

朱翠平,张钟元,李大婧,等.不同干燥方式对牛蒡脆片品质的影响[J].江苏农业科学,2017,45(7):181-184.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.07.049

不同干燥方式对牛蒡脆片品质的影响

朱翠平¹,张钟元^{2,3},李大婧^{1,2},刘春泉^{2,3}

(1.南京农业大学食品科技学院,江苏南京 210095; 2.江苏省农业科学院农产品加工研究所,江苏南京 210014;

3.国家蔬菜加工技术研发分中心,江苏南京 210014)

摘要:研究热风、真空微波、真空冷冻、热风联合真空微波、真空冷冻联合真空微波5种干燥方式对牛蒡脆片干燥时间、色泽、收缩率、微观结构、多酚含量、黄酮含量和多糖含量等指标的影响。结果表明:热风、真空微波以及热风联合真空微波干燥后产品色差大、收缩严重、营养损失多,产品品质明显低于其他干燥方式。真空冷冻联合真空微波干燥产品品质接近于真空冷冻干燥,内部形成多孔状结构使产品硬度和脆度适中,多酚、黄酮、多糖的含量保留较好,而干燥时间缩短46%。综上所述,真空冷冻联合真空微波干燥是牛蒡脆片最适宜的加工方法。

关键词:牛蒡;脆片;生产工艺;干燥方式;物理指标;营养指标;品质;干燥时间;微观结构

中图分类号:TS255.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2017)07-0181-04

牛蒡(*Arctium lappa* L.)别称恶实、大力子、东洋参等,属于菊科牛蒡属2年生草本植物^[1]。牛蒡营养丰富,其中含有的多酚类物质具有较强的抗氧化、抗菌、消炎、抗突变、降血压等功效^[2-3];牛蒡多糖可促进体内乳酸菌和双歧杆菌的增殖,维持肠道微生态^[4]。我国牛蒡主要种植于山东、江苏、安徽、黑龙江等省,销售以出口为主,但随着对牛蒡营养成分的深入研究,其食用价值和药用价值在国内也越来越受到重视。鲜牛蒡根肉质灰白,其中含有大量纤维,在生长后期及贮藏过程中极易纤维化而变空心^[5-6]。牛蒡根纤维化后,其纤维素和木质素含量迅速增加,导致结构进一步变硬,不但影响食用口感,而且为深入加工带来困难。目前,牛蒡干制品主要有牛蒡茶和牛蒡脆片。牛蒡脆片采用的工艺多为真空油炸,营养损失严重,且油脂易氧化,长期食用易带来健康问题。非油炸干燥主要有热风干燥、微波干燥、远红外干燥、冷冻干燥、联合干燥等。Paengkanya等研究发现,真空微波联合热风干燥比单一真空微波、热风干燥榴莲干速率快,且可提高产品的亮度值、脆度值,降低产品的收缩率、硬度^[7]。Chong等研究发现,对流联合真空微波干燥可节省50%的干燥时间,而热泵联合真空微波干燥得到的苹果干收缩率小、色泽变化小,多酚保留率最高,抗氧化活性最强,且在这2种联合干燥方式中由于真空微波的应用大大降低了产品硬度、脆度,使口感更佳^[8]。以上研究表明,联合干燥较单一干燥方式能有效提高干燥效率和产品品质,但由于牛蒡根易纤维化的结构,非油炸干燥方式尤其是联合干燥方式对于干燥牛蒡脆片的影响有待进一步深入研究。本研究采用热风干燥、真空微波干燥、真空冷冻干燥、热风联合真空微波干燥、真空冷冻联合真空微波干燥5种

方式对牛蒡片进行干燥,分析不同干燥方式生产的牛蒡脆片物理指标和营养指标的差异,探讨不同干燥方式对牛蒡脆片品质的影响,旨在确定适宜牛蒡脆片生产的干燥工艺,为牛蒡综合开发利用提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

新鲜牛蒡购于江苏省徐州市牛蒡种植基地,为柳川理想黄肌牛蒡,嫩黄色,根茎粗壮,贮藏于实验室4℃冷藏库中。

分析纯乙醇、Na₂CO₃、NaOH、NaNO₂、Al(NO₃)₃、苯酚、没食子酸购于北京化学试剂公司;Folin-酚试剂购买于Sigma-Aldrich上海贸易有限公司。

1.2 仪器与设备

数显101A-2型电热鼓风干燥箱,上海浦东荣本科学仪器有限公司;VMD-1型真空微波干燥设备,南京孝马机电设备有限公司;WSC-S型色差仪,上海精密科学仪器有限公司;CT3质构仪,美国Brookfield公司;MP2002电子天平,上海舜宇恒平科学仪器有限公司;KQ-300DE型数控超声清洗器,江苏省昆山市超声仪器有限公司;TU-1810紫外可见分光光度计,北京普析通用仪器有限责任公司;TG16-WS台式高速离心机,湖南省长沙湘仪离心机仪器有限公司;ZEISS EVO-LS10扫描电子显微镜,德国卡尔蔡司公司。

1.3 方 法

1.3.1 牛蒡脆片生产工艺 新鲜牛蒡→清洗→切片→预处理→沥干表面水分→干燥→牛蒡脆片产品。

1.3.2 牛蒡预处理 将鲜切牛蒡放入1%柠檬酸中浸泡30 min。

1.3.3 干燥方法的设定 (1)热风干燥(hot air drying, AD)。将预处理后的牛蒡片放入电热鼓风干燥箱中(70℃)干燥至含水率为5%以下。(2)真空微波干燥(vacuum microwave drying, VMD)。将预处理后,牛蒡片放入真空微波干燥设备中(8 W/g)干燥至含水率为5%以下。(3)真空冷冻干燥(vacuum freeze drying, VFD)。将预处理后的牛蒡片放入真空

收稿日期:2016-01-14

基金项目:江苏省产学研合作前瞻性联合研究项目(编号:BY2015073-02)。

作者简介:朱翠平(1991—),女,江苏盐城人,硕士研究生,研究方向为农产品加工及贮藏。E-mail:zeczaiyou@163.com。

通信作者:李大婧(1976—),女,博士,研究员,研究方向为果蔬加工与综合利用。E-mail:lidajing@163.com。

冷冻干燥设备中(绝压 20 Pa、加热板温度 25 ℃、冷阱温度 -58 ℃)干燥至含水率为 5% 以下。(4)热风联合真空微波干燥(hot air & vacuum microwave drying, AD&VMD)。将预处理后的牛蒡片放入电热鼓风干燥箱中(70 ℃)干燥 30 min 后,再真空微波干燥(8 W/g)至含水率为 5% 以下。(5)真空冷冻联合真空微波干燥(vacuum freeze&vacuum microwave drying, VFD&VMD):将预处理后牛蒡片真空冷冻干燥至含水率为 60%,真空微波干燥(8 W/g)至含水率为 5% 以下。

1.3.4 指标分析测定 (1)含水率。采用 GB 5009.3—2010《食品中水分的测定》中的方法进行测定。

$$\text{干基含水率} = \frac{m_t - m_s}{m_s} \times 100\%$$

式中: m_t 表示物料 t 时刻对应的质量, g; m_s 表示绝干物料质量, g。

(2)色泽及褐变指数。色泽采用色差计测定。 L^* 值(lightness, 亮度),在 0~100 之间变化,0 表示黑色,100 表示白色; a^* 值(redness, 红色度)表示红绿之间的色泽,“+”表示偏红,“-”表示偏绿,值越大,表示偏向越严重; b^* 值(yellowness, 黄色度)表示黄蓝之间的色泽,“+”表示偏黄,“-”表示偏蓝。按下列公式计算总色差 ΔE 、褐变指数:

$$\Delta E = [(L^* - L_0)^2 + (a^* - a_0)^2 + (b^* - b_0)^2]^{1/2};$$

$BI = [100 \times (x - 0.31) / 0.17]$, 其中 $x = (a^* + 1.75 L^*) / (5.645 L^* + a^* - 3.012 b^*)$ 。

式中: ΔE 为总色差; BI 为褐变指数; L_0 、 a_0 、 b_0 是新鲜牛蒡的白度值、红绿值和黄蓝值; L^* 、 a^* 、 b^* 是不同干燥方式下牛蒡粉的白度值、红绿值和黄蓝值。

(3)收缩率采用体积排除法^[9]。

$$Y = (V_1 - V_2) / (V_1 - V_0)。$$

表 1 不同干燥方式牛蒡脆片时间、色泽的变化

干燥方式	干燥时间(h)	L^*	a^*	b^*	ΔE	BI
AD	7.75 ± 0.35b	65.65 ± 0.78e	10.09 ± 0.33a	30.07 ± 0.51a	22.43 ± 1.70a	71.0 ± 60.66a
VMD	0.45 ± 0.07c	74.92 ± 0.05c	8.04 ± 0.55b	28.39 ± 0.13c	13.08 ± 0.03c	54.60 ± 0.33c
VFD	15.25 ± 0.35a	88.55 ± 0.01a	6.57 ± 0.01c	21.34 ± 0.11e	2.37 ± 0.30e	32.55 ± 0.02e
AD&VMD	0.87 ± 0.05c	71.17 ± 0.41d	8.41 ± 0.30b	28.94 ± 0.14b	16.72 ± 0.37b	59.79 ± 0.39b
VFD&VMD	8.25 ± 0.07b	80.12 ± 0.01b	8.22 ± 0.05b	27.67 ± 0.02d	9.01 ± 1.15d	49.16 ± 0.06d

2.2 不同干燥方式对牛蒡脆片色泽的影响

色泽是评价果蔬干制品品质的一个重要指标, L^* 值是用来表示亮度的一个指标, L^* 值越大,表示样品越亮; ΔE 反映处理后样品与鲜样之间的颜色差异, ΔE 值越大,说明处理后物料色泽变化越明显;褐变指数 BI 反映加工过程中所产生褐色物质的量, BI 值越高,说明褐变程度越大。由表 1 可知,不同干燥方式所得牛蒡脆片的 L^* 、 ΔE 、 BI 差异显著。热风干燥、真空微波干燥和热风联合真空微波干燥所得产品的 L^* 较小, ΔE 、 BI 较大,产品色泽较暗,偏黄,总色差和褐变程度较大,其中热风干燥产品的总色差达到 22.43,严重影响产品外观品质。一方面可能是由于在这 3 种干燥过程中牛蒡片中的多酚类物质在多酚氧化酶和氧的作用下被氧化成醌,进而聚合成有色物质^[16];另一方面牛蒡片干燥过程中糖类物质发生非酶褐变,如美拉德反应、焦糖化反应等^[18,17],且非酶褐变则比较难以控制,总色差和褐变指数也随之升高。真空冷冻干燥和真空冷冻联合真空微波干燥后牛蒡脆片 L^* 较大, ΔE 、 BI

式中: V_1 表示小米与干燥前牛蒡的体积, cm^3 ; V_2 表示小米与干燥后牛蒡的体积, cm^3 ; V_0 表示小米体积, cm^3 。

(4)硬度和脆度。采用质构仪测定干制品的硬度和脆度,探头型号为 TA3/100,测试速度为 0.5 mm/s,以坐标图中出现的最大压力峰表示硬度,即样品断裂所需的最大力;以出现在下压探头第 1 次冲向样品过程中坐标图上的第 1 个明显压力峰值表示脆度。每种样品重复 5 次,取平均值。

(5)微观结构。采用扫描电子显微镜^[10]。将干燥后的样品切成(5×5×5) mm^3 的立方块,固定在扫描电镜专用样品套件上,在真空条件下对样品表面进行镀金处理,最后将其放入扫描电镜中检测,放大 300 倍条件下观察样品微观结构。

(6)多酚、黄酮、总糖、还原糖、脆片多糖含量的测定。多酚、黄酮、总糖、还原糖的含量分别采用 Folin - Ciocalteu (FC) 法^[11]、 $\text{NaNO}_2 - \text{Al}(\text{NO}_3)_3 - \text{NaOH}$ 方法^[12]、苯酚 - 硫酸方法^[13]、3,5 - 二硝基水杨酸法^[14] 测定。牛蒡脆片多糖的计算公式:多糖含量 (mg/g) = 总糖含量 - 还原糖含量。

1.3.5 统计分析 单因素试验指标的差异采用 SAS 统计软件中 ANOVA 方差分析,由 Tukey 分析均值差异的显著性,显著水平 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同干燥方式对牛蒡脆片干燥时间的影响

由表 1 可知,真空冷冻干燥牛蒡脆片时间最长,而真空微波干燥时间最短。真空冷冻联合真空微波干燥与真空冷冻干燥相比时间缩短了 46%,可能是因为前期采用真空冷冻干燥使牛蒡含水率降至 60%,产品内部形成蜂窝状结构,这种结构促进了后期真空微波干燥的传热和传质,从而使干燥时间大为缩短^[15]。

较小,产品色泽较亮,总色差和褐变程度较小。这可能因为在低温或隔绝空气的状态下,可以有效地抑制牛蒡脆片酶和非酶褐变,保证产品品质。

2.3 不同干燥方式对牛蒡脆片硬度、脆度的影响

硬度和脆度是反映牛蒡脆片质构的重要指标,直接影响到人们食用时的口感。产品硬度过高,口感坚硬;硬度过低,口感偏软,没有嚼劲。脆度越小,表示产品的口感越酥脆。如图 1 所示,牛蒡脆片硬度值在 1 200~2 700 g 之间,其中热风干燥和真空冷冻干燥硬度值分别为 2 672、1 278 g。热风干燥脆度值最高,真空冷冻和真空冷冻联合真空微波脆度值显著低于其他 3 个方式。这可能是由于热风干燥过程中,温度从外向内传递,使牛蒡脆片表面温度高于内部,随着表面水分的蒸发迁移,细胞快速收缩使物料表面干瘪坚硬,导致产品坚硬。而真空冷冻干燥过程中,当压力低至三相点压力时,水的冰点与沸点重合,此时固态的冰直接升华转为气态,很好地保留了物料疏松多孔的结构,导致产品硬度低,酥脆性好^[18]。

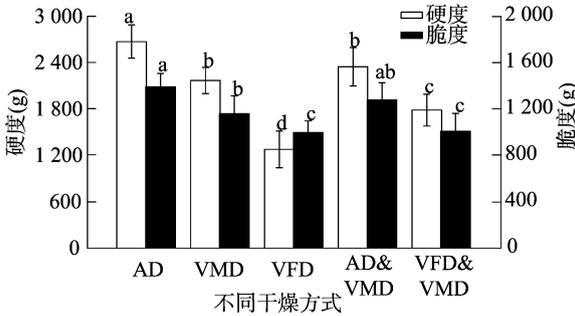


图1 不同干燥方式牛蒡脆片硬度和脆度的比较

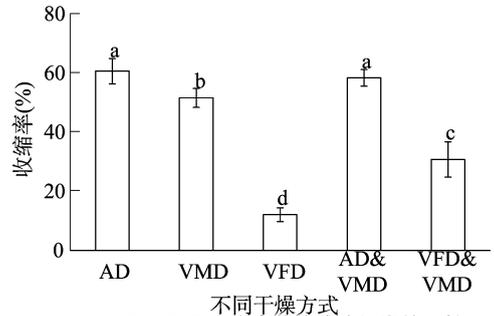


图2 不同干燥方式牛蒡脆片收缩率的比较

对于真空冷冻联合真空微波干燥,前期真空冷冻过程中,牛蒡片内部已经形成了多孔的结构,后期真空微波干燥保持了这种结构,使最终产品硬度和脆度适中。

2.4 不同干燥方式对牛蒡脆片收缩率的影响

收缩率不仅会引起产品体积变化,而且会导致产品形变,直接影响产品感官品质。干燥过程中产品收缩是因为细胞内水分经由细胞膜、细胞壁然后穿过多孔结构扩散到外界环境中,产品内部水分梯度引发的显微结构应力导致产品收缩^[17]。由图2可知,热风干燥产品收缩率最高为60.63%,与热风联合真空微波干燥产品收缩较严重但并无显著差异,真空冷冻干燥产品的收缩率最小。热风干燥时,物料表面形成干硬膜,使牛蒡内部水分未能及时转移到表面,导致干燥速率减慢,干燥时间过长,皱缩严重。真空冷冻联合真空微波干燥前期在低温低压的条件下,牛蒡中水分从冰晶状态下直接升华,所占空间仍然保留,形成稳定的固定骨架^[18],有利于后期真空微波干燥,在这种联合干燥方式下物料的收缩程度大大降低。

2.5 不同干燥方式对牛蒡脆片微观结构的影响

图3为不同干燥方式下牛蒡脆片的微观结构,图3-a表明热风干燥对牛蒡脆片没有膨化作用,产品内部维管束皱缩,细胞结构排列致密,细胞间几乎没有空隙。这是因为在热风干燥过程中,热量由外向内传递,水分从微孔道蒸发缓慢,细胞间隙水分排出的同时空气进入,挤压细胞壁造成组织塌陷^[19-20],这也是造成牛蒡脆片收缩严重、质地坚硬的原因。经真空微波干燥和热风联合真空微波干燥的产品细胞间隙不均等,维管束孔径大小不一,孔壁较厚,且组织结构均有不同程度的挤压现象(图3-b、图3-d)。这可能是干燥过程中物料在热的作用下,导致细胞结构破坏严重^[7]。由图3-c可以看出,真空冷冻干燥牛蒡脆片细胞具有明显的蜂窝状结构、维管束数量较多且结构均匀、保持好。但由于真空冷冻干燥的牛蒡脆片组织结构较疏松,微孔道壁太薄,产品易破碎产生粉末,不利于包装运输。真空冷冻联合真空微波干燥的产品微孔结构破坏程度较低(图3-e),从而保留了内部组织的多孔性^[21],且这个结构在真空微波干燥过程中得到了保持,与单一真空冷冻干燥没有显著差异。

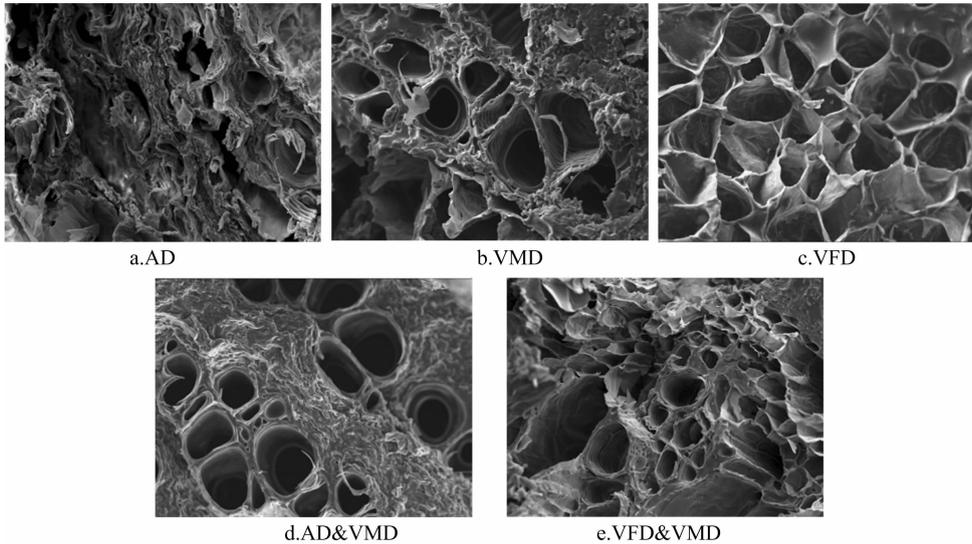


图3 不同干燥方式牛蒡脆片的微观结构(SEM, 300×)

2.6 不同干燥方式对牛蒡脆片中多酚、黄酮、多糖含量的影响

2.6.1 多酚、黄酮 多酚和黄酮类物质在干燥、提取过程中易水解、氧化,导致含量大大损失^[12]。从图4可知,热风干燥得到的牛蒡脆片中多酚和黄酮含量均低于真空微波干燥和热风联合真空微波干燥。真空冷冻联合真空微波干燥、真空冷冻干燥的多酚含量较高,且两者无显著差别,分别为14.48、16.92 mg/g。真空冷冻干燥中多酚、黄酮含量均最高,

为16.92、33.92 mg/g。这是因为在低温、真空条件下,热不稳定,具有活性的化合物不易与氧接触发生氧化反应,因此酚类和黄酮类物质保留得较好,使产品具有较高的营养价值^[22]。2.6.2 多糖 从图5可知,真空冷冻干燥时多糖含量最高,为562.94 mg/g;热风干燥下多糖含量最低,为420.99 mg/g。热风干燥、真空微波干燥和热风联合真空微波干燥下牛蒡脆片中多糖含量明显低于其他2个处理,这是因为多糖在高温

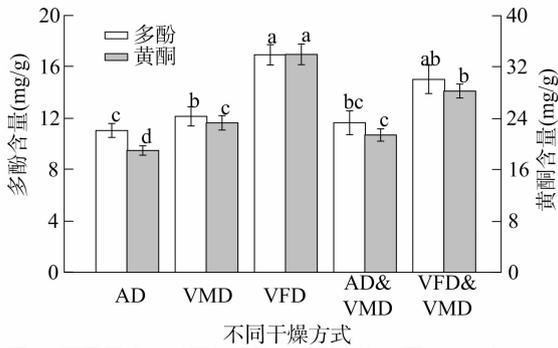


图4 不同干燥方式下牛蒡脆片总酚、总黄酮含量的比较

下易发生美拉德反应而损失;另外在这3种干燥方式下的牛蒡脆片收缩严重、结构致密,使后期提取不充分,导致测得的多糖含量较低。

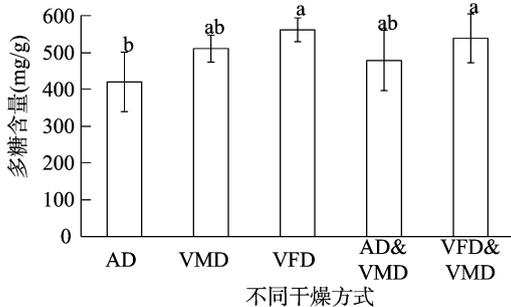


图5 不同干燥方式下牛蒡脆片多糖含量的比较

3 结论

本研究对不同干燥方式干燥所得牛蒡脆片的物理指标和营养指标进行了测定,结果表明,真空冷冻干燥联合真空微波干燥比真空冷冻干燥节省近一半时间;从色泽、褐变程度考虑,热风干燥、热风联合真空微波以及真空微波干燥后的牛蒡脆片亮度小、色差大、褐变严重且明显低于其他干燥方式;真空冷冻联合真空微波干燥的牛蒡脆片硬度脆度适中、收缩不明显;微观结构表明,真空冷冻干燥和真空冷冻联合真空微波干燥牛蒡脆片均能形成明显的疏松、多孔结构,而其他3种干燥方式下牛蒡脆片内部有明显塌陷、皱缩现象;对比不同干燥方式条件下牛蒡脆片多酚、黄酮、多糖含量可知,真空冷冻干燥和真空冷冻联合真空微波干燥后牛蒡脆片中营养物质含量较高。综合考虑,真空冷冻联合真空微波干燥的牛蒡脆片色泽变化和褐变程度小、组织疏松、收缩率小、质地均匀、酥脆性好,营养物质保留率高,是一种节能高效、适合牛蒡脆片干燥加工的方法。

参考文献:

[1] 钱桂华. 绿色保健蔬菜——牛蒡[J]. 上海调味品, 2004, 10(5): 12-13.

[2] Leblanc B W, Davis O K, Boue S, et al. Antioxidant activity of Sonoran Desert bee pollen [J]. Food Chemistry, 2009, 115(4): 1299-1305.

[3] Chan Y S, Cheng L N, Wu J H, et al. A review of the pharmacological effects of *Arctium lappa* (burdock) [J]. Inflammopharmacology, 2011, 19(5): 245-254.

[4] 孙长花, 张素华. 牛蒡的营养和药用价值及其加工利用[J]. 扬州大学烹饪学报, 2008, 25(2): 61-64.

[5] Milani E, Koocheki A, Golimovahed Q A. Extraction of inulin from burdock root (*Arctium lappa*) using high intensity ultrasound [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2011, 46(8): 1699-1704.

[6] 张婷, 杨润强, 陈旭, 等. 护色保脆复配物对鲜切牛蒡品质及酶促褐变的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(4): 236-242.

[7] Paengkanya S, Soponronnarit S, Nathakaranakule A. Application of microwaves for drying of durian chips [J]. Food and Bioprocess Processing, 2015, 96: 1-11.

[8] Chong C H, Figiel A, Law C L, et al. Combined drying of apple cubes by using of heat pump, vacuum-microwave, and intermittent techniques [J]. Food and Bioprocess Technology, 2014, 7(4): 975-989.

[9] 刘春泉, 严启梅, 江宁, 等. 杏鲍菇真空微波干燥特性及动力学模型[J]. 核农学报, 2012, 26(3): 494-499.

[10] Lombrana J I, Rodriguez R, Ruiz U. Microwave-drying of sliced mushroom. Analysis of temperature control and pressure [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2010, 11(4): 652-660.

[11] 李静, 聂继云, 毋永龙. Folin-Ciocalteu法测定马铃薯中的总多酚[J]. 中国马铃薯, 2014, 28(1): 27-30.

[12] Hamrouni - Sellami I, Rahali F Z, Rebey I B, et al. Total phenolics, flavonoids, and antioxidant activity of sage (*Salvia officinalis* L.) plants as affected by different drying methods [J]. Food and Bioprocess Technology, 2013, 6(3): 806-817.

[13] 郭金龙, 陈有君, 孙国琴, 等. 苯酚-硫酸法测定杏鲍菇多糖方法的研究[J]. 食品科学, 2008, 29(12): 555-558.

[14] 赵凯, 许鹏举, 谷广焯. 3,5-二硝基水杨酸比色法测定还原糖含量的研究[J]. 食品科学, 2008, 29(8): 534-536.

[15] 陈健凯, 林河通, 李辉, 等. 杏鲍菇热风-微波真空联合干燥工艺参数优化[J]. 中国食品学报, 2014, 14(9): 131-140.

[16] Wojdyo A, Figiel A, Lech K, et al. Effect of convective and vacuum-microwave drying on the bioactive compounds, color, and antioxidant capacity of sour cherries [J]. Food and Bioprocess Technology, 2014, 7(3): 829-841.

[17] Sturm B, Vega A, Hofacker W C. Influence of process control strategies on drying kinetics, colour and shrinkage of air dried apples [J]. Applied Thermal Engineering, 2014, 62(2): 455-460.

[18] Pei F, Yang W J, Shi Y, et al. Comparison of freeze-drying with three different combinations of drying methods and their influence on colour, texture, microstructure and nutrient retention of button mushroom (*Agaricus bisporus*) slices [J]. Food and Bioprocess Technology, 2014, 7(3): 702-710.

[19] Panyawong S, Devahastin S. Determination of deformation of a food product undergoing different drying methods and conditions via evolution of a shape factor [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 78(1): 151-161.

[20] Voda A, Homan N, Witek M, et al. The impact of freeze-drying on microstructure and rehydration properties of carrot [J]. Food Research International, 2012, 49(2): 687-693.

[21] Datta S, Das A, Basfore S, et al. Value addition of fruits and vegetables through drying and dehydration [M]//Sharangi A B, Datta S. Value addition of horticultural crops: recent trends and future directions. 2015: 179-189.