

# 热风—微波联合干燥对油菜籽品质的影响

## Effect on quality of rapeseed treating by hot air-microwave drying

刘清<sup>1</sup> 吴美芳<sup>2</sup> 赵玉强<sup>1</sup> 吴苏喜<sup>2</sup> 易翠平<sup>2</sup>

LIU Qing<sup>1</sup> WU Mei-fang<sup>2</sup> ZHAO Yu-qiang<sup>1</sup> WU Su-xi<sup>2</sup> YI Cui-ping<sup>2</sup>

刘瑞兴<sup>2</sup> 师建芳<sup>1</sup> 娄正<sup>1</sup> 邵广<sup>1</sup>

LIU Rui-xing<sup>2</sup> SHI Jian-fang<sup>1</sup> LOU Zheng<sup>1</sup> SHAO Guang<sup>1</sup>

(1. 农业部规划设计研究院农业部农产品产后处理重点实验室, 北京 100121;

2. 长沙理工大学化学与生物工程学院, 湖南长沙 410114)

(1. Chinese Academy of Agricultural Engineering, Key Laboratory of Agro-Products Postharvest Handling, Ministry of Agriculture, Beijing 100121, China; 2. School of Chemical and Biomedical Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha, Hunan 410114, China)

**摘要:**通过研究热风、微波以及热风—微波联合干燥对油菜籽水分干燥曲线、酸价、过氧化值及脂肪酸的影响,得到了品质保障下的最佳热风—微波联合干燥工艺。结果表明,热风温度 80 ℃、转换点水分含量 15%、微波功率 500 W,可以在 12 min/30 s 内将油菜籽水分从 18%降低至 7.51%,油菜籽的酸价和过氧化值含量较低、发芽率较高且芥酸含量最低。

**关键词:**油菜籽;热风;微波;联合干燥;品质

**Abstract:** By studying the effects of hot air, microwave and hot air-microwave on drying curve, acid value, peroxide value and fatty acids of rapeseed, the optimum hot air-microwave dry processes under good qualities was obtained. And were as followed: hot air temperature 80 ℃, moisture content in transition point 15%, power of microwave 500 W; by drying in 12 min/30 s, the moisture content decreased from 18% to 7.51%, and the rapeseed has low acid value and peroxide value, relatively high germination rate and the lowest erucic acid.

**Keywords:** rapeseed; hot air; microwave; dry; quality

油菜籽是中国食用油脂的主要原料,国家粮库战略储备品种。水分含量对其安全储藏和油品品质至关重要。但新鲜油菜籽水分含量一般在 15%~30%,达不到 8% 以下的安全水分<sup>[1]</sup>,因此产地快速节能的干燥方法对于提升储藏油菜籽的品质具有十分重要的现实意义<sup>[2]</sup>。

**基金项目:** 2013 年公益性行业(农业)科研专项经费项目(编号: 201303072)

**作者简介:** 刘清,女,农业部规划设计研究院高级工程师,博士。

**通信作者:** 易翠平(1973—),女,长沙理工大学教授,博士。

E-mail: 109823769@qq.com

**收稿日期:** 2017-06-01

油菜籽的传统干燥方法为日晒<sup>[2]</sup>,干燥效果取决于天气、湿度等不可控因素。热风干燥目前已广泛应用于农业生产,其均匀性好但能耗大、成本较高,中国很多粮油加工企业都慎用<sup>[3]</sup>。微波干燥具有加热快、选择性好、便于控制和能源利用率高等优点,在农产品加工等多个领域逐渐受到重视<sup>[3-4]</sup>。文献[5]报道,微波既能快速经济地对油菜籽进行干燥,又能保持其种用价值和食用品质,使油菜籽发生有利变异,保持后代品质。与热风干燥比较,微波干燥恒速干燥期降水速率最大,种子的发芽能力增加,提高菜籽的营养价值<sup>[6-8]</sup>。研究<sup>[6,9-10]</sup>报道,热风—微波联合干燥具有能耗低、产品品质有保障的特点,已经较为广泛地应用在食品干燥领域,比如鸭肉粒<sup>[9]</sup>、胡萝卜<sup>[10]</sup>等食品的干燥。

本试验拟探讨热风—微波联合干燥方式在保障油菜籽品质的前提下,尽可能降低能耗、提高干燥效率。通过采用热风和微波以及两者联用的干燥方式干燥油菜籽,分析不同干燥方式对油菜籽品质的影响,以探索快速节能的干燥方式,为规模化低耗能干燥油菜籽提供试验依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与设备

新鲜油菜籽:水分含量 18%,宁乡县绿自然家庭农场提供;

石油醚(沸程 30~60 ℃)、正己烷、氢氧化钾等:分析纯,国药集团药业股份有限公司。

电热恒温干燥箱:101-2A 型,天津泰斯特仪器有限公司;

微波炉:TV025LX3-NA 型,美的集团有限公司;

电子天平:BSA124S 型,赛多利斯科学仪器(北京)有限

公司;

电子恒温水浴锅:HH-1型,国华电器有限公司;

高速万能粉碎机:FW1000型,天津泰斯特仪器有限公司;

旋转蒸发仪:SHZ-DIII型,巩义市予华仪器有限公司;

色谱仪:GC-14C型,日本岛津公司。

### 1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 新鲜油菜籽去除杂质、霉变粒后,初始水分含量为18%,按以下方法干燥。

(1) 热风干燥:取100g左右的油菜籽,摊成一层,分别在60,70,80,90,100℃下热风干燥,每隔30min取样,冷却粉碎,测定水分含量。

(2) 微波干燥:取100g左右的油菜籽,分别在100,300,500,800,1000W的微波强度下干燥,每隔10s取样,冷却粉碎,测定水分含量。

(3) 热风-微波联合干燥:根据单因素试验结果,取热风温度、转换点水分含量、微波功率3个因素设计 $L_9(3^4)$ 正交试验,其中转换点水分含量根据相应的干燥曲线结果确定。

因本正交试验有酸价、过氧化值和发芽率3个指标,考虑酸价和过氧化值为制取食用油的关键指标,因此各占0.35的权重;油菜籽如果不做种用,发芽率权重设为0.3,通过式(1)计算综合评分。

综合评分 = 酸价隶属值 × 0.35 + 过氧化值隶属值 × 0.35 + 发芽率隶属值 × 0.3。 (1)

其中,隶属值的计算公式为:

$$X = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}), \quad (2)$$

式中:

X——指标隶属值;

$X_i$ ——试验值;

$X_{\min}$ ——同一指标试验最小值;

$X_{\max}$ ——同一指标试验最大值。

1.2.2 脂肪酸测定 称取100g油菜籽样品,石油醚浸提,1mol/L氢氧化钾-甲醇溶液甲酯化,取甲酯化样品0.4μL注射进已准备好的气相色谱,色谱柱为SUPELCO WAX 10(30m×0.32mm×0.25μm)。脂肪酸的百分含量采用归一化法计算<sup>[11]</sup>。

1.2.3 发芽率的测定 按GB5520—2011执行。

1.2.4 常规成分测定

(1) 水分:按GB5009.3—2010执行。

(2) 酸价:按GB5009.229—2016执行。

(3) 过氧化值:按GB5009.227—2016执行。

1.2.5 数据处理 所有数据均重复3次,采用Excel2003作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 热风干燥对油菜籽的影响

由图1可知:热风干燥过程中,随着干燥时间的延长,油菜籽水分含量逐渐减少,干燥末期曲线变得平缓,脱水难度

增加。其中,干燥温度越高,油菜籽在短时间内的失水速率越快,达到油菜籽的相对安全储藏水分所需时间越短,干燥温度为60,70,80,90,100℃,达到8%的水分含量所需干燥时间分别为30,20,18,15,15min。虽然随着温度的升高、油菜籽的干燥时间缩短,但高温同时会破坏生物酶的活性、导致油菜籽的发芽率下降,图2的结果表明:超过80℃,油菜籽的发芽率开始迅速下降,到100℃时,发芽率降至16.3%。

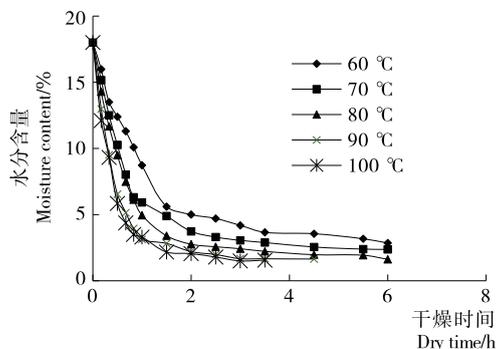


图1 油菜籽的热风干燥曲线图

Figure 1 Hot air drying curve of rapeseed

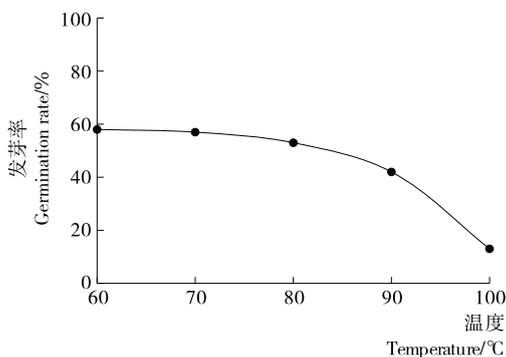


图2 热风干燥对发芽率的影响

Figure 2 Hot air drying on germination rate of rapeseed

温度对油菜籽的酸价、过氧化值等亦有较大的影响,80℃以下的热风温度范围,酸价值增长较为缓慢;超过80℃,酸价的增长随着热风温度的上升而急剧增加,至100℃时,油菜籽的酸价已经超过3mg/g(见图3)。同时,对过氧化值的分析发现,油菜籽的过氧化值亦是随着热风温度的增加而增加(见图4),基本呈线性关系。

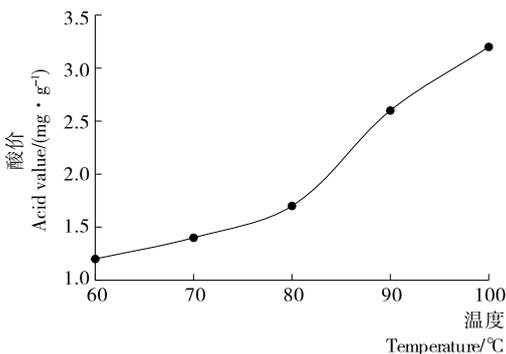


图3 热风干燥对酸价的影响

Figure 3 Hot air drying on acid value of rapeseed

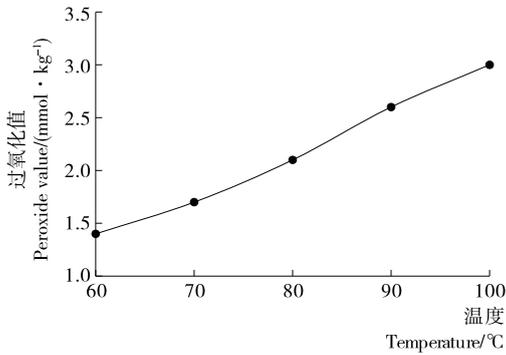


图 4 热风干燥对过氧化值的影响

Figure 4 Hot air drying on peroxide value of rapeseed

## 2.2 微波干燥对油菜籽的影响

不同微波强度的油菜籽干燥曲线分析表明(见图 5): 100, 300, 500, 800, 1 000 W 的微波强度将油菜籽干燥到水分含量 8% 需要时间分别为 210, 160, 73, 85, 105 s, 说明与热风干燥比较, 微波干燥的能量利用率高、加热时间短。但微波强度超高 800 W 以后, 籽粒局部焦糊增加, 整体干燥时间延长, 说明油菜籽干燥的微波强度不宜超过 800 W。与热风干燥结果比较, 微波干燥油菜籽的发芽率亦高 20% 左右, 与 Upinska 等<sup>[12]</sup>报道微波干燥对油菜籽的发芽损伤率低于热风干燥的研究结果一致。由图 6 可知, 500 W 的微波强度发芽率最高, 达到 82%; 超过 500 W, 发芽率开始降低。

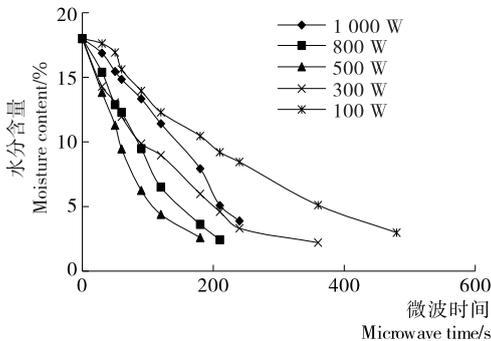


图 5 油菜籽的微波干燥曲线

Figure 5 Microwave drying curve of rapeseed

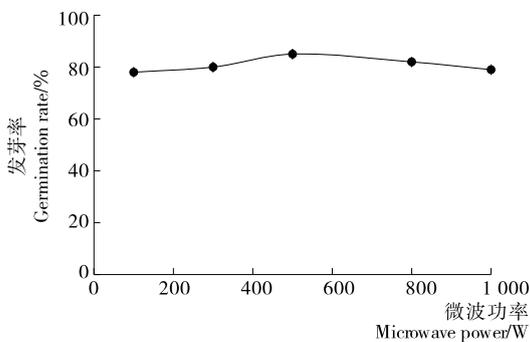


图 6 微波干燥对油菜籽发芽率影响

Figure 6 Microwave drying on germination rate of rapeseed

微波干燥对油菜籽的酸价和过氧化值亦有较大影响, 图 7 和图 8 的结果表明, 在 100~1 000 W 的微波强度范围内, 随着微波功率的增加, 酸价和过氧化值基本呈线性增加,

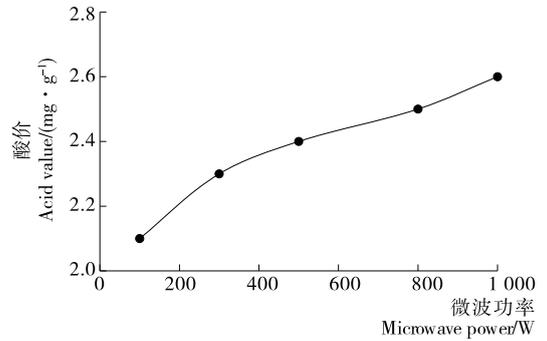


图 7 微波功率对酸价的影响

Figure 7 Microwave drying on acid value of rapeseed

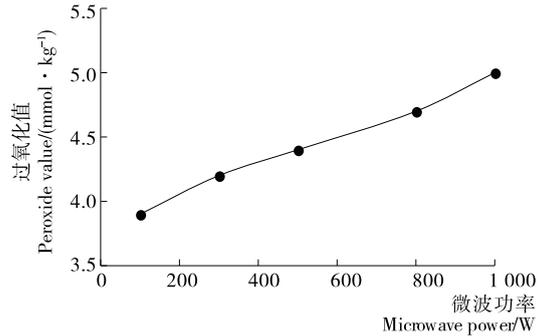


图 8 微波功率对过氧化值影响

Figure 8 Microwave drying on peroxide value of rapeseed

但都还在食用油脂的安全范围内。

## 2.3 热风—微波联合干燥对油菜籽品质的影响

2.3.1 热风—微波联合干燥的工艺优化 根据 2.1、2.2 的结果设计正交试验(见表 1), 表 2 的综合评分结果表明, 热风温度对油菜籽的品质影响最大, 其次为微波功率、转换点水分, 正交试验最佳组合为 A<sub>3</sub>C<sub>2</sub>B<sub>1</sub>, 即热风温度 80 °C, 微波功率 500 W, 转换点水分 15%。

表 1 油菜籽热风—微波干燥正交试验表

Table 1 Orthogonal table of rapeseed drying by hot air-microwave

水平	热风温度/°C	转换点水分含量/%	微波功率/W
1	100	15	300
2	90	13	500
3	80	11	800

2.3.2 正交试验条件对油菜籽脂肪酸组成的影响 脂肪酸是菜籽油的主要构成, 因此干燥对油菜籽脂肪酸的影响不可忽略。表 3 的结果表明, 不同干燥条件对除芥酸外的脂肪酸均没有显著影响。摄入大量芥酸含量高的菜籽油, 会刺激大鼠肝脏肥大, 对高脂模型大鼠的脂质水平没有改善作用, 甚至有促进作用<sup>[13]</sup>。因此联合国粮农组织及世界卫生组织要求双低油菜籽中的芥酸 < 5%<sup>[14]</sup>, 本研究采用的油菜籽芥酸含量较高, 不属于双低油菜籽, 但表 3 结果中最低含量为 3.91%, 达到低芥酸的要求, 说明优化的热风—微波联合干燥工艺有利于提高油菜籽脂肪酸的营养价值。此时的干燥工艺为 A<sub>3</sub>C<sub>2</sub>B<sub>1</sub>, 与正交试验获得的最佳工艺组合一致。

表2 正交试验结果与分析  
Table 2 Results of orthogonal experiment ( $n=3$ )

试验编号	A	B	C	空列	酸价/( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	过氧化值/( $\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	发芽率/%	综合评分
1	1	1	1	1	1.4±0.1	2.0±0.2	67.3±1.3	0.15
2	1	2	2	2	1.7±0.1	2.1±0.1	73.4±0.9	0.29
3	1	3	3	3	1.5±0.1	2.6±0.4	68.9±1.2	0.24
4	2	1	2	3	3.7±0.4	5.3±0.6	71.4±0.6	0.86
5	2	2	3	1	2.7±0.3	4.8±0.4	74.5±1.6	0.70
6	2	3	1	2	2.4±0.2	3.0±0.2	53.4±2.1	0.21
7	3	1	3	2	3.3±0.3	4.2±0.3	78.5±0.9	0.79
8	3	2	1	3	3.2±0.1	5.0±0.4	56.2±1.5	0.55
9	3	3	2	1	3.2±0.2	5.8±0.4	58.4±1.9	0.65
$K_1$	0.68	1.80	0.91	1.50				
$K_2$	1.77	1.54	1.80	1.28				
$K_3$	2.00	1.10	1.74	1.65				
极差 R	1.32	0.70	0.89	0.37				

表3 正交试验条件下油菜籽脂肪酸组成<sup>†</sup>  
Table 3 Fatty acids of rapeseed on orthogonal experiment condition ( $n=3$ ) %

试验编号	棕榈酸	油酸	亚油酸	亚麻酸	花生酸	花生一烯酸	芥酸
1	6.16±0.00	44.89±0.01	25.04±0.01	12.92±0.00	1.01±0.00	5.06±0.00	4.92±0.00 <sup>a</sup>
2	6.17±0.00	43.01±0.01	25.20±0.00	13.96±0.01	1.08±0.00	5.24±0.01	5.34±0.01 <sup>a</sup>
3	6.26±0.01	44.59±0.01	25.34±0.00	12.72±0.00	1.21±0.01	5.56±0.01	4.32±0.00 <sup>b</sup>
4	6.18±0.01	45.24±0.03	25.35±0.01	12.62±0.01	0.99±0.00	5.23±0.00	4.39±0.01 <sup>b</sup>
5	6.15±0.00	43.28±0.03	26.04±0.01	13.22±0.01	1.15±0.01	5.45±0.01	4.71±0.00 <sup>b</sup>
6	6.19±0.01	44.79±0.02	24.56±0.00	12.92±0.01	1.01±0.00	5.54±0.00	4.99±0.00 <sup>a</sup>
7	6.22±0.01	44.24±0.03	25.11±0.01	13.63±0.01	1.09±0.01	5.32±0.01	4.39±0.01 <sup>b</sup>
8	6.24±0.01	45.32±0.01	25.32±0.01	12.87±0.00	1.28±0.01	5.06±0.00	3.91±0.00 <sup>c</sup>
9	6.16±0.01	44.26±0.01	25.12±0.00	12.91±0.01	1.11±0.00	5.23±0.01	5.21±0.01 <sup>a</sup>

<sup>†</sup> 上标字母表示同列数据的显著性差异( $P<0.05$ );试验编号同表2。

2.3.3 验证实验 取正交试验最优条件:热风温度 80 ℃,微波功率 500 W,转换点水分 15%;将转换点水分转换成热风干燥(80 ℃, 12 min)和微波干燥(500 W, 30 s)参数,可以得到油菜籽的含水量为 7.51% ( $n=3$ ),达到安全储藏水分要求,且品质得到保障。

### 3 结论

热风干燥油菜籽均匀但耗时长、干燥后油菜籽的发芽率较低;微波干燥快速且有利于发芽率的提高,但较高的微波频率干燥效果往往不均匀;二者随着干燥强度的增加,油菜籽的酸价和过氧化值在理化指标的安全范围内均很快升高。热风—微波联合干燥可以综合 2 种干燥方式的优点:受热均匀且能缩短油菜籽的热风干燥时间、降低热风对籽粒发芽的损伤与油菜籽中的芥酸含量。但本研究仅为实验室的初步工艺研究,若要应用于产地初加工,还需要对热风—微波联合干燥

油菜籽的技术理论及相应的干燥设备等进行深入的探讨。

### 参考文献

[1] 国家粮食局. GB/T 11762—2006 油菜籽[S]. (2011-04-11) [2017-02-15]. [http://down. foodmate. net/standard/sort/3/11153.html](http://down.foodmate.net/standard/sort/3/11153.html).

[2] YANG Ling, YANG Ming-jin, CHEN Jian, et al. Status and development trend of rapeseed drying for seeding purposes[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(S2): 309-315.

[3] 吴海虹, 朱道正, 卞欢, 等. 农产品干燥技术发展现状[J]. 现代农业科技, 2016(14): 279-281.

[4] YANG Mei, HUANG Feng-hong, LIU Chang-sheng, et al. Influence of microwave treatment of rapeseed on minor components content and oxidative stability of oil[J]. Food and Bioprocess Technology, 2013, 6(11): 3 206-3 216.

(下转第 193 页)

### 3 结论

本试验通过不同软化方法处理食用槟榔,考察各软化方法对食用槟榔咀嚼性、碎渣性、槟榔碱含量、TPA 测试结果、五针穿刺结果和味觉指标的影响。研究发现蒸、微波和酶处理的软化效果最佳,对槟榔的综合口感影响较小,但槟榔碱损失严重。碱处理的软化效果很好,槟榔碱的保留效果也好,但对槟榔的综合口感是有利有弊。煮处理的软化效果很差,槟榔碱损失严重,但对口感风味有帮助。酸处理的软化效果很差,对口感风味有负面影响,但槟榔碱保留率较高,冷冻处理与对照组几乎没有差别。

本研究为行业软化技术加工的应用提供了理论依据,蒸、微波、酶和碱处理具有软化效果显著,同时对风味影响较小等特点,更适合应用于实际生产。

#### 参考文献

- [1] 蒋志, 陈其城, 曹立幸, 等. 槟榔及其活性物质的研究进展[J]. 中国中药杂志, 2013, 38(11): 1 684-1 687.
- [2] 覃伟权, 范海阔. 槟榔[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2010: 125.
- [3] LI Chuan-bao, YANG Xiao, TANG Wen-bo, et al. Arecoline excites the contraction of distal colonic smooth muscle strips in rats via the M<sub>3</sub> receptor-extracellular Ca<sup>2+</sup> influx-Ca<sup>2+</sup> store release pathway[J]. Canadian Journal Physiology & Pharmacology, 2010, 88(4): 439.
- [4] HUANG L W, HSIEH B S, CHENG H L, et al. Arecoline decreases interleukin-6 production and induces apoptosis and cell cycle arrest in human basal cell carcinoma cells[J]. Toxicology & Applied Pharmacology, 2012, 258(2): 199-207.
- [5] BHANDARE A M, KSHIRSAGAR A D, VYAWAHAREN S, et al. Potential analgesic, anti-inflammatory and antioxidant activities of hydroalcoholic extract of Areca catechu, L. nut[J]. Food & Chemical Toxicology, 2010, 48(12): 3 412.
- [6] 朱利明. 寻味槟榔[M]. 长沙: 湖南人民出版社, 2010.
- [7] CHATRCHAIWIWATANA S. Factors affecting tooth loss

among rural Khon Kaen adults: analysis of two data sets[J]. Public Health, 2007, 121(2): 106-112.

- [8] REICHART P A, NGUYENX H. Betel quid chewing, oral cancer and other oral mucosal diseases in Vietnam: a review[J]. Journal of Oral Pathology & Medicine, 2008, 37(9): 511-514.
- [9] JAVED F, CHOTAI M, MEHMOOD A, et al. Oral mucosal disorders associated with habitual gutka usage: a review[J]. Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology & Endodontics, 2010, 109(6): 857-864.
- [10] 徐远芳, 邓钢桥, 邹朝晖, 等. 食用槟榔纤维对口腔的危害及其软化技术研究进展[J]. 湖南农业科学, 2012(13): 102-104.
- [11] 姚东云, 高亚玲, 韩继红, 等. 槟榔软化工艺的研究进展[J]. 中国医药指南, 2011, 9(29): 229-230.
- [12] 文友模, 陈燕. 槟榔软化加工方法探讨与改进[J]. 中国医疗前沿, 2007, 2 (23): 101.
- [13] 李智, 徐欢欢, 邓建阳, 等. 高温干蒸工艺软化槟榔及其灭菌效果研究[J]. 食品与机械, 2015, 31(4): 194-197.
- [14] 何京亮, 李忠海, 周文化. 抗粉碎度比较评价软化槟榔壳硬度的研究[J]. 食品与机械, 2009, 25(2): 48-51.
- [15] 何京亮. 食用槟榔酶法软化技术研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2009.
- [16] 吴硕, 李宗军, 谭雅, 等. 槟榔干果的杀青软化及辐照保藏研究[J]. 核农学报, 2017, 31(4): 711-718.
- [17] RAJAN A, KURUP J G, ABRAHAM T E. Biosoftening of arecanut fiber for value added products[J]. Biochemical Engineering Journal, 2005, 25(3): 237-242.
- [18] 段维发. 槟榔真空发酵浸渍加工方法: 中国, 200310120823 [P]. 2004-12-15.
- [19] 李卫, 郑成. 高压耦合酶解技术软化槟榔壳的研究[J]. 广东化工, 2007, 34(5): 23-25.
- [20] 巢雨舟, 夏延斌, 赵志友, 等. 食用槟榔超声酶解软化工艺优化[J]. 农产品加工, 2016(21): 14-17.
- [21] 罗士数. 槟榔中槟榔碱的提取分离及其活性研究[D]. 海口: 海南大学, 2011: 1-6.
- [22] 耿利华, 李扬, 詹浩宇, 等. 食品的味觉分析[J]. 中国食品添加剂, 2012(S1): 209-214.

(上接第 183 页)

- [5] 廖庆喜, 舒彩霞, 余礼明. 微波干燥油菜籽的可行性探讨[J]. 食品与机械, 1999(2): 15-16.
- [6] 胡小泓, 梅亚丽, 李丹. 微波处理油菜籽对油脂品质影响的研究[J]. 食品科学, 2006, 27(11): 372-374.
- [7] 杨国峰, 丁超, 蔡浩飞, 等. 油菜籽干燥技术研究进展[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(5): 124-128.
- [8] 廖庆喜, 舒彩霞, 伍冬生. 微波干燥对油菜籽种用价值及品质特性的影响[J]. 农业机械学报, 2000, 31(1): 69-71.
- [9] 孙卓, 王勤志, 滕建文, 等. 半干鸭肉粒热风与微波联合干燥工艺研究[J]. 食品与机械, 2013, 29(3): 230-233, 237.

- [10] 钱革兰, 崔政伟. 响应面分析热风微波耦合干燥胡萝卜片的形变[J]. 食品与机械, 2011, 27(3): 38-41.
- [11] 易翠平, 钟春梅. 鳗鱼的脂肪含量测定及脂肪酸成分分析[J]. 食品科学, 2013, 34(14): 255-258.
- [12] UPINSKA A, KOZIO A, ARASZKIEWICZ M, et al. The changes of quality in rapeseeds during microwave drying[J]. Drying Technology, 2009, 27(7/8): 857-862.
- [13] 邓乾春, 禹晓, 许继, 等. 取不同芥酸含量菜籽油对高脂模型大鼠血脂和抗氧化能力的影响[J]. 中国食品学报, 2014, 14 (10): 23-28.
- [14] 刘大川. 油菜籽加工新技术及深度开发[J]. 农村新技术, 2011 (6): 28-31.