

不同干燥方式对铁棍山药品质的影响

黄略略, 乔方*, 叶晓梦, 方长发

(深圳职业技术学院 应用化学与生物技术学院, 广东 深圳 518055)

摘要: 以外观、营养成分、复水性及超微结构为指标, 比较 4 种不同的干燥方式对铁棍山药品质的影响。冻干(FD)对铁棍山药品质的保留最好, 冻干真空微波联合干燥(FD-MVD)对产品品质的保留接近于 FD, 且能够使干燥时间缩短 31%。微波真空干燥时间最短, 但品质不如前两种干燥方式。热风干燥(AD)对感官品质和维生素 C 破坏较多, 但对于多糖含量的保持与其它方法无异。超微结构的结果表明, MVD 和 AD 对结构破坏较多, 而 FD 和 FD-MVD 很好的保持了原有的细胞结构。

关键词: 铁棍山药; 联合干燥; 冷冻干燥; 微波真空干燥; 热风干燥; 山药品质

中图分类号: TS 255.3 文献标志码: A 文章编号: 1673—1689(2014)11—1210—06

Effect of Different Drying Method on Quality of Iron Yam

HUANG Luelue, QIAO Fang*, YE Xiaomeng, FANG Changfa

(School of Applied Chemistry and Biological Technology, Shenzhen Polytechnic, Shenzhen 518055, China)

Abstract: Quality of iron yam dried by four different drying methods was compared in terms of appearance, nutrient value, rehydration ratio and microstructure. Freeze dried(FD) iron yam has the best quality. The quality of iron dried by combination FD and microwave vacuum drying(MVD) was very close to FD products and the drying time could be decreased by 31%. Drying time was the shortest during MVD but the quality was worse than FD and FD-MVD products. Appearance and vitamin C of air dried (AD) product loss a lot but the polysaccharide in AD sample was not significant different from other dried samples. Moreover, it show that the microstructure of MVD and AD samples were destroyed seriously and the microstructure of FD and FD-MVD samples were maintained very well.

Keywords: iron yam, combination drying, freeze drying, microwave vacuum drying, air drying, yam quality

铁棍山药产于河南, 以焦作、温县一带最为有名。铁棍山药营养丰富, 最常见的食用方式为鲜食,

而加工一直没有得到深入的研究。在前期的研究中, 作者采用冻干-微波真空联合干燥对铁棍山药

收稿日期: 2014-01-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(31201399)。

作者简介: 黄略略(1983—), 女, 江苏淮安人, 工学博士, 助理研究员, 主要从事农产品加工与贮藏方面的研究。E-mail: huangll@szpt.edu.cn

* 通信作者: 乔方(1970—), 女, 山西太谷人, 工学硕士, 教授, 主要从事农产品加工与贮藏方面的研究。E-mail: qiaofang@szpt.edu.cn

进行干制,确定了联合干燥的最佳工艺条件。另外,作者发现微波功率密度的变化对山药多糖含量没有显著影响,而温度的增加使得多糖含量明显降低,这引起了作者进一步研究干制铁棍山药的兴趣。如果采用不同干燥方式对铁棍山药进行干制,山药中的多糖含量是否会发生变化,除了多糖以外,其它品质指标会不会有较大变化等。

每一种干燥方式都有自身的优缺点。热风干燥(AD)是一种传统而广泛被利用的干燥方式,它的优点是成本低,对生产环境和设备均不挑剔等^[1]。但经现代科学研究表明,热风干燥对产品中的营养成分破坏严重^[2],且产品外观变形十分严重^[3]。冷冻干燥(FD)产品品质最佳,色、香、味、形均能得到非常好的保持,复水性也优于其它干燥方式^[4]。但其过程耗时长,能耗高^[5],使得冻干成本很高。

微波真空干燥(MVD)结合了微波干燥效率高和真空干燥物料沸点低的优点,已被用于多种食品物料的干制研究^[3,6-7]。Huang等^[3]采用微波真空和真空干燥分别干制苹果/马铃薯混合脆片,与真空干燥相比,微波真空的时间大大缩短,且产品质构更为酥脆,营养成分也得到了更好的保留。Qiao等^[7]采用微波真空干燥研制了新型荔枝重组脆片,通过对介电性质等参数的控制,得到了合适的加工工艺。

作者以外观、复水性、营养物质含量、超微结构为指标,研究FD、MVD、FD-MVD及AD四种干燥方式对铁棍山药品质的影响并进行比较,寻找最为合适的干燥工艺来对铁棍山药进行加工。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

铁棍山药:新鲜山药购自河南省焦作温县。柠檬酸、CaCl₂、98%浓硫酸、2,6-二氯靛酚、苯酚、三氯乙酸、草酸、抗坏血酸:均为分析纯。

真空冷冻干燥机:德国 Christ 1-4;微波真空干燥机:南京亚泰能技术研究所 YHW2S;可见分光光度计:上海菁华科技仪器有限公司 722N;数显恒温水浴锅:上海精宏实验设备有限公司 DK-S22;电热恒温热风干燥箱:上海精宏实验设备有限公司 DHG-9123A;冷冻离心机:德国 Ependorf 5810R;台式 pH 计:METTLER TOLEDO Seven multi;精密分析电子天平:梅特勒 METTLER TOLEDO MS-204S;分析研磨机:德国艾卡 IKA A11;色差计 Data color

400;快速冻结库:深圳艾斯莱德冷机制造有限公司。

1.2 干燥实验

1.2.1 护色预处理 将新鲜铁棍山药去皮,清洗,再均匀切成 5 mm 的薄片。先采用 0.25% 柠檬酸浸泡 1 h,然后再用 0.25% CaCl₂ 溶液浸泡 1 h^[8]。铁棍山药片采用不同的干燥方法干燥至水分含量 9% 左右(湿基),每组原料质量都为 450 g。

1.2.2 真空冷冻干燥 将预处理后山药在物料盘中铺开为薄层,先置于-35 ℃快速冻结库内 24 h,取出后再放入冷冻干燥机中,压力为 32 Pa,冷阱温度-55 ℃,加热板温度升华阶段 20 ℃,解析阶段 35 ℃。

1.2.3 微波真空干燥 将预处理后的铁棍山药片放入微波真空设备的物料盘中,均匀铺开为薄层,启动真空泵至最高真空度 0.95 MPa,选定微波档位 0.15 W/g,在此微波功率下,物料最高温度不超过 35 ℃,打开微波开关即可。

1.2.4 联合干燥 先置于-35 ℃快速冻结库内 24 h,取出后再放入冷冻干燥机中,压力为 32 Pa,冷阱温度-55 ℃,加热板温度升华阶段 20 ℃。真空冷冻干燥 4.5 h 后,取出放入微波真空干燥机中,按照前期研究得出了最佳功率进行干制,分阶段将微波功率分别设定为 0.15、0.25、0.35 W/g,真空度为 0.95 MPa 下干燥至终点。

1.2.5 热风干燥 将预处理后的铁棍山药均匀铺在热风干燥箱内,打开蒸气阀门调节至试验温度 35 ℃,让热风垂直穿过物料薄层,风速为 1 m/s。

1.3 试验方法

1.3.1 水分质量分数测定 采用烘箱常压干燥法测定山药中的水分^[9]。取 4 g 左右的铁棍山药放入恒重的称量瓶中,在 103 ℃的烘箱中干燥 3 h 后取出,冷却后称质量,再放入烘箱中继续干燥,每隔 1 h 取出称质量,直到两次质量之差小于 0.02 g,认为已经干燥完全。水分质量分数按式(1)计算:

$$\text{湿基水分质量分数}\% = \frac{\text{样品质量} - \text{干品恒质量}}{\text{样品质量}} \times 100 \quad (1)$$

1.3.2 体积密度测定 体积密度的测定采用小米置换法^[5],小米的粒径为 0.9~1.1 mm,干燥物料的体积密度 ρ 可用式(2)表示:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

式中, m 为干制品的质量; V 为干燥铁棍山药片的总体积。

1.3.3 色泽测定 将铁棍山药样品放置于色差测定仪的夹具上,进行测定、读数。颜色通过 L (亮度/暗度)、 a (红度/绿度)、 b (黄度/蓝度)表示。每个样品重复5次。另外,色泽的总差用 ΔE 表示,见式(3)。

$$\Delta E = \sqrt{(L_o - L)^2 + (a_o - a)^2 + (b_o - b)^2} \quad (3)$$

其中,下标“o”表示FD铁棍山药片的颜色,以FD铁棍山药片作为参照, ΔE 越大意味着与FD铁棍山药片颜色差别越大。

1.3.4 复水比测定 称取一定质量的干燥山药片,然后置于20℃的水中,一段时间后取出,真空抽滤5s后,再称质量^[10]。试验重复3次。复水比 R 通过以下公式计算:

$$R = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \quad (4)$$

式中, M_1 为物料原始质量; M_2 为物料浸水和真空抽滤之后的山药质量。

1.3.5 VC测定 采用2,6-二氯酚法测定VC含量^[11]。准确称取样品5g,粉碎研磨之后加等量的2%草酸溶液,迅速搅拌均匀,称取10~30g浆状样品,置于25mL小烧杯中,用1%草酸溶液将样品移入100mL容量瓶中,并稀释至刻度并摇匀。将样液过滤,弃去最初毫升滤液,然后迅速吸取5~10mL滤液,置于50mL三角瓶中。用之前标定好的已知浓度2,6-二氯酚染料溶液滴定,直至溶液呈粉红色并于15s内不褪色为止。

1.3.6 多糖测定 采用苯酚-硫酸法^[12]测定样品的多糖含量。采用水浸提法提取铁棍山药干燥产品中的多糖,以葡萄糖做标准曲线。准确称取山药样品3g,粉碎研磨,按1:30的比例加入90mL蒸馏水,置于电热恒温水浴锅中沸水浸提2h。取出冷却至室温,6000r/min离心10min,除去沉淀,收集上清液;上清液中加入45mL蒸馏水,再次沸水浸提1h,取出冷却至室温,6000r/min离心10min,倒去沉淀,收集上清液。在恒温箱中50℃浓缩上清液至1/3体积,并在室温下用2%的NaOH调节pH至7,加入3%三氯乙酸溶液(样液体积的7.5%)摇匀,静置一夜。次日6000r/min离心10min,除去沉淀,收集上清液。于490nm处测定吸光度,参照葡萄糖标准曲线计算多糖含量。

1.3.7 超微结构测定 参照黄略略等^[13]的实验方

法,在干燥后的山药片上切取一小片(约5mm×5mm×3mm),放置于4℃含3%戊二醛的固定液中过夜。然后用0.1mol/L的磷酸缓冲液漂洗数次,再用1%的四氧化锇固定,接着再用0.1mol/L的磷酸缓冲液漂洗数次。之后用不同浓度的乙醇进行梯度洗脱,分别在30%、50%、70%、90%和无水乙醇中洗脱15min。在临界点干燥后,脱水样品被离子溅射,最后样品碎片被安装至铝盒中,喷金之后即可进行超微结构的观察。加速电压为5kV。

1.3.8 数据分析 试验数据用SPSS 18软件进行分析,ANOVA程序用于方差分析,Bivariate程序用于组间相关性分析。当 $p \leq 0.05$ 时认为平均值之间有显著差异。

2 结果与分析

2.1 不同干燥方式对铁棍山药干燥曲线的影响

前期在铁棍山药微波真空干燥过程中的研究表明,山药温度不超过35℃时,品质和外观均较好。因此其它干燥曲线都在最高温度不超过35℃条件下获得以便于比较。由图1可知,微波真空干燥的时间最短而热风干燥的时间最长,比较两者可知,微波真空干燥的时间仅占热风干燥的30%左右,这表明微波真空干燥能大大提高怀山药的干燥速率。比较联合干燥和冷冻干燥可知,联合干燥的时间明显少于冻干的时间,这表明,在干燥后期没有冰晶存在的条件下,采用微波加热能显著提高铁棍山药的干燥速率。

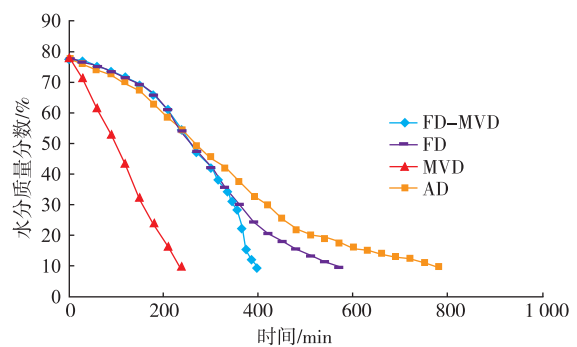


图1 不同干燥方法对铁棍山药干燥曲线的影响

Fig. 1 Effect of four drying methods on drying curves of iron yam

2.2 不同干燥方式对铁棍山药营养成分的影响

表1为不同干燥方法对铁棍山药营养成分的影响。由表1中可以看出,热风干燥VC含量最少,

微波真空次之。热风干燥是由于干燥时间长导致维生素 C 在干制过程中损失较大,对于微波真空干燥来说,干燥时间最短,物料最高温度也控制在 35 ℃,理论上 VC 应该保留较多,但与 FD 相比,仍然出现了显著下降,这应该是由微波的作用导致的。FD 和联合干燥样品中 VC 含量相差不显著,这表明联合干燥可以很好的保持怀山药的品质。试验测得不同干燥方式得到的铁棍山药中,多糖含量并无显著差异,这表明铁棍山药中的多糖性质稳定,在温度一致条件下,加工方式对其影响不显著。

表 1 不同干燥方法对铁棍山药营养成分的影响

Table 1 Effect of four drying methods on the nutrient content of iron yam

| 干燥方式 | VC 质量分数/ (mg/100 g) | 多糖质量浓度/ (ug/ml) | 终点水分 质量分数/% |
|--------|------------------------|------------------------|------------------------|
| FD | 7.62±0.14 ^a | 8.69±0.09 ^a | 9.47±0.11 ^a |
| FD+MVD | 8.00±0.22 ^a | 8.62±0.11 ^a | 9.28±0.14 ^a |
| MVD | 5.54±0.09 ^b | 8.56±0.23 ^a | 9.53±0.22 ^a |
| AD | 2.38±0.13 ^c | 8.43±0.22 ^a | 9.11±0.34 ^a |

注:同一列中的不同字母表示有显著性差异。

表 2 不同干燥方式对铁棍山药外观的影响

Table 2 Effect of four drying methods on the appearance of iron yam

| 干燥方式 | 色泽 | | | | 体积密度/(g/cm ³) |
|--------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------|---------------------------|
| | L | a | b | ΔE | |
| FD | 95.82±0.56 ^a | -0.49±0.03 ^c | 5.61±0.14 ^d | 0.00 | 0.21±0.01 ^d |
| FD+MVD | 94.57±0.86 ^a | -0.57±0.02 ^d | 6.38±0.08 ^c | 1.08 | 0.26±0.03 ^c |
| MVD | 86.05±0.49 ^b | -0.34±0.06 ^b | 7.90±0.05 ^b | 10.03 | 0.54±0.02 ^b |
| AD | 85.00±0.72 ^b | 0.82±0.05 ^a | 15.09±0.26 ^a | 13.71 | 0.86±0.01 ^a |

注:同一列中的不同字母表示有显著性差异。

方法优劣的重要指标之一。4 种不同干燥方式铁棍山药片的复水结果见图 2、3。从图 2 可以看出,联合干燥山药的复水性与 FD 产品接近,在 20 min 达到最大复水,此时的复水比约为 3.6 左右。从图 3 可知,微波真空干燥和热风干燥的铁棍山药复水性接近,在约 23 min 达最大复水。比较 4 种干燥产品的复水结果可知,FD 与联合干燥产品的复水比显著高于另外两种干燥方式,说明 FD 与联合干燥的产品具有更高的品质。因此,冻干和联合干燥可以用于加工高品质的铁棍山药。

2.5 不同干燥方式对铁棍山药超微结构的影响

4 种不同干燥方式所得到的铁棍山药的超微结构见图 4。从图 4 可以看出,冷冻干燥的铁棍山药片

2.3 不同干燥方式对铁棍山药外观的影响

表 2 为四种干燥方式对铁棍山药颜色和皱缩情况的测定结果。从表 2 中可以看出,联合干燥的样品亮度大,无褐变,外观最为接近冻干样品。微波真空干燥的样品,其亮度明显低于 FD 产品,而这也是造成 ΔE 值较大的主要原因。热风干燥的样品,其亮度明显低于 FD 样品,且出现了些微的褐变(a 值为正),并且黄度值也显著增加,因此热风干燥的铁棍山药颜色最差,与 FD 的差异最大,这应该是由热风干燥的。样品的体积密度可以表示皱缩的程度,体积密度越小,表明皱缩越小,外形保持的越好^[5]。表 2 中体积密度的结果表明,热风干燥的产品体积密度最大,表明热风干燥的铁棍山药皱缩最为严重。FD 产品的体积密度最小,其次为联合干燥产品,二者之间存在差异,但与另外两种干燥相比,差异较小,表明联合干燥的产品外观与 FD 产品已非常接近。

2.4 不同干燥方式对铁棍山药复水性的影响

干制品的复水特性是衡量干制品品质和干制

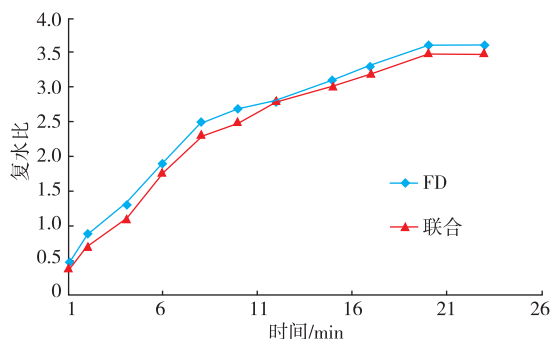


图 2 冻干和联合干燥铁棍山药的复水比

Fig. 2 Rehydration ratio of iron yam dried by FD and FD-MVD

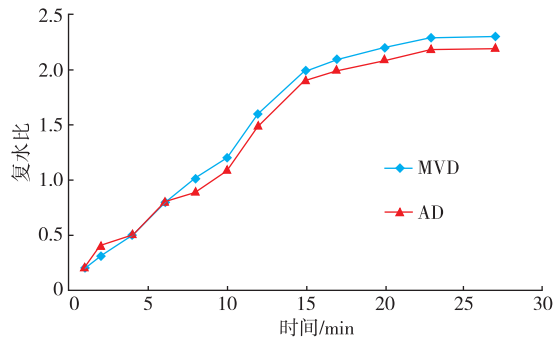


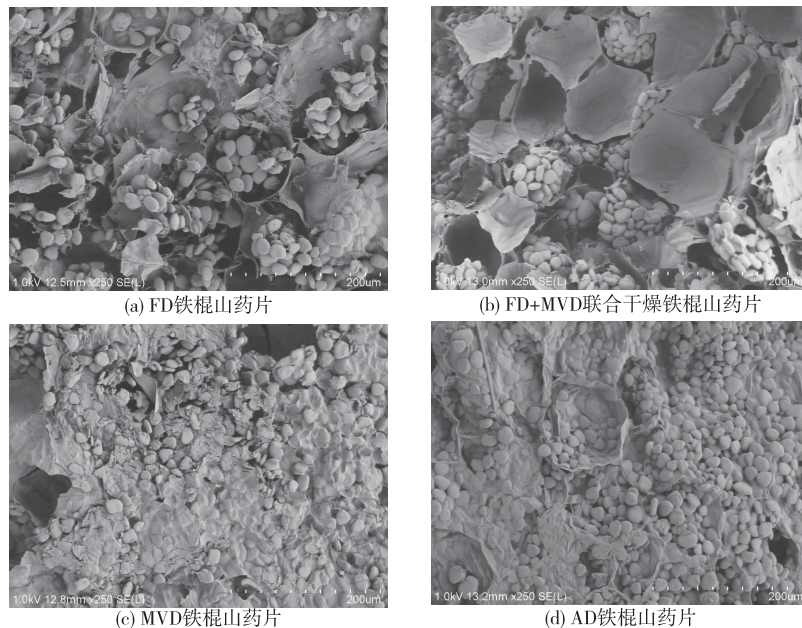
图 3 微波真空和热风干燥铁棍山药的复水比

Fig.3 Rehydration ratio of iron yam dried by MVD and AD

细胞具有明显的蜂窝状结构,且淀粉颗粒分散在细胞结构的周围,这表明冷冻干燥可以很好的保持铁棍山药的超微结构,事实上,从外观上看,冷冻干燥的铁棍山药片的外形保持的非常完好,几乎没有皱

缩,超微结构的图片从微观角度证实了冻干对铁棍山药片结构的保持。对于冻干-微波真空联合干燥的样品来说,其细胞结构也得到了很好的保持,细胞具有明显的蜂窝状结构,说明联合干燥在冷冻干燥阶段已经形成了多孔的细胞结构,这个孔道在后续的微波真空干燥过程中得到了保持。可以非常好的保持铁棍山药的结构,使其近乎于传统的冷冻干燥。

在微波真空干燥中,样品几乎丧失了原先的蜂窝状细胞结构,细胞壁被严重破坏,产生了较多的碎片,这些碎片散落或包裹在淀粉颗粒周围,形成杂乱的一团。而在热风干燥过程中,样品的细胞壁也发生了明显的变化,失去了原来饱满而立体的状态,皱缩严重,甚至与淀粉颗粒包裹在一起,但细胞结构框架依稀可辨,说明热风干燥仅仅使细胞壁皱缩,而并没有像微波真空干燥一样产生碎片。



A. FD 铁棍山药片;B. FD+MVD 联合干燥铁棍山药片;C. MVD 铁棍山药片;D. AD 铁棍山药片

图 4 4 种干制铁棍山药的电子扫描显微镜图

Fig.4 Microstructure pictures of iron yam dried by four drying methods

在热风和冷冻干燥中,淀粉颗粒都完好无损,这是因为前处理以及干制的过程均没有高温破坏。在微波真空干燥过程中,淀粉颗粒有少许的破坏,这可能是由于在水分较高的情况下微波的加载引起的淀粉糊化。在冻干-微波真空联合干燥中,淀粉颗粒保存完好,但与传统冻干不同的是,淀粉颗粒不再是散落状态,而是抱紧成团,这可能是在后期微波真空干燥过程中,淀粉颗粒由于受到微波场的

作用而产生的聚集。

3 结语

综合比较各个指标可以得出,在 4 种干燥方式中,FD 对品质的保留最好,联合干燥产品的品质在对营养物质含量的保留和复水方面,与 FD 产品无显著差异;色泽方面虽稍差于 FD 产品,但视觉上两者非常接近;超微结构的结果表明,FD 和 FD+

MVD 都能够很好的保持怀山药的细胞结构,这也从微观角度证实了两种干燥方法的产品都具有较高的品质。在品质接近的基础上,联合干燥却可以减少近 31% 的干燥时间,因此,与冻干相比,联合干燥可以实现节能保质的目的。微波真空干燥怀山药的品质不如 FD 及联合干燥,但好于热风干燥样品,且

其时间短,能耗低,当对产品品质没有特别高的要求时,是一种非常好的干制方法。总体来说,4 种干燥方法中,热风干燥产品的品质最差,但值得我们注意的是,多糖的质量浓度与其它三种干制产品无显著差别,如需摄取铁棍山药中的多糖,热风干燥可能是最简易、最便捷的处理方法。

参考文献:

- [1] 胡庆国. 毛豆热风与真空微波联合干燥过程研究[D]. 无锡:江南大学,2006.
- [2] 张向阳,乔方,方长发,等. 4 种干燥方法对荔枝果肉干制品品质的影响[J]. 食品与发酵工业,2011,37(7):122-125.
ZHANG Xiangyang, QIAO Fang, FANG Changfa, et al. Quality proportion of dried lychee by four drying methods [J]. **Food and Fermentation Industries**, 2011, 37(7):122-125. (in Chinese)
- [3] Huang L L, Zhang M, Mujumdar A S, et al. Comparison of four drying methods for re-structured mixed potato with apple chips[J]. **Journal of Food Engineering**, 2011, 103(3):279-284.
- [4] Krokida M K, Karathanos V T, Maroulis Z B. Effect of freeze-drying conditions on shrinkage and porosity of dehydrated agricultural products[J]. **Journal of Food Engineering**, 1998, 35:369-380.
- [5] Huang L L, Zhang M, Mujumdar A S, et al. Studies on decreasing energy consumption for a freeze-drying process of apple slices [J]. **Drying Technology**, 2009, 27:938-946.
- [6] 池金颖,张懋,陈凤杰. 鱼味脆粒的真空微波干燥及保藏[J]. 食品与生物技术学报,2013,32(2):174-181.
CHI Jinying, ZHANG Min, CHEN Fengjie. Study on vacuum microwave drying and preservation of fish taste crisp[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2013, 32(2):174-181. (in Chinese)
- [7] Qiao F, Huang L L and Xia W S. A study on microwave vacuum dried re-structured lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) mixed with purple sweet potato (*Ipomoea batatas*) snacks[J]. **Food and Bioproducts Processing**, 2012, 90:653-658.
- [8] 李远志,郑素霞,罗树灿,等. 真空微波加工马铃薯脆片的工艺特性[J]. 食品与发酵工业,2003,29(8):40-43.
LI Yuanzhi, ZHENG Suxia, LUO Shucan, et al. Study on the processing characteristics of potato crispy chips by vacuum microwave[J]. **Food and Fermentation Industries**, 2003, 29(8):40-43. (in Chinese)
- [9] 陈艳珍. 微波真空联合干燥怀山药的研究[D]. 洛阳:河南科技大学,2009.
- [10] Huang L L, Zhang M, Yan W Q, et al. Rehydration characteristics of freeze-dried strawberry pieces as affected by whey protein edible coatings[J]. **International Journal of Food Science and Technology**, 2011, 46:671-677.
- [11] Zhang M, Li C L, Ding X L. Effects of heating conditions on the thermal denaturation of white mushroom suitable for dehydration [J]. **Drying Technology**, 2005, 23(5):1119-1125.
- [12] 孟庆华,刘钟栋,陈肇锁,等. 怀山药多糖的提取[J]. 食品工业科技,2005,26(2):126-128.
MENG Qinghua, LIU Zhongdong, CHEN Zhaosuo, et al. Extraction of polysaccharide in Chinese yam [J]. **Science and Technology of Food Industry**, 2005, 26(2):126-128. (in Chinese)
- [13] 黄略略. 冻干-真空微波串联联合干燥苹果的保质和节能工艺及模型研究[D]. 无锡:江南大学,2011.