

网络出版时间:2012-07-18 10:36

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20120718.1036.014.html>

不同干燥方法对龙眼果肉品质特性的影响

田玉庭, 陈洁, 李淑婷, 庄培荣, 庄玮婧, 郑宝东

(福建农林大学 食品科学学院, 福建 福州 350002)

[摘要] 【目的】考察不同干燥方法对去壳龙眼果肉品质特性的影响, 评价微波真空干燥工艺的可行性。【方法】以龙眼果肉干制品的收缩率、复水率、色泽、多糖含量、SOD 活性和感官品质为评价指标, 研究热风干燥、真空干燥、微波干燥、微波真空干燥和真空冷冻干燥 5 种干燥方法对龙眼果肉品质特性的影响。【结果】5 种干燥方法所得龙眼果肉的收缩率、复水率、色泽、多糖含量和 SOD 活性存在差异, 微波真空干燥所制龙眼果肉的色泽最佳, 收缩率、复水率、多糖含量和 SOD 活性仅次于真空冷冻干燥, 但微波真空干燥的时间短、温度低、效率高, 且所制龙眼果肉结构完整, 金色饱满, 质地适中, 具有龙眼特有的风味, 综合品质最好。【结论】微波真空干燥是最适的龙眼果肉干燥方法, 可应用于工业化生产。

[关键词] 龙眼果肉; 干燥方法; 色泽; 多糖; SOD

[中图分类号] TS255.42

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2012)08-0161-05

Effect of different drying methods on the quality of longan (*Dimocarpus longan* Lour.) pulp

TIAN Yu-ting, CHEN Jie, LI Shu-ting, ZHUANG Pei-rong,
ZHUANG Wei-jing, ZHENG Bao-dong

(College of Food Science, Fujian Agriculture and Forest University, Fuzhou, Fujian 350002, China)

Abstract: 【Objective】Different drying methods were used to dry longan pulp in order to evaluate the feasibility of microwave vacuum drying (MVD) technology. 【Method】The qualities of longan pulp dried by hot air drying (HAD), vacuum drying (VD), microwave drying (MD), MVD, and vacuum freeze drying (VFD) were investigated, and the quality parameters were compared on the basis of shrinkage ratio, rehydration ratio, color, polysaccharides content, SOD activity, and sensory quality. 【Result】Those five drying methods were found to affect each parameter differently. The color of products dried by MVD was the best than those offered by other methods. The shrinkage, rehydration ratio, polysaccharides content, and SOD activity of products dried by MVD were slightly lower than those obtained by VFD, but microwave vacuum dried products had the highest sensory quality with structural integrity and their own unique flavors, due to short drying time, lower temperatures, and high efficiency. 【Conclusion】MVD is a novel, alternative, and potential method in food drying industry.

Key words: longan pulp; drying methods; color; polysaccharide; SOD

* [收稿日期] 2012-01-04

[基金项目] 国家“十一五”科技支撑计划项目(2007BAD07B05); 福建省科技重大专项(2008N0007); 福建省自然科学基金项目(2011J05123); 福建农林大学青年教师科研基金项目(2011xj15); 福建省高等学校科技创新团队(闽教科[2012]03号); 福建农林大学科技创新团队支持计划(cxtld2009)

[作者简介] 田玉庭(1979—), 男, 湖北宜昌人, 讲师, 博士, 主要从事农产品加工与贮藏研究。E-mail: tytfst@163.com

[通信作者] 郑宝东(1967—), 男, 福建长乐人, 教授, 博士生导师, 主要从事农产品加工与贮藏研究。E-mail: zbdfst@163.com

龙眼(*Dimocarpus longan* Lour.)又名桂圆、元肉等,属无患子科(Sapindaceae)植物。其果肉味美香甜,风味独特,富含碳水化合物、氨基酸、蛋白质、脂肪、粗纤维、维生素 C 等多种成分^[1],具有很高的营养价值和药用功效,深受消费者喜爱。龙眼盛产于高温多湿季节,呼吸代谢旺盛,鲜果极易腐烂,因此除少量鲜食外,绝大部分依赖干制保藏^[2]。通过去除龙眼果肉的部分水分,降低其自身酶活性,防止外源微生物侵染,可以延长其保质期^[3]。

果蔬干制时,水分从物料内部向外迁移扩散,会对果蔬性状造成一定程度的破坏,并会使营养成分受损,从而影响最终产品的品质^[4-5]。龙眼干制加工的传统方法为热风干燥^[6],现代干制方法则有真空干燥^[7]、微波干燥^[8]、微波真空干燥^[9]以及真空冷冻干燥^[2]等,这些干燥方法对龙眼品质的影响各异。目前,国内外有关龙眼干燥的研究,主要集中在单一干燥方式下的工艺参数优化^[2,8]和干燥特性方面^[6,10],而有关不同干燥方式对龙眼果肉品质影响的比较研究尚不多见。因此,本研究以剥壳去核龙眼果肉为原料,系统研究了上述 5 种干燥方法对龙眼果肉干制品品质(收缩率、复水率、色泽、多糖含量、SOD 活性及感官品质等)的影响,探讨了龙眼果肉不同干燥方法的加工特性及微波真空干燥工艺的优势,以期为提高龙眼干制加工品质提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 材 料

1.1.1 供试龙眼 供试龙眼品种为市售“乌龙岭”,果粒大小均一,充分成熟,剥壳去核,鲜果肉的平均初始含水率约为 80%。

1.1.2 主要设备与仪器 DHG-9053A 型电热恒温鼓风干燥箱、DZF-6051 型真空干燥箱(上海精宏试验设备有限公司),M700 微波炉(广东美的微波炉制造有限公司),KL-2D-4ZG 微波真空干燥设备(广州凯棱工业用微波设备有限公司与福建农林大学联合研制),LG-1.0 冷冻干燥机(沈阳航天新阳速冻装备有限公司),AL204 型精密分析天平(梅特勒-

托利多仪器(上海)有限公司),ADCI-60-C 全自动测色色差计(北京辰泰克仪器技术有限公司)。

1.2 方 法

1.2.1 干燥方法 分别采用热风干燥、真空干燥、微波干燥、微波真空干燥和真空冷冻干燥 5 种干燥方法,将同一批次等品质的龙眼果肉干燥至安全含水率(含水率 $\leq 13\%$),各干燥方法的条件如下:

1)热风干燥^[6]。温度 70℃,风速 2 m/s,干燥时间约 10 h。

2)真空干燥^[7]。温度 60℃,真空度-70 kPa,干燥时间约 12 h。

3)微波干燥。微波强度 6 W/g,干燥时间约 18 min。

4)微波真空干燥。微波强度 6 W/g,真空度-85 kPa,干燥时间约 11 min。

5)真空冷冻干燥^[2]。将样品装盘于冷冻干燥机内冻结后置于干燥仓内冻干处理,干燥仓真空值为 85 Pa,板温设定模式为:80℃下 4 h,然后 75℃下 5 h,最后 70℃下 6 h。

1.2.2 观测项目及方法 1)收缩率。参考文献[11],采用玻璃珠(0.1 mm, USA Scientific Inc., Orlando, USA)置换法测定龙眼果肉干燥前后的体积,计算其收缩率。

2)复水率。称取干燥的龙眼果肉样品,于 40℃蒸馏水中浸泡至饱和状态,称取复水后的样品质量,参考文献[12-13]的方法计算复水率。

3)色泽。龙眼果肉干品磨粉过筛(0.3 mm),参考文献[12-13]的方法测定样品色泽。

4)多糖含量。以未干燥的龙眼果肉样品为对照,参考文献[14]的方法测定样品的多糖含量。

5)SOD 活性。参照《保健食品中超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定》(GB/T 5009.171-2003),对各龙眼果肉样品的 SOD 活性进行测定。

6)感官品质评价。采用百分制,运用加权法对龙眼果肉干制品的感官品质进行评判,分数高则品质优。参照干果食品卫生标准(GB 16325-2005)制定评分加权值,详见表 1。

表 1 龙眼干制品感官品质的评定标准

Table 1 Assessment standards of sensory quality of dried longan pulp

指标 Index	标准 Standards	等级 Grade	分值 Score
质地结构 Texture	质地紧实 Firm texture	优 Excellent	25
	质地较为紧实,有一定咬劲 Less firm texture, good biting strength	良 Good	20
	质地松软、粘牙 Soft texture, sticky teeth	中 middle	15
	质地松软糜烂、粘牙 Soft texture, erosion, sticky teeth	差 Poor	10

续表 1 Continued table 1

指标 Index	标准 Standards	等级 Grade	分值 Score
口感风味 Flavor	清甜口感,龙眼风味较厚 Sweet refreshing taste,strong longan flavor	优 Excellent	25
	清甜口感,龙眼风味稍差 Sweet refreshing taste,less longan flavor	良 Good	20
	带微焦味 Slightly burnt flavor	中 middle	15
	焦味浓重 Strong burnt flavor	差 Poor	10
颜色光泽 Color	呈龙眼果肉特有的金黄色或浅黄褐色,均匀有光泽 Unique longan golden yellow or light yellow-brown,uniform and glossy	优 Excellent	25
	呈黄色或浅黄色,均匀略有光泽 Yellow or pale yellow,slight glossy	良 Good	20
	深色无光泽,一般焦黄色或灰白色 Lackluster,light brown or gray	中 middle	15
	深色中带黑,一般焦褐色或黑色 Dark black,coke-brown or black	差 Poor	10
外观形态 Apperance	果干饱满,不粘结无漏糖 Structural integrity,non-caked,non-leaking sugar	优 Excellent	25
	果干饱满,有粘结和少量漏糖,果肉有较小的裂口 Structural integrity,slight caked,slight leaking sugar,small nick	良 Good	20
	果肉破裂,有少量漏糖烧焦点现象 Fracture,slight leaking sugar,slight burnt spot	中 middle	15
	果干干瘪,粘结成团,果肉有较大的裂口,有较多烧焦点现象 Collapse,strong caked,big gap,strong burnt spot	差 Poor	10

1.2.3 统计分析 所有试验重复 3 次,结果取平均值;采用 SPSS 软件包 (version 11. 5, SPSS Inc. , Chicago, IL. USA) 对数据进行方差分析 ($P<0. 05$) 和 Duncan’s 多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同干燥方法对龙眼果肉收缩率的影响

不同干燥方法对龙眼果肉收缩率的影响结果见表 2。由表 2 可知,不同干燥方法对龙眼果肉收缩率的影响显著($P<0. 05$),其收缩率大小依次为:真空干燥>热风干燥>微波干燥>微波真空干燥>真空冷冻干燥。热风干燥时,物料表面干燥初期的失水速率过快,造成龙眼果肉的收缩程度较大;微波干燥时,水分由内往外扩散,产生一定的膨化效应^[13],因此收缩率小于热风干燥。龙眼果肉组织细胞间充满着空气,真空状态不仅降低了水的沸点,而且使细胞内外形成压差^[13],从而导致细胞组织收缩,因此采用单一真空干燥方法,龙眼果肉的收缩率最大。微波真空干燥综合了真空干燥和微波的技术优点,真空有助于推动内部水分向外传递,水分吸收微波后又能迅速气化,因此干燥时间短,同时使物料内部产生多孔结构,防止组织塌陷^[15],故收缩率较小。真空冷冻干燥龙眼果肉的收缩率最小,这是由于该干燥方式下,龙眼中的水分从冰晶状态直接升华,而所占空间仍然保留,可基本保持其原有形状^[12-13]。

2.2 不同干燥方法对龙眼果肉复水率的影响

不同干燥方法对龙眼果肉复水率的影响结果见表 2。由表 2 可知,不同干燥方法对龙眼果肉复水率的影响显著($P<0. 05$),其复水率大小依次为:真空冷冻干燥>微波真空干燥>真空干燥>微波干燥>热风干燥。龙眼果肉真空冷冻干燥时,其组织

内部冰晶在负压条件下升华,干制品疏松多孔呈海绵状,亲水性好,故复水率最大,该结论与前人的研究结果类似^[12-13,16];微波真空干燥时,龙眼果肉组织水分快速吸收微波能蒸发,蒸汽流在真空下被迅速排出,从而防止收缩和硬化^[17],产品呈现多孔结构^[15],因而复水率仅次于真空微波干燥;热风干燥过程中水分发生内扩散并最终在表面汽化,使得干燥后的龙眼果肉收缩硬化,故其干制品复水率最低。

2.3 不同干燥方法对龙眼果肉色泽变化的影响

色泽是评价果蔬干品的一个重要指标,干燥过程中的温度和干燥时间是影响物料色泽变化的重要因素^[18]。色泽参数包括 L^* 、 a^* 、 b^* 、 H° 和 C^* ,其中, L^* 值表示亮度, a^* 值表示红色至绿色的范围, b^* 值表示蓝色至黄色的范围, H° 表示灰度, C^* 表示色度。

表 2 不同干燥方法对龙眼果肉收缩率和复水率的影响

Table 2 Effects of different drying methods on the shrinkage ratio and rehydration ratio of longan pulp %

干燥方法 Drying method	收缩率 Shrinkage ratio	复水率 Rehydration ratio
热风干燥 HAD	44. 35±1. 69 b	156. 27±2. 84 e
微波干燥 MD	42. 75±0. 82 b	194. 61±1. 77 d
真空干燥 VD	50. 64±1. 35 a	244. 45±1. 35 c
微波真空干燥 MVD	29. 35±1. 25 c	275. 16±2. 64 b
真空冷冻干燥 VFD	18. 21±1. 45 d	298. 45±1. 39 a

注:同列数据后标不同小写字母表示差异显著($P<0. 05$)。下表同。

Note:Means within same column with the different letter are not significantly different as indicated by Duncan’s multiple range test ($P<0. 05$). The same as below.

表 3 为不同干燥方法所制龙眼果肉色泽参数的测定结果。由表 3 可知,真空冷冻干燥所得龙眼果肉的 L^* 值最大,即亮度最高,但色泽苍白,这是因为

真空冷冻干燥时冰晶在低水气压下发生升华,直接由固态变成气态,减少了氧化褐变所致。微波干燥所得产品的 b^* 值最小、 H° 值最大,产品色泽较暗、偏黑红,这是因为微波的局部高温所致。色泽参数中,色度值(C^*)大则表示干制品色泽鲜亮、颜色饱

满^[13]。微波真空干燥所得产品的 a^* 值与热风干燥相当,这可能与发生了轻微的糖焦化反应有关^[19];同时,微波真空干燥时间短,收缩率小,产品结构疏松,干品外观金黄饱满,在 5 种干燥方法中产品色度最大,色泽最佳。

表 3 不同干燥方法对龙眼果肉干品色泽的影响

Table 3 Color value of longan pulp obtained using different drying methods

干燥方式 Drying method	亮度 L^*	红色度 a^*	黄色度 b^*	灰度 H°	色度 C^*
热风干燥 HAD	36.123±2.284 cd	15.624±0.876 a	9.648±1.497 b	51.341±0.237 b	26.864±0.940 a
微波干燥 MD	32.512±1.757 d	14.267±1.256 ab	7.142±0.901 c	54.365±1.164 a	21.157±1.556 c
真空干燥 VD	37.851±2.073 bc	12.951±1.833 b	10.124±1.049 b	50.254±1.322 bc	25.314±1.884 ab
微波真空干燥 MVD	41.614±2.107 ab	13.645±0.700 ab	11.311±1.363 ab	47.783±0.977 c	28.671±1.651 a
真空冷冻干燥 VFD	44.345±1.891 a	9.143±0.831 c	13.212±0.513 a	43.169±1.561 d	23.263±1.206 bc

注: L^* 值表示亮度, a^* 值表示红色至绿色的范围, b^* 值表示蓝色至黄色的范围, H° 表示灰度, C^* 表示色度。

Note:The L^* is the degree of lightness, a^* is the degree of redness and greenness,and b^* is the degree of yellowness and blueness, H° is the degree of grayness, C^* is the chroma.

2.4 不同干燥方法对龙眼果肉多糖含量的影响

不同干燥方法对龙眼果肉多糖含量的影响结果见表 4。由表 4 可知,采用不同干燥方法处理后,龙眼果肉多糖含量大小依次为:真空冷冻干燥>微波真空干燥>真空干燥>热风干燥>微波干燥。微波真空干燥与真空冷冻干燥所得龙眼果肉产品的多糖含量无显著差异($P>0.05$),且与干燥前龙眼对照组中的多糖含量 193.6 mg/g 相当,差异不显著,表明微波真空干燥与真空冷冻干燥对龙眼果肉的多糖破坏程度较小。其原因是两者的处理温度低,龙眼果肉细胞酶活受到抑制,避免了糖苷键在水解酶的催化下水解;同时,真空使干燥环境低氧,也避免了多糖的氧化。单一微波干燥时,高微波强度使龙眼果肉表面的温度迅速升高,龙眼多糖降解为寡糖^[20],导致多糖含量降低。

表 4 不同干燥方法对龙眼果肉多糖含量及 SOD 活性的影响

Table 4 Effects of different drying methods on polysaccharides content and SOD activity of longan pulp

干燥方式 Drying method	多糖含量/(mg·g ⁻¹) Polysaccharides content	SOD 活性/ (U·mL ⁻¹) SOD activity
对照 Control	193.6±0.4 a	723.37±3.31 a
热风干燥 HAD	103.2±1.0 c	428.51±1.05 e
微波干燥 MD	75.1±0.6 d	314.76±3.36 f
真空干燥 VD	147.7±0.8 b	476.12±2.73 d
微波真空干燥 MVD	178.7±0.5 a	604.19±5.63 c
真空冷冻干燥 VFD	184.1±0.7 a	694.16±3.60 b

2.5 不同干燥方法对龙眼果肉 SOD 活性的影响

不同干燥方法对龙眼果肉 SOD 活性的影响结果见表 4。由表 4 可知,不同干燥方法对龙眼果肉 SOD 活性的影响显著($P<0.05$)。5 种干燥方法下

龙眼果肉 SOD 活性的大小依次为:真空冷冻干燥>微波真空干燥>真空干燥>热风干燥>微波干燥,且均显著低于未经干燥的龙眼((723.37±3.31) U/mL)。其中,龙眼果肉真空冷冻干燥时温度低,冰晶在不发生融化的情况下由固态直接升华成水蒸汽,蒸汽又在真空状态下被迅速排走,因而避免了龙眼果肉组织细胞内 SOD 的氧化和失活,能保留原有活性的 95.96%,在 5 种干燥方式中最高;微波干燥的龙眼果肉 SOD 活性最低,这是因为在微波干燥后期,龙眼果肉含水量较低,部分微波能会选择吸收含较高介电因子的区域加热^[21],致使物料局部温度过高,由此导致了 SOD 的蛋白质结构重新排列^[22];而微波真空干燥因时间短、效率高,且真空作用可规避干燥后期微波能所致的相当一部分局部过热现象^[17],所以其干制品的 SOD 活性较佳,仅次于真空冷冻干燥。

2.6 不同干燥方法对龙眼果肉感官品质的影响

用不同干燥方法处理后,龙眼果肉的感官品质评定结果见表 5。由表 5 可以看出,经热风干燥和微波真空干燥的龙眼果肉质地结构较好,且微波真空干燥后果肉因具多孔结构,与热风干燥方式相比更为松软;真空冷冻干燥的产品极易吸水,结构疏松,有粘牙现象,质地结构最差。微波真空干燥因低温、短时、高效,可最大限度地保留龙眼果肉的特有风味,且具多孔结构,因而产品的口感风味最好;微波干燥因局部温度过高,焦糖化严重,产生了焦糊味,因而口感风味最差。颜色光泽的评分结果与色泽变化的结果相似,即微波真空干燥处理的龙眼果肉表现最佳,这是因为微波真空干燥的龙眼果肉因

发生了轻微的焦糖化反应,颜色呈金黄色,且具有一定的光泽,在 5 种干燥方法中最好;单一微波干燥时,高强度微波能及能量分布的不均匀,导致龙眼果肉发生局部边缘焦化现象,并产生焦黑的边角,因而颜色灰暗。外观形态方面,以真空冷冻干燥方式最好而微波干燥方式最差,这是因为真空冷冻干燥产品的细胞间冰晶直接升华,使结构收缩最小,细胞组

织呈多孔的疏松结构,组织结构整体较为完整;微波干燥过程中水分蒸发速度快,短时间内腔内空气湿度增大,龙眼果肉糖分渗出,又未能有效地干燥,导致龙眼果肉粘结成团。综合评分结果显示,微波真空干燥后,龙眼果肉干制品结构完整,金色饱满,质地适中,具有龙眼的特有风味,感官评分最高。

表 5 不同干燥方法对龙眼果肉干制品感官品质的影响

Table 5 Effects of different drying methods on sensory quality of dried longan pulp

干燥方法 Drying method	质地结构 Texture	口感风味 Flavor	颜色光泽 Color	外观形态 Appearance	综合评分 Total score
热风干燥 HAD	17.8±1.1 a	22.8±1.3 b	22.0±1.6 b	8.8±0.8 d	72.0±2.1 d
微波干燥 MD	13.2±0.8 c	15.8±1.6 d	16.2±1.0 d	5.0±1.0 e	51.0±2.5 e
真空干燥 VD	15.8±1.3 b	20.0±1.0 c	23.0±2.0 b	10.8±0.8 c	70.0±2.4 c
微波真空干燥 MVD	16.6±0.7 ab	24.6±1.7 a	25.8±1.4 a	18.1±1.4 b	86.0±1.4 a
真空冷冻干燥 VFD	12.0±1.6 b	22.8±1.9 b	18.8±0.8 c	21.0±0.7 a	75.2±1.5 b

3 结 论

5 种干燥方法所得龙眼果肉的收缩率、复水率、色泽、多糖含量和 SOD 活性存在差异,微波真空干燥所制龙眼果肉色泽最佳,其收缩率、复水率、多糖含量和 SOD 活性仅次于真空冷冻干燥而优于其他干燥方法,但其较真空冷冻干燥方法操作简单,干燥时间短、温度低、效率高。5 种干燥方法所制龙眼果肉干品的感官品质得分高低为:微波真空干燥>真空冷冻干燥>热风干燥>真空干燥>微波干燥。与其他 4 种干燥方法相比,微波真空干燥后的龙眼果肉结构完整,金色饱满,质地适中,具有龙眼的特有风味,且干燥时间短、效率高,因此更适用于工业化大生产。

[参考文献]

[1] Yang B,Jiang Y M,Shi J,et al. Extraction and pharmacological properties of bioactive compounds from longan (*Dimocarpus longan* Lour.) fruit:A review [J]. Food Research International,2011,44(7):1837-1842.

[2] 陈仪男. 龙眼真空冷冻干燥工艺优化 [J]. 农业工程学报, 2008,24(9):244-248.

Chen Y N. Optimization of vacuum freeze-drying technologies of longan fruits [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2008,24(9):244-248. (in Chinese)

[3] Nuthong P,Acharyaviriya A,Namsanguan K,et al. Kinetics and modeling of whole longan with combined infrared and hot air [J]. Journal of Food Engineering,2011,102(3):233-239.

[4] Alibas I. Determination of drying parameters,ascorbic acid contents and color characteristics of nettle leaves during microwave-,air- and combined microwave-air-drying [J]. Journal of Food Process Engineering,2010,33(2):213-233.

[5] Maskan M. Microwave/air and microwave finish drying of banana [J]. Journal of Food Engineering,2000,44(2):71-78.

[6] 夏璐. 龙眼热风干燥特性的研究 [J]. 食品工业,2004(1):40-41.

Xia L. Study on characteristics of hot air drying of longan [J]. The Food Industry,2004(1):40-41. (in Chinese)

[7] 肖维强,蔡长河,张爱玉,等. 低温真空干燥焙制荔枝干、龙眼干的研究 [J]. 食品科学,2004,25(8):218-219.

Xiao W Q,Cai C H,Zhang A Y,et al. Study on the vaccum drying of litch and longan [J]. Food Science,2004,25(8):218-219. (in Chinese)

[8] 陈燕,陈羽白. 龙眼微波干燥的试验研究 [J]. 广西大学学报:自然科学版,2004,3(1):58-61.

Chen Y,Chen Y B. Studies on microwave drying of longan [J]. Journal of Guangxi University:Natural Science Edition,2004,3(1):58-61. (in Chinese)

[9] 王喜鹏,胡光华,张进疆. 龙眼的真空微波干燥试验研究 [J]. 现代农业装备,2004(10):44-47.

Wang X P,Hu G H,Zheng J J. Study on microwave vacuum drying of longan [J]. Modern Agricultural Equipments,2004(10):44-47. (in Chinese)

[10] Tippayawong N,Tantakitti C,Thavornum S,et al. Energy conservation in drying of peeled longan by forced convection and hot air recirculation [J]. Biosystems Engineering,2009,104(2):199-204.

[11] Wang R,Zhang M,Mujumdar A S. Effects of vacuum and microwave freeze drying on microstructure and quality of potato slices [J]. Journal of Food Engineering,2010,101(2):131-139.

[12] 黄建立,黄艳,郑宝东,等. 不同干燥方式对银耳品质的影响 [J]. 中国食品学报,2010,10(2):167-173.

Huang J L,Huang Y,Zheng B D,et al. The effect of different drying methods on the quality of *Tremella fuciiformis* [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology,2010,10(2):167-173. (in Chinese)