

江 宁,刘春泉,李大婧,等.不同干燥方法对杏鲍菇片品质和能耗的影响[J].江苏农业科学,2014,42(9):232-235.

不同干燥方法对杏鲍菇片品质和能耗的影响

江 宁¹,刘春泉¹,李大婧¹,周拥军²

[1.江苏省农业科学院农产品加工研究所/国家农业科技华东(江苏)创新中心-农产品加工工程技术中心,江苏南京 210014;

2.浙江省农业科学院食品科学研究所,浙江杭州 310021]

摘要:为提高杏鲍菇干制品品质并降低能耗,研究冷冻干燥、热风干燥、微波干燥和微波-气流膨化干燥 4 种不同干燥方法对杏鲍菇片品质和能耗的影响。结果表明,不同干燥方法对杏鲍菇片干燥能耗和时间排列顺序均为冷冻干燥>热风干燥>微波-气流膨化干燥>微波干燥;冷冻干燥的杏鲍菇片色泽良好,复水率高、收缩率小,但硬度过低,口感偏软;微波干燥的杏鲍菇片品质不稳定,有焦斑;热风干燥的杏鲍菇片品质最差;微波-气流膨化干燥的杏鲍菇片在色泽方面与冷冻干燥的产品差异不显著,并且酥脆性得到了明显的改善,产品的感官品质较佳,因此该方法可作为最佳干燥方式并用于生产。

关键词:杏鲍菇;干燥方法;能耗;菇片品质;干制工艺

中图分类号: TS201.1;TS255.36 **文献标志码:** A

文章编号: 1002-1302(2014)09-0232-04

杏鲍菇(*Pleurotus eryngii*)是一种高蛋白、低脂肪的大型食用菌,菌肉肥厚、质地脆嫩、有杏仁香味、口感极佳,含有 18 种氨基酸,其中 8 种是人体的必需氨基酸,易被人体吸收利用^[1]。据报道,杏鲍菇所含的多糖具有多种保健功效,可提高人体免疫功能^[2],促进人体对脂类物质的消化吸收和胆固醇的溶解,对肿瘤也有一定的预防和抑制作用^[3]。脱水干制是杏鲍菇常用的一种贮藏和加工方法,但不同干燥方法对杏鲍菇片干制品的影响很大,采用合理的干燥方法及工艺条件可有效减少干燥过程对杏鲍菇营养物质及色泽的破坏,能节约能耗并保证产品品质。气流膨化干燥和微波干燥是近几年新兴的果蔬非油炸干燥技术,能很好地保留果蔬原有的营养和风味物质,产品质地蓬松、口感酥脆、风味浓郁。目前,不同干燥方法对苹果^[4]、胡萝卜^[5]、海芦笋^[6]、莲子^[7]、辣椒^[8]、菜用大豆^[9]等产品品质的影响已有研究报道,但未见有微波和气流膨化联合干燥杏鲍菇片的相关报道。因此,本研究探讨了冷冻干燥、热风干燥、微波干燥和微波-气流膨化干燥 4 种干燥方法对杏鲍菇片品质和能耗的影响,旨在为杏鲍菇片的干制工艺研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

新鲜杏鲍菇采购于江苏省南京市玄武区孝陵卫农贸市场,品种名称苏杏 1 号。

1.2 仪器与设备

数显 101A-2 型电热鼓风干燥箱,上海浦东荣丰科学仪器有限公司;QDPH-5 型电加热式气流膨化设备,天津市勤德新材料科技有限公司;MVD-1 型微波真空干燥设备,江苏南京孝马机电设备厂;JSM5610LV 型扫描电子显微镜,日本电子株式会社;LGJ-12 冷冻干燥机,北京松源华兴科技发展有限公司;HH-8 数显恒温水浴锅,江苏省金坛市荣华仪器制造有限公司;BS224S 电子天平,赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;WSC-S 型色差仪,上海精密科学仪器有限公司;QTS 型质构仪,英国 CNS-FARNELL 公司;JFC-1600 镀金仪,日本电子株式会社。

1.3 试验方法

1.3.1 杏鲍菇片干燥方法 采用 4 种干燥方法将相同质量(300 g)的杏鲍菇片干燥至含水率 5% 以下。热风干燥:温度 60 ℃,风速 1.5 m/s;微波干燥:微波功率 4 W/g;冷冻干燥:冷阱温度 -45 ℃,真空度 0.4 kPa;微波-气流膨化干燥:首先在微波功率 20 W/g 条件下将杏鲍菇片干燥 105 s,然后在 4 ℃ 条件下均湿 6 h,最后进行气流膨化干燥(膨化压差 0.124 MPa,膨化温度 95 ℃,抽空干燥温度 70 ℃)。为防止产品吸潮,出料后应及时采用充氮包装(N₂ 体积分数为 99.99%,压力为 0.5 MPa,时间为 2 s)。

1.3.2 含水率的测定与计算 杏鲍菇片初始含水率采用直接干燥法^[10],不同时刻的杏鲍菇片含水率^[11]按照下式计算:

$$W_t = (G_t - G_g) / G_t = \frac{[G_t - G_0(1 - W_0)]}{G_t} \times 100\%。$$

式中: G_t 代表 t 时刻杏鲍菇片的质量, g; G_g 代表杏鲍菇片干质量, g; G_0 代表杏鲍菇片初始质量, g; W_0 代表杏鲍菇片初始含水率, %; W_t 代表杏鲍菇片 t 时刻含水率, %。

1.3.3 感官评定 参照 GB/T 23787—2009《非油炸水果、蔬菜脆片》标准,从产品的色泽、外观、组织结构、滋味及气味 4 个方面评价产品的感官质量。

1.3.4 单位能耗测定 干燥能耗以每干燥 1 个单位质量水分的能耗进行计算,单位为 kW·h/kg。利用电表测量试验的耗电量,同时记录并计算试验中样品脱去水分后的质量

收稿日期:2013-11-12

基金项目:国家公益性行业(农业)科研专项(编号:201303080)。

作者简介:江 宁(1983—),男,江苏南京人,硕士,助理研究员,主要从事农产品精深加工研究。Tel:(025)84391570;E-mail:jn19831109@163.com。

通信作者:刘春泉,硕士,研究员,主要从事农产品精深加工及产业化开发研究。Tel:(025)84390613;E-mail:liuchunquan2009@163.com。

(样品干燥始末的质量差),两者的比值即为单位能耗值^[12]。

1.3.5 色泽测定 为了更准确地测定样品的色泽,先将干制杏鲍菇片打粉,再采用色差计测定其色差。 $L^*=0$ 表示黑色, $L^*=100$ 表示白色; a^* 值为正表示偏红,为负表示偏绿,值越大表示偏向越严重; b^* 值为正表示被测物偏黄,为负表示被测物偏蓝。

1.3.6 硬度和脆度的测定 硬度和脆度用质构仪测定,采用 P/5N 圆柱型探头;操作模式:下压过程中测量力;测前速度 3.0 mm/s,测试速度 1.0 mm/s,测后返回速度 3.0 mm/s;测试距离 5 mm。硬度值(g)等于曲线中力的峰值,即样品断裂所需要的最大力,数值越大,表明产品越硬;脆度值为曲线中应力达到峰值时横坐标值,即样品断裂所需要的时间(s),值越小,表明产品越脆^[13]。

1.3.7 收缩率 采用体积排除法,以小米为介质^[14],分别测定干燥前后杏鲍菇片的体积,按如下公式计算收缩率:

$$Y=(V_2-V_3)/(V_2-V_1)。$$

式中:Y 代表收缩率; V_1 代表小米的体积,mL; V_2 代表小米与干燥前杏鲍菇片的体积,mL; V_3 代表小米与干燥后杏鲍菇片的体积,mL。

1.3.8 复水率 取一定质量(m_0)的干燥杏鲍菇片,放入 60℃、200 mL 的水中恒温浸泡 30 min,沥去表面多余水分,称其质量(m_1)^[15]。复水率的计算公式为:

$$R=(m_1-m_0)\times 100\%。$$

式中:R 代表复水率; m_1 代表复水后杏鲍菇片的质量,g; m_0 代表复水前杏鲍菇片的质量,g。

1.3.9 微观结构的测定 采用扫描电镜进行观察^[16]。

1.3.10 统计分析 单因素试验指标的差异采用 SPSS 17.0 统计软件中 ANOVA 方差分析进行分析,用 Tukey 分析各指标平均值的差异显著性,显著水平为 $\alpha=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同干燥方法对杏鲍菇片干燥能耗的影响

从表 1 可以看出,冷冻干燥杏鲍菇片所用时间分别是热风干燥、微波干燥、微波-气流膨化干燥的 2.6、2.4、7.5 倍,说明微波干燥用时最短;微波-气流膨化干燥时间分别较冷冻干燥、热风干燥缩短了 86.68%、65.97%。冷冻干燥杏鲍菇片的单位能耗是热风干燥、微波干燥、微波-气流膨化干燥的 2.9、6.1、4.3 倍;微波-气流膨化干燥杏鲍菇片较冷冻干燥、热风干燥节约能耗 76.73%、32.38%。这可能由于冷冻干燥在低温、高真空度状态下能使预先冻结的杏鲍菇中的水分直接以冰态转化为水蒸气被除去,需要较长时间的制冷和抽真空,所以单位能耗较高;热风干燥是在常压下进行的,干燥后期杏鲍菇细胞内部水分难以脱除,需要耗费较长干燥时间^[17],所以单位能耗较高,仅次于冷冻干燥;微波干燥采用辐射传能,其传热速度快,效率高,干燥时间最短,单位能耗最低;微波-气流膨化干燥由于前期采用微波干燥脱去了杏鲍菇片大部分水分,因此单位能耗与微波干燥接近,稍高于微波干燥。

2.2 不同干燥方法对杏鲍菇片色泽的影响

色泽是评价果蔬干燥产品品质的重要指标之一,4 种干燥方法对杏鲍菇片色泽的影响见表 2。与鲜样相比,4 种干燥

表 1 不同干燥方法的能耗比较情况

干燥方法	干燥时间 (h)	单位能耗 (kW·h/kg)
冷冻干燥	18.40	73.47
热风干燥	7.20	25.29
微波干燥	0.78	12.13
微波-气流膨化干燥	2.45	17.10

产品的 L^* 、 a^* 、 b^* 值均有不同程度地变化。冷冻干燥可较好地保持原料的色泽,产品的 L^* 值最大, b^* 值最小, a^* 值最接近鲜样。热风干燥和微波干燥产品的 a^* 、 b^* 值较高,热风干燥产品的 L^* 值最小,色泽较暗、偏黄。微波-气流膨化干燥产品的 L^* 值与微波干燥产品接近,但 a^* 、 b^* 值显著低于微波干燥产品($P<0.05$)。这可能是由于杏鲍菇片在热风干燥和微波干燥过程中有充足的氧气存在,均易发生酶促褐变和美拉德反应,同时微波干燥过程中存在物料局部过度受热问题,易产生焦斑,从而导致热风干燥产品红度值 a^* 、微波干燥产品黄度值 b^* 最大。冷冻干燥和气流膨化干燥在真空条件下避免了氧化褐变的产生,同时冷冻干燥的低温状态也抑制了褐变相关反应的发生,所以冷冻干燥产品的 a^* 、 b^* 值较小,色泽最好,微波-气流膨化干燥产品次之。

表 2 不同干燥方法对杏鲍菇干制品色泽的影响

干燥方法	L^*	a^*	b^*
冷冻干燥	88.98±1.40d	2.32±0.24b	26.84±0.83b
热风干燥	41.61±3.70a	11.16±1.20d	42.33±3.14cd
微波干燥	83.33±0.53c	7.71±1.20c	46.13±2.06d
微波-气流膨化干燥	84.04±0.71c	4.49±0.53b	33.86±1.18c
鲜样	76.87±0.66b	1.71±0.07a	21.78±0.67a

注:同列数据后不同字母表示差异显著($P<0.05$),相同字母表示差异不显著($P>0.05$)。

2.3 不同干燥方法对杏鲍菇片硬度和脆度的影响

杏鲍菇片干制品可作为休闲食品直接食用,硬度和脆度是 2 个重要指标。由表 3 可知,冷冻干燥杏鲍菇片产品的脆度最好,微波-气流膨化干燥和微波干燥产品次之,热风干燥产品最差。热风干燥产品的硬度最大,其次是微波干燥、微波-气流膨化干燥产品,冷冻干燥产品最小。这可能是由于冷冻干燥产品细胞受到的破坏小,细胞壁保存完整但非常薄,抵抗外力的能力很差,所以硬度最小、脆度最好;微波-气流膨化干燥和微波干燥产品因受微波加热细胞快速膨胀产生多孔性结构,脆度较佳,但组织结构收缩比冷冻干燥大,所以硬度高于冷冻干燥产品。微波-气流膨化干燥比微波干燥产品硬度小,可能是后段气流膨化干燥对物料有一定的膨化作用;热风干燥产品由于组织结构收缩严重,所以硬度最大、脆度最差。经前期研究发现,微波-气流膨化干燥的杏鲍菇硬度(3 000~4 000 g)适中,脆度值越小,产品越酥脆,口感越佳,所以微波-气流膨化干燥产品较适宜作休闲食品。

表 3 不同干燥方法对杏鲍菇干制品硬度、脆度的影响

干燥方法	硬度(g)	脆度(s)
冷冻干燥	1 179.33±35.30a	0.64±0.18a
热风干燥	8 245.00±56.91d	3.81±0.14c
微波干燥	4 791.00±37.32c	1.53±0.27b
微波-气流膨化干燥	3 105.67±49.32b	1.23±0.19ab

注同表 2。

2.4 不同干燥方法对杏鲍菇片收缩率和复水率的影响

收缩率和复水率是反映杏鲍菇片干制品质量的重要指标,主要取决于杏鲍菇片细胞结构的破坏程度。由图 1 可知,4 种方法干燥的杏鲍菇片收缩率和复水性差异显著 ($P < 0.05$)。其中,冷冻干燥产品的收缩率最小,热风干燥产品收缩率最大,且显著高于其他 3 种干燥产品 ($P < 0.05$),微波-气流膨化干燥产品收缩率显著低于微波干燥产品 ($P < 0.05$)。冷冻干燥产品的复水率最高,热风干燥产品的复水率显著低于其他 3 种干燥产品 ($P < 0.05$),微波-气流膨化干燥产品的复水率显著高于微波干燥产品 ($P < 0.05$)。以上结果与 Baysal 等的研究结果^[18-20]相似。可能是由于冷冻干燥使低温低压条件下的水分从冰晶状态直接升华,但所占空间仍然保留^[21],所以冷冻干燥产品收缩率最小、复水率最高;而在热风干燥时,表面温度较内部高,随着表面水分的蒸发迁移,物料表面迅速形成 1 层干硬膜,使得杏鲍菇内部水分未能及时转移到表面,当物料中心干燥和收缩时,又会出现内裂空隙,从而使物料表面起皱、干瘪坚硬,并影响其吸水能力,所以热风干燥产品收缩率最大、复水率最差;微波干燥过程中,杏鲍菇片内部水分吸收微波迅速汽化产生水蒸气,对物料有膨化作用,而微波-气流膨化干燥后期采用气流膨化干燥,也能对物料起“二次膨化作用”,所以微波-气流膨化干燥产品收缩率小于微波干燥产品,但复水率高于微波干燥产品。

2.5 不同干燥方法对杏鲍菇片感官品质的影响

由表 4 可知,在外观方面,杏鲍菇片热风干燥产品的表皮皱缩严重,膨化度最小;微波干燥及微波-气流膨化干燥杏鲍

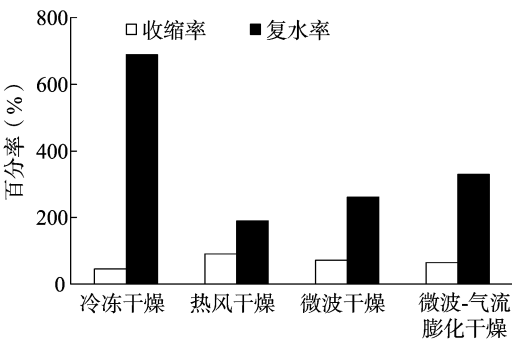


图1 不同干燥方法对杏鲍菇干制品收缩率和复水率的影响

菇片的膨化度大,产品表面光滑,但微波干燥产品表面有焦斑,影响了产品的外观品质;冷冻干燥杏鲍菇片基本保持了鲜切杏鲍菇片的原状。在色泽方面,冷冻干燥与微波-气流膨化干燥产品色泽较好,分别呈乳白色和亮白色;热风干燥和微波干燥产品色泽较差,分别呈褐色和亮白偏红色,这与色差计测得的结果一致。在组织结构方面,微波干燥及微波-气流膨化杏鲍菇片的结构疏松,口感酥脆;冷冻干燥产品结构疏松,但口感绵软,无嚼劲,且易产生碎屑;热风干燥产品的口感偏硬,这与其结构致密、收缩量大有关。在滋味、气味方面,微波干燥及微波-气流膨化干燥杏鲍菇片的风味最为浓郁,但微波干燥产品常伴有焦糊味,可能是由于微波干燥后期,物料的内部温度不均匀^[22],局部过热导致产品出现焦糊,影响了产品的风味。综上所述,微波-气流膨化干燥产品的感官品质最佳。

表 4 不同干燥方法对杏鲍菇干制品感官品质的影响

干燥方法	外观	色泽	组织结构	滋味、气味
冷冻干燥	边缘未皱缩,无明显膨化现象	乳白色	内部结构疏松,口感偏软	杏鲍菇风味淡
热风干燥	边缘皱缩严重	褐色	内部结构致密,硬度极大	杏鲍菇风味较浓
微波干燥	边缘未皱缩,有焦斑现象,膨化度较大	亮白偏红色	内部结构疏松,口感偏硬	杏鲍菇风味浓郁,但有焦糊味
微波-气流膨化干燥	边缘未皱缩,膨化度较大	亮白色	内部结构疏松,适度适中,口感酥脆	杏鲍菇风味浓郁

2.6 不同干燥方法对杏鲍菇片微观结构的影响

从图 2 可以看出,不同干燥方法干燥的杏鲍菇片组织结构差异明显,组织间空隙大小不一。热风干燥产品(图 2-a)的细胞结构排列致密,细胞间几乎没有空隙;冷冻干燥产品(图 2-b)结构收缩最小,细胞组织结构较疏松,但产品的空腔壁薄,产品易破碎产生粉末;微波干燥产品(图 2-c)和微波-气流膨化干燥产品(图 2-d)内部形成蜂窝状结构,且呈高度膨胀状态,干燥产品细胞间的空隙较大,同时微波-气流膨化干燥产品(图 2-d)较微波干燥产品(图 2-c)的蜂窝状结构更显疏松。

3 结论

从单位能耗和干燥时间来看,冷冻干燥能耗最高,干燥时间最长,其次为热风干燥、微波-气流膨化干燥,微波干燥单位能耗最低、干燥时间最短。从产品硬度来看,不同干燥方法干燥的产品的硬度值从大到小依次为热风干燥 > 微波干燥 > 微波-气流膨化干燥 > 冷冻干燥;从产品脆度品质来看,不同干燥方法干燥的产品的脆度从好到坏依次为冷冻干燥 > 微

波-气流膨化干燥 > 微波干燥 > 热风干燥。从产品色泽来看,冷冻干燥产品色泽最优,其次是微波-气流膨化干燥产品、微波干燥产品,热风干燥产品色泽最差。从产品收缩率来看,不同干燥方法产品的收缩率从大到小依次为热风干燥 > 微波干燥 > 微波-气流膨化干燥 > 冷冻干燥;从产品复水率来看,不同干燥方法干燥的产品的复水率从大到小依次为冷冻干燥 > 微波-气流膨化干燥 > 微波干燥 > 热风干燥。微波-气流膨化干燥杏鲍菇片的感官品质最佳,口感酥脆,杏鲍菇风味浓郁;冷冻干燥产品风味较淡,口感偏软;热风干燥和微波干燥产品感官品质较差。综合考虑,微波-气流膨化干燥是一种比较适合杏鲍菇片干制的方法,产品品质佳,能耗较低,值得推广使用。

参考文献:

[1] 宋爱荣,岳运勇,徐 坤. 四个杏鲍菇品种的氨基酸分析与比较[J]. 菌物研究,2005,3(4):11-14.
[2] 颜明娟,江枝和,蔡顺香. 杏鲍菇营养成分的分析[J]. 食用菌,2002,24(2):11-12.

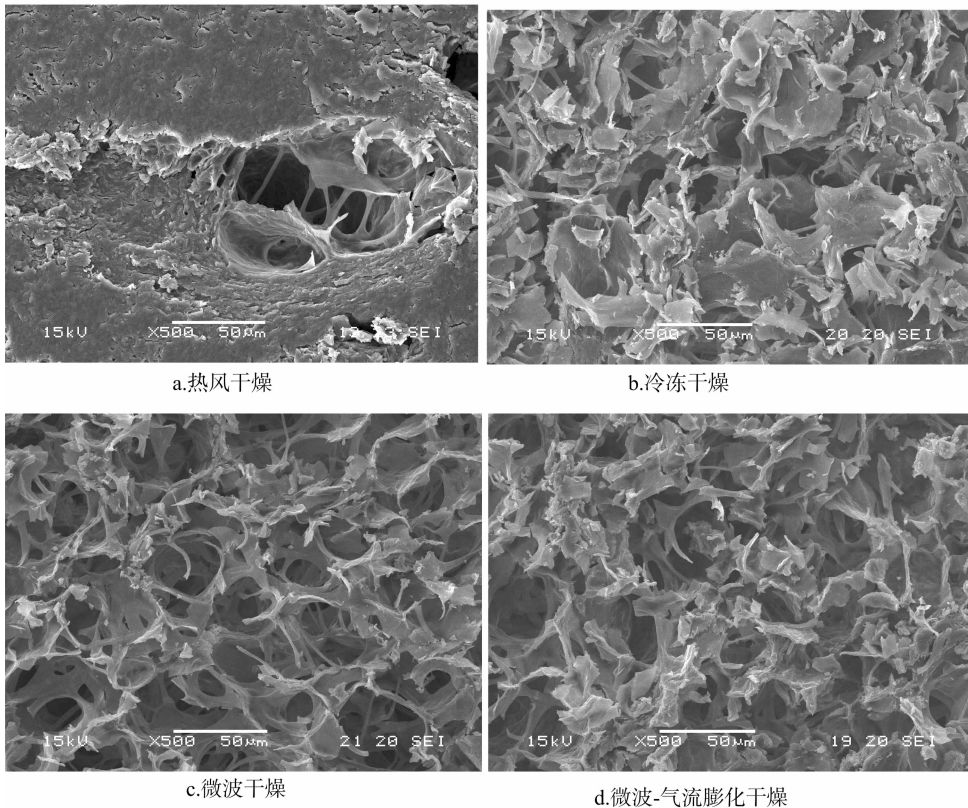


图2 不同干燥方法对杏鲍菇干制品微观结构的影响 (SEM, 500 ×)

- [3] 王凤芳. 杏鲍菇中营养成分的分析测定[J]. 食品科学, 2002, 23(4): 132 - 135.
- [4] 邓红, 王小娟. 不同干燥方法对苹果片品质的影响[J]. 食品科技, 2007, 32(2): 84 - 87.
- [5] Lin T M D, Durance T, Scaman C H. Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrot slices[J]. Food Research International, 1998, 31(2): 111 - 117.
- [6] 徐明亮, 周祥, 蔡金龙, 等. 不同干燥方法对海芦笋干品质的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(11): 64 - 68.
- [7] 曾绍校, 梁静, 郑宝东, 等. 不同干燥工艺对莲子品质的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(5): 227 - 231.
- [8] Topuz A, Feng Hao, Kushad M. The effect of drying method and storage on color characteristics of paprika[J]. LWT - Food Science and Technology, 2009, 42(10): 1667 - 1673.
- [9] 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.
- [10] Rodrigues S, Fernandes F A. Dehydration of melons in a ternary system followed by air - drying[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80(2): 678 - 687.
- [11] 江宁, 刘春泉, 李大婧, 等. ^{60}Co γ 射线辐照预处理对甘薯热风干燥特性的影响[J]. 核农学报, 2012, 26(1): 80 - 85.
- [12] 刘春泉, 江宁, 李大婧, 等. 微波联合热风干制苏渝 303 甘薯干工艺研究[J]. 核农学报, 2009, 23(6): 1008 - 1013.
- [13] 刘霞, 江宁, 刘春泉, 等. 不同干燥方式对黑毛豆仁品质的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(18): 59 - 62.
- [14] 江宁, 刘春泉, 李大婧, 等. 甘薯片真空微波干燥工艺的优化[J]. 中国食品学报, 2011, 11(7): 81 - 88.
- [15] 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.
- [16] 郭素枝. 扫描电镜技术及其应用[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 2006.
- [17] 沈晓萍, 王蒙蒙, 卢晓黎. 熟化甘薯热风干燥特性及数学模型研究[J]. 食品与机械, 2007, 23(3): 119 - 121, 142.
- [18] Baysal T, Icier F, Ersus S, et al. Effects of microwave and infrared drying on the quality of carrot and garlic[J]. European Food Research and Technology, 2003, 218(1): 68 - 73.
- [19] Torringa E, Esveld E, Scheewe I, et al. Osmotic dehydration as a pre - treatment before combined microwave - hot - air drying of mushrooms[J]. Journal of Food Engineering, 2001, 49(2/3): 185 - 191.
- [20] Beaudry C, Raghavan G S, Ratti C, et al. Effect of four drying methods on the quality of osmotically dehydrated cranberries[J]. Drying Technology, 2004, 22(3): 521 - 539.
- [21] Koç B, Eren İ, Kaymak E F. Modelling bulk density, porosity and shrinkage of quince during drying: the effect of drying method[J]. Journal of Food Engineering, 2008, 85(3): 340 - 349.
- [22] 唐伟琴. 木瓜的薄层微波干燥特性实验研究[D]. 南宁: 广西大学, 2006.