能粉碎机(辰禾盛丰工贸有限公司)、AUY220 电子天平(日本岛津公司)、5810R 型台式冷冻离心机(德国 Eppendorf 公司)、FT-35 微波综合食品干燥杀菌机(广州福滔微波设备有限公司)、MJ-150 霉菌培养箱(苏州威尔实验用品有限公司)、SW-CJ-2D 净化工作台(苏州净化设备有限公司)、立式压力蒸汽灭菌器(上海博迅实业有限公司医疗设备厂)、SPH-2008 恒温培养摇床(上海世平实验设备有限公司)。

1.2 方法

1.2.1 微波处理功率的优化 将槟榔干果按 (9 ± 0.01) kg/m² 装入微波处理室，微波频率 2 450 MHz，采用不同功率(0、500、600、700、800、900、1 000、1 100 W)，连续处理 70 s。以菌落总数、干果水分含量、干果膨胀个数为指标，确定适宜的微波功率。

1.2.2 微波处理时间的优化 将槟榔干果按 (9 ± 0.01) kg/m² 装入微波处理室，微波频率 2 450 MHz，微波功率 900 W，分别处理 0、60、70、80、90 s。以菌落总数、干果水分含量、干果膨胀个数为指标，确定适宜的微波处理时间。

1.2.3 槟榔干果装载量的优化 将槟榔干果分别按 (7 ± 0.01) 、 (8 ± 0.01) 、 (9 ± 0.01) 、 (10 ± 0.01) 、 (11 ± 0.01) kg/m² 装入微波处理室，微波频率 2 450 MHz，微波功率 900 W，处理 70 s。以菌落总数、干果水分含量、干果膨胀个数为指标，确定适宜的槟榔干果装载量。

1.2.4 多因素正交实验 实验选择微波功率(A)、微波处理时间(B)、装载量(C)等 3 因素，3 水平，采用 $L_9(3^4)$ 混合水平正交表，按表 1 中的因素水平处理。

1.2.5 综合评分法 参照陈恒文等^[9]应用的多指标

综合平衡法，即加权评分方法获得处理后槟榔干果的综合评分，对综合评分结果进行方差分析。设定满分 100 分，水分含量权重 60 分，菌落总数和膨胀率权重各为 20 分，在此基础上进行总加权评分，菌落总数评分为： $S_{Et}=20 \times (1-Ei/Emax)$ ；水分含量评分为： $S_{Et}=60Fi/14$ ；膨胀率 G 评分为： $S_{Gi}=20 \times (1-Gi/20\%)$ ，综合评分为 $Pi=S_{Et}+S_{Fi}+S_{Gi}$ 。

1.2.6 指标的测定

(1)微生物含量的检测。按照 1.2.5 优化的方法处理槟榔干果，放密实袋密封保存 180 d 后，以未经处理直接储藏的槟榔干果为对照组，参照 GB 4789.2-2010^[10]、GB 4789.15-2010^[11]、GB 4789.3-2010^[12] 的方法，检验菌落总数、霉菌数目、大肠菌群数。

(2)理化性质检测。水分含量的测定参照 GB 5009.3-2010 方法进行^[13]；蛋白质含量的测定参照 GB 5009.5-2010 方法进行^[14]；粗纤维含量的测定参照 GB/T 5009.10-2003 方法进行^[15]；还原糖含量的测定参照 GB/T 5009.7-2008 方法进行^[16]。槟榔碱含量的测定采用高效液相色谱法进行^[17]。

(3)膨胀率测定。槟榔微波处理一个批次后，其膨胀的个数占此批次总个数的百分比。

1.3 数据分析

数据获得以平行试验最少 3 次，取平均值，方差分析应用 Spss 17.0 软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 微波杀菌功率的优化

从表 2 可知，随微波处理功率的增加，槟榔干果的菌落总数明显下降。未处理的干果，菌落总数为 $(5.7 \times 10^5 \pm 2.6 \times 10^4)$ CFU/g，在微波功率为 900 W，

表2 微波功率对槟榔干果杀菌的影响

Table 2 Effect of microwave power on dried betelnut

微波功率/W	菌落总数/(CFU·g ⁻¹)	水分含量/%	干果膨胀数/(个·kg ⁻¹)
0	$5.7 \times 10^5 \pm 2.6 \times 10^4$	15.2±1.1	0
500	$2.3 \times 10^3 \pm 3.5 \times 10^2$	14.1±0.9	0
600	900±58	13.6±1.0	0
700	210±10	13.2±0.8	0
800	19±4.2	12.9±1.1	0
900	未检出	12.6±0.6	0
1 000	未检出	10.6±0.7	2
1 100	未检出	9.82±0.6	13

说明：菌落总数和水分含量测定实验平行3次，结果取平均值±标准偏差；干果膨胀数测定实验平行3次，结果取平均值整数。下同。

Note: The total number of colony and water content were measured three times in parallel, the result was the average±standard deviation; the result about number of expansion on dried fruit was average integer. The same as below.

表1 因素水平表 $L_9(3^4)$

Table 1 The design table of factors and levers $L_9(3^4)$

水平	A(微波功率)/W	B(处理时间)/s	C(装载量)/(kg·m ⁻²)
1	850	65	8.5±0.01
2	900	70	9.0±0.01
3	950	75	9.5±0.01

处理 70 s 时, 未检测出菌落; 干果水分含量也随微波功率增加而降低, 由初始的 15.2% 降低到 9.82%; 从干果膨胀个数看, 当微波功率为 500~900 W 间, 干果膨胀个数为 0, 而当微波功率增加到 1 000 W 时, 干果膨胀个数为 2 个/kg, 微波功率为 1 100 W 时增加到 13 个/kg。干果水分低(低于 10%), 进一步加工成食用槟榔口感差, 而膨胀的槟榔干果丧失槟榔的商品价值^[4,8]。所以, 综合以上因素, 选择微波功率 900 W 是适宜的。

2.2 微波处理时间的优化

从表 3 可知, 微波功率 900 W, 分别处理 0、60、70、80、90 s, 随处理时间的增加, 槟榔干果的灭菌效果明显增强。未处理的干果, 菌落总数为 $(5.7 \times 10^5 \pm 2.6 \times 10^4)$ CFU/g, 在微波处理时间为 70 s 时, 未检测出菌落。从含水量和干果膨胀个数 2 个指标看, 处理时间为 70 s 时, 槟榔水份含量为 12.6%, 干果膨胀个数为 0 个/kg, 按照中华人民共和国农业行业标准 NY/T487-2002 中对槟榔干果等级分类, 质量符合要求^[18]。处理时间增加为 80 s 后, 尽管未检出菌落, 但干果水分含量为 11.2%, 且干果膨胀个数达到 2 个/kg, 不利于后续槟榔深加工。因而微波处理时间控制在 70 s 为宜。

2.3 槟榔干果装载量的优化

从表 4 可知, 微波功率 900 W, 处理时间 70 s, 随干果装载量的增加, 槟榔干果的灭菌效果出现逐步减弱的趋势。未处理的干果, 菌落总数为 $(5.7 \times 10^5 \pm 2.6 \times 10^4)$ CFU/g, 在装载量为 (10 ± 0.01) kg/m² 时, 检测出菌落总数为 (16 ± 2.2) CFU/g。从水分含量和干果膨胀个数 2 个指标看, 水分含量随装载量的增加而增加, 而干果膨胀数则随装载量增加而降低, 在装载量为 (9 ± 0.01) kg/m² 时, 水分含量为 12.6%, 干果膨胀个数为 0 个/kg。综合以上因素, 选取装载量 (9 ± 0.01) kg/m² 为宜。

2.4 多因素正交实验结果

正交试验目的是探讨微波对槟榔干果杀菌效果

的最佳工艺条件, 在保证槟榔干果品质的基础上, 最大限度延长槟榔干果的贮藏期。试验中考核微波处理槟榔干果的效果有 3 个考核指标: 菌落总数、水分含量和膨胀率。以单个考核指标得到的最佳工艺均不同, 为了获得最佳工艺, 把 3 个指标进行加权后进行综合评分。实验结果显示, 微波处理后的槟榔干果在贮藏过程中菌落总数越少越好, 菌落总数越少, 越耐贮藏, 评分越高; 微波处理槟榔干果, 容易引起槟榔膨胀开裂, 对后期加工不利, 试验结果以膨胀率越小越好, 膨胀率达到 20% 视为微波处理无效; 在贮藏过程中, 水分含量是影响品质的最主要因素, 水分越低越容易贮藏, 但是槟榔硬化明显, 微波处理也越容易开裂, 不利于食用槟榔的加工, 水分含量越高, 后期贮藏容易霉变, 因此设定以 14% 水分含量为最佳, 含量越低或越高, 分数越低。根据 1.2.5 方法, 正交试验综合评分结果如表 5 所示。

微波处理对槟榔干果品质的影响正交试验方差分析见表 6。从表 6 可见, $p < 0.05$, 说明微波功率、处理时间和装载量对综合评分是显著相关的, 影响因素最大的是微波功率, 其次是处理时间和装载量。以综合评分进行方差分析得到的最佳条件为 $A_1B_3C_3$, 即微波功率为 850 W, 微波处理 75 s, 装载量为 (9.5 ± 0.01) kg/m²。

2.5 微波处理对槟榔干果储藏品质的影响

2.5.1 槟榔干果储藏中微生物检测结果 以未经微波灭菌处理常温下贮存的槟榔干果为对照, 将采购的海南省万宁市初加工厂的槟榔干果, 按照正交试验优化后的方法 $A_1B_3C_3$ (即微波功率为 850 W, 微波处理 75 s, 装载量为 (9.5 ± 0.01) kg/m² 进行微波处理, 在储藏 0 d, 180 d 后对其微生物含量进行检测, 结果见表 7。从表 7 可知, 对照组在贮藏 180 d 后, 菌落总数、霉菌数目和大肠菌群数均大幅度提高; 而微波处理后的槟榔干果在储藏 180 d 后, 各样品菌落总数、霉菌数目和大肠菌群数均为

表3 微波处理时间对槟榔干果杀菌的影响
Table 3 Effect of sterilization time by microwave on dried betelnut

处理时间/s	菌落总数 (CFU·g ⁻¹)	水分含量/%	干果膨胀数 (个·kg ⁻¹)
0	$5.7 \times 10^5 \pm 2.6 \times 10^4$	15.2±1.1	0
60	44±3.1	13.5±1.0	0
70	未检出	12.6±0.6	0
80	未检出	11.2±0.8	2
90	未检出	8.8±0.6	16

表4 槟榔干果装载量的优化
Table 4 Optimization on loadage of dried betelnut

装载量 (kg·m ⁻²)	菌落总数 (CFU·g ⁻¹)	水分含量/%	干果膨胀数 (个·kg ⁻¹)
7±0.01	未检出	8.63±0.7	15
8±0.01	未检出	11.50±0.9	2
9±0.01	未检出	12.60±0.6	0
10±0.01	16±2.2	13.30±0.9	0
11±0.01	150±2.0	14.20±0.8	0

表5 正交试验结果
Table 5 The results of orthogonal experiment

试验号	A(微波功率) /W	B(处理时间) /s	C(装载量) /(kg·m ⁻²)	D (空列)	E(菌落总数) /(CFU·g ⁻¹)	F(水分含量) /%	G(膨胀率) /%	P(综合评分)
1	1(850)	1(65)	1(8.5)	1	11.1±1.2	13.8±0.8	0	80.8
2	1	2(70)	2(9.0)	2	8.0±0.9	13.5±0.9	0	84.6
3	1	3(75)	3(9.5)	3	0	12.9±0.7	0	95.3
4	2(900)	1	2	3	12.1±1.0	13.7±0.6	0	78.7
5	2	2	3	1	7.8±0.8	13.1±0.9	0	83.3
6	2	3	1	2	0	11.1±0.6	9.4	78.2
7	3(950)	1	3	2	10.9±0.9	13.5±1.0	0	79.8
8	3	2	1	3	0	11.8±0.8	5.8	84.8
9	3	3	2	1	0	11.3±0.7	7.0	81.4
K ₁	260.7	239.4	243.7	245.5				
K ₂	240.1	252.7	244.8	242.6				
K ₃	246.0	254.9	258.4	258.8				
k ₁	86.9	79.8	81.2	81.8				
k ₂	80.0	84.2	81.6	80.9				
k ₃	82.0	85.0	86.1	86.3				
R	6.9	5.2	4.9	5.4				

表6 正交试验方差分析
Table 6 Variance analysis of orthogonal experiment

因素	离均差平方和	自由度	均方	F值	p值
校正模型	489.0	6	81.5	10.9	0.000
截距	185 687.7	1	185 687.7	24 760.4	0.000
微波功率	221.2	2	110.6	14.7	0.000
处理时间	135.3	2	67.7	9.0	0.002
装载量	132.5	2	66.2	8.8	0.002
误差	145.0	20	7.5		
总计	186 326.7	27			
校正的总计	639.06	26			

表7 微波对槟榔干果杀菌效果
Table 7 The sterilization effect of microwave on dried betelnut

检测项目	储藏时间/d	对照组	处理组
菌落总数/(CFU·g ⁻¹)	0	5.70×10 ⁵ ±2.12×10 ⁴	未检出
	180	无法计数	未检出
霉菌数/(CFU·g ⁻¹)	0	4±2	未检出
	180	无法计数	未检出
大肠菌群数/(MPN/100 g)	0	<12	未检出
	180	>300	未检出

说明：对照组，槟榔干果未经处理直接存放；处理组，槟榔干果经微波处理密封保存。下同。

Note: The control group, the dried fruit of areca nut was packed by hermetic bag and preserved directly without any treatment. Treatment group, the dried fruit of areca nut was packed by hermetic bag and preserved after microwave processing. The same as below.

检出, 完全符合要求。

2.5.2 槟榔干果储藏中理化性质的检测 以未经微波处理常温下贮存的槟榔干果为对照, 将槟榔干果按照 1.2.5 正交试验优化后的方法进行微波处理, 在储藏 0、180 d 后对其理化性质进行检测, 结果见表 8。从表 8 可知, 对照组槟榔干果, 在储藏 180 d 后, 其水分、总糖、总蛋白及槟榔碱含量均降低, 而粗纤维含量显著上升, 丧失槟榔的商品价值; 处理组的槟榔干果, 各项指标未见明显变化。因而说明, 微波杀菌后处理的槟榔干果, 可密封常温储存 180 d, 对其理化性质无显著影响。

表8 微波对槟榔干果理化性质的影响
Table 8 Effect of microwave on physical and chemical quality of dried betelnut

检测项目	储藏时间/d	对照组	处理组
水分含量/%	0	15.200±0.80	12.2±1.10
	180	10.600±0.60	12.0±1.00
还原糖(g·100 g ⁻¹)	0	19.100±0.82	18.3±0.97
	180	13.700±0.96	18.2±0.86
总蛋白(g·100 g ⁻¹)	0	7.120±0.34	7.1±0.47
	180	5.120±0.26	7.1±0.36
粗纤维(g·100 g ⁻¹)	0	22.450±1.31	21.8±1.85
	180	25.920±1.19	21.7±1.69
槟榔碱(g·100 g ⁻¹)	0	0.532±0.27	0.53±0.04
	180	0.433±0.21	0.52±0.04

3 讨论

槟榔干果是食用槟榔的初级原料, 如何在高温高湿的地区储藏槟榔干果, 有效控制微生物滋生, 防止霉变减少损失是一个亟待解决的关键问题^[1,2,4]。

食品原料灭菌常采用高压灭菌、添加防腐剂或辐照加工等方法^[2,6,8]。高温灭菌易造成食品质地、口味、香味和营养成分的显著破坏; 添加防腐剂会产生药剂残留超标^[19]; 而 3 种辐射处理方法: γ 射线、电子束和 X 射线, 由于消费者对辐射安全性的担忧, 部分国家还禁止辐射技术用于草本植物和香料杀菌造成其广泛应用存在很多障碍^[20]。

目前, 针对槟榔初加工产品槟榔干果微生物控制方法研究仍是空白, 国内仅有少量对于槟榔深加工产品食用槟榔灭菌方法的报道, 主要采用 $^{60}\text{Co}\gamma$ 射线辐照、微波灭菌和脉冲强光灭菌等方法。徐远芳等^[2]采用 $^{60}\text{Co}\gamma$ 射线辐照食用槟榔, 杀菌效果明显, 当辐照剂量 3.65 kGy 时, 食用槟榔的菌落总

数由初始的 5.8×10^6 CFU/g 降低到 1.1×10^3 CFU/g, 霉菌数小于 10 CFU/g, 大肠菌群数降低到 3 MPN/g 以下。但 $^{60}\text{Co}\gamma$ 射线辐照灭菌仍存争议, 且需大型配套设备, 消费者对辐照食品可接受性低。杜道林等^[8]报道食用槟榔经 2 450 MHz、850 W 微波处理 40 s, 室温下保质期可达 3 个月, 对食用槟榔的槟榔碱含量、口味、咀嚼性没有明显影响。但该方法未对槟榔干果的灭菌进行研究。李智等^[21]报道在食用槟榔加工切片工序之后, 包装工序之前, 生产线上采用脉冲光源辐照, 光强为 1~8 kJ/cm², 脉冲宽度 3~10 μs , 杀菌效果好, 可显著延长槟榔产品保质期, 且对槟榔产品品质影响较小。但其射线辐照条件苛刻, 需要严密的防护措施, 在生产环节大部分依赖人工的环境条件下, 推广应用受限。

微波杀菌是利用微波的热效应和生物效应共同杀灭微生物。微波的热效应是水、蛋白质、核酸等极性分子受到交变电场的作用相互“摩擦”产生内热, 使蛋白质变性, 核酸失活, 导致微生物死亡。微波的生物效应是微波电场改变细胞膜的通透性, 导致微生物 DNA 和 RNA 氢键松弛、断裂, 诱发基因突变或染色体畸变^[22]。微波灭菌具有操作简单、低温杀菌、高效节能、绿色安全等特征。目前微波杀菌在果汁加工、蔬菜保鲜和肉类加工等方面有广泛的应用^[20,22], 但目前还未见微波用于槟榔干果杀菌的报道。

槟榔干果储藏中霉变与干果含水量、气候和储藏条件密切相关^[4]。当槟榔干果水分含量高(16%以上), 加工成食用槟榔软化细腻口感好, 但贮藏过程中极易长霉, 干果原料品质难以保证。水分含量低(10%以下), 容易贮藏, 微生物不易滋长, 但进一步加工成食用槟榔, 其纤维硬化, 口感差, 不利于咀嚼, 市场也不易接受。微波灭菌中由于微波的热效应易于产生膨胀作用, 随着功率增加, 干果膨胀个数逐步增加, 而膨胀的槟榔干果丧失槟榔的商品价值, 不利于后续槟榔的深加工。因而在微波对槟榔干果杀菌效果及其品质影响研究中, 选择菌落总数, 水分含量和干果膨胀个数 3 个参考指标进行多因素正交试验。结果表明, 在微波功率为 850 W, 装载量为 (9.5 ± 0.01) kg/m², 处理时间 75 s 杀菌处理后, 密实袋封口, 常温储藏 180 d 后, 槟榔干果中菌落总数、霉菌数目和大肠菌群数均未检出, 理化性质无显著影响。

致谢 感谢万宁海锋农业开发有限公司及时提供的原料及贮藏信息, 特此表示感谢!

参考文献

- [1] 王友水, 蒋小平, 刘 亮, 等. 食用槟榔加工污染控制对策研究[J]. 实用预防医学, 2008, 15(6): 1 873-1 875.
- [2] 徐远芳, 邓钢桥, 彭 玲, 等. 辐照对食用槟榔的杀菌效果及品质的影响[J]. 核农学报, 2014, 28(2): 240-244.
- [3] Peng W, Liu Y J, Wu N, *et al.* *Areca catechu* L. (Arecaceae): a review of its traditional uses, botany, phytochemistry, pharmacology and toxicology[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2015, 164: 340-356.
- [4] 张容鸽, 高元能, 冯建成, 等. 热泵干燥槟榔中试工艺参数优化[J]. 农业工程学报, 2016, 32(9): 241-247.
- [5] 邓峥华, 邓春明, 李帮锐. 市售食用槟榔微生物污染状况调查分析[J]. 海峡预防医学杂志, 2015, 21(3): 66-67.
- [6] Chandrasekaran S, Ramanathan S, Basak T. Microwave food processing-A review[J]. Food Research International, 2013, 52(1): 243-261.
- [7] 戚 彪, 曲 超, 成晓瑜, 等. 微波杀菌对卤猪肝品质特性的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(1): 69-72.
- [8] 杜道林, 甘炳春, 王有生, 等. 食用槟榔的微波灭菌研究[J]. 食品科技, 2005(7): 86-88.
- [9] 陈恒文, 张翠英, 任伟光, 等. 多指标综合评分法优化宣痹安痛方的水提醇沉工艺[J]. 中国中药杂志, 2016, 41(1): 70-74.
- [10] 中华人民共和国卫生部. GB 4789.2-2010 食品微生物学检验 菌落总数测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [11] 中华人民共和国卫生部. GB 4789.15 -2010 食品微生物学检验 霉菌和酵母计数[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [12] 中华人民共和国卫生部. GB 4789.3-2010 食品微生物学检验 大肠菌群计数[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [13] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.3-2010 食品中水分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [14] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.5-2010 食品中蛋白质的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [15] 中华人民共和国卫生部. GB/T 5009.10-2003 植物类食品中粗纤维的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [16] 中华人民共和国卫生部. GB/T 5009.7-2008 食品中还原糖的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [17] Zhang J, Hao X, Li X, *et al.* Effect of chitosan coating combined with sulfur dioxide fumigation on the storage quality of fresh areca nut[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2016, doi:10.1111/jfpp.12974.
- [18] 中华人民共和国农业部. NY/T 487-2002 槟榔干果[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [19] 金海燕, 扶承荣. 复配槟榔防腐剂在槟榔中的效果应用研究[J]. 中国食品添加剂, 2014(8): 128-133.
- [20] Zhang H, Tang Z, Rasco B, *et al.* Shelf-life modeling of microwave -assisted thermal sterilized mashed potato in polymeric pouches of different gas barrier properties[J]. Journal of Food Engineering, 2016, 183: 65-73.
- [21] 李 智. 一种槟榔的脉冲强光灭菌方法: 中国, CN104188047A[P]. 2014-12-10.
- [22] 杭 锋, 陈 卫, 龚广予, 等. 微波杀菌机理与生物学效应[J]. 食品工业科技, 2009, 30(1): 333-337.

责任编辑：沈德发