

文章编号:1673-1689(2009)04-0456-06

## 冷冻干燥与后续真空微波联合干燥 开发草莓休闲食品

李瑞杰<sup>1</sup>, 张 愨<sup>\*1</sup>, 孙金才<sup>2</sup>

(1. 江南大学 食品科学与技术国家重点实验室, 江苏 无锡 214122; 2. 海通食品集团有限公司, 浙江 慈溪 315300)

**摘要:**以草莓为原料,应用真空冷冻干燥和后续真空微波干燥联合的方式做不同转换点试验,目的是降低能耗,改善产品品质。在干燥的过程中研究了前期冷冻干燥后物料的含水率、后续真空微波干燥微波功率等因素对干燥过程的影响,并将得到的产品与普通的冷冻干燥干燥时间和产品品质方面进行比较,确定了联合干燥较佳的转换点为真空冷冻干燥草莓的含水量为40%左右,微波功率为2100W。将得到的产品进行调味,开发出一种大众喜爱的休闲食品。

**关键词:**草莓;联合干燥;冷冻干燥;真空微波干燥;外涂调味

中图分类号:S37

文献标识码:A

### Studies on Treatment of Strawberries by a Combination Drying of Vacuum Freeze and Vacuum Microwave

LI Rui-jie<sup>1</sup>, ZHANG Min<sup>\*1</sup>, SUN Jin-cai<sup>2</sup>

((1. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Zhejiang Haitong Food Co. LTD, Cixi 315300, China))

**Abstract:** Strawberries were treated with a combination drying of Vacuum Freeze and Vacuum Microwave (FVMD) in this manuscript. In order to reduce drying time and improve the products quality, the effects of moisture content of strawberries after vacuum freeze drying, microwave power on the drying process were carefully studied. an optimum process; Strawberries was dried to 40% moisture content by vacuum freeze drying and then shift to vacuum microwave (2100W), was achieved based on the comparison of the drying time and physicochemical properties of combination dried processes and the single vacuum freeze drying. Finally, add white chocolate coat on strawberry after drying in order to improve its taste.

**Key words:** strawberry, combination drying, vacuum freeze, vacuum microwave, coat

草莓,又叫洋莓、地莓、地果、凤梨、红莓等,蔷薇科,草莓属,在园艺上属浆果类果树,20世纪初传

收稿日期:2007-11-29

基金项目:国家自然科学基金项目(20776062)。

\* 通讯作者:张愨(1962-),男,浙江平湖人,工学博士,教授,博士生导师。主要从事农产品加工的研究。

Email:min@jiangnan.edu.cn

人我国而风靡华夏。草莓外观呈心形,其色鲜艳粉红,果肉多汁,酸甜适口,芳香宜人,营养丰富,故有“水果皇后”之美誉。据测定,每100g草莓果肉中含糖8~9g、蛋白质0.4~0.6g,维生素C50~100mg,比苹果、葡萄高7到10倍。而它的苹果酸、柠檬酸、维生素B1、维生素B12,以及胡萝卜素、钙、磷、的含量也比苹果、梨、葡萄高3到4倍。台湾人把草莓称为“活的维生素丸”,德国人把草莓誉为“神奇之果”,可见是不无道理的。草莓入药亦堪称上品,中医认为,草莓性味甘、凉,入脾、胃、肺经,有润肺生津,健脾和胃,利尿消肿,解热祛暑之功,适用于肺热咳嗽,食欲不振,小便短少,暑热烦渴等。草莓中丰富的维生素C除了可以预防坏血病以外,对动脉硬化、冠心病、心绞痛、脑溢血、高血压、高血脂等,都有积极的预防作用。草莓中含有的果胶及纤维素,可促进胃肠蠕动,改善便秘,预防痔疮、肠癌的发生。草莓中含有的胺类物质,对白血病,再生障碍性贫血有一定疗效。

但草莓不易贮藏,脱水草莓是我国大量出口日本、欧洲和美国的主要产品之一。冷冻干燥虽然能最大程度地保留草莓的色、香、味、形,但是这种干燥方式能耗高,直接作为休闲食品口感不佳。冷冻与真空微波联合干燥是指根据物料的特性,前期冷冻干燥用于除去大部分的水分保证了产品质量,后期利用真空微波的高强度干燥的特点,有效除去残余水分,降低了能耗,又改善了产品品质。关于联合干燥,国外研究较多<sup>[1-4]</sup>。

本研究采用冷冻干燥和后续真空微波干燥联合的方式对草莓脱水,前期的冷冻干燥可以脱去果蔬表面的水分,而内部水分仍然以冰晶的形式存在<sup>[5]</sup>,试验的研究重点在于,如何通过控制前期干燥后物料的含水率和后期真空微波干燥,使物料在未被解冻的前提下,让这部分水分迅速汽化、迁移,膨化内部组织,产生疏松,均匀的微孔结构<sup>[6]</sup>,达到即改善了产品品质,又降低了能耗。最后将得到的脱水草莓进行调味,开发出一种能被大众喜爱的休闲食品。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

速冻草莓,由浙江海通食品集团股份有限公司草莓提供,品种为“丰香”。

### 1.2 仪 器 与 设 备

UFREEZE DRYING-03型冻干试验机:厦门联友冷冻设备有限公司生产;真空微波干燥设

备:型号WZD4S-1,南京三乐微波技术发展有限公司制造;多功能气调包装机、烘箱、电子天平、Kanguang®SC-80C型全自动色差计:北京光学仪器厂生产。

### 1.3 方 法

#### 1.3.1 工 艺 流 程 点

工艺流程:原料选择→预处理(清洗,去蒂)→预冻→冷冻干燥→真空微波干燥→调味→充氮包装→贮藏

#### 1.3.2 操 作 要 点

1)原料选择及预处理:选择七、八分熟、直径在1~2cm,且大小一致的新鲜草莓,用水清洗,去蒂,沥水后装盘备用;预冻:将预处理好的草莓送入急冻间预冻。

2)前期冷冻干燥:先打冷阱至-30℃,将预处理后的草莓单层铺在物料盘上,抽真空至真空度为10~100Pa时,采用程序升温的方式给物料加热,冻干运行,当物料中心温度接近表面温度时,说明已干燥完毕。

3)后续真空微波干燥:将冷冻干燥至一定含水量的草莓迅速放入真空干燥设备中,开始开启微波进行加热,注意调整微波功率,采用分段加热方法,升华段物料温度控制在-15℃左右,解析段物料温度不超过60℃。

4)调味:将脱水后的草莓外涂一层白巧克力,缓和酸味,改善口感。

#### 1.3.3 不 同 干 燥 方 式

1)冷冻干燥(冷阱温度-30℃,真空度10~100Pa,PTN:从20℃开始升温,45min后到达65℃,保持60min;再以1℃/min升到85℃,保持10h;然后开始降温,1h后降温到60℃,保持6h;再以1℃/min降温至45℃,在45℃的条件下直至草莓完全干燥)。

2)联合干燥(冷冻干燥至草莓的含水量在40%左右,转为真空微波干燥,条件为:真空度-0.095MPa,微波功率2100W,干燥时间约40min)。

#### 1.3.4 测 定 指 标

1)含水率:湿基含水率(% w. b.)W的测定按照GB5009.3-2003进行测定。

2)VC:采用2,6-二氯酚酚滴定方法测定。

VC保留率=干样VC质量/鲜样VC质量×100%。

VC含量以干基表示,单位为mg/100g干。

3)膨化率:取10颗膨化前草莓,外涂蜡质,投入装有100mL水的1L量筒中,求得膨化前草莓

体积  $V_1$ , 同法求得膨化后草莓体积  $V_2$ , 按下式计算膨化率  $A$ :

$$A = V_2/V_1$$

4) 颜色: 应用 Kangguang® SC-80C 全自动测色色差计定量测定样品的表面色差,  $L^*$  值 (Lightness, 亮度), 其值从 0 到 100 变化; 0 表示黑色, 100 表示白色。  $a^*$  值 (redness, 红色度), 表示从红到绿的值; 100 为红色, -80 为绿色。  $b^*$  值 (yellowness, 黄色度), 表示从黄色到蓝色的值; 100 为黄色, -80 为蓝色, 每种样品取 3 次样, 每样旋转 3 次不同角度分别读数, 取 9 次读数的平均值。

5) 微生物检测: 菌落总数, 采用平板计数法, 参照 GB/T 4789.2-2003 测定; 大肠菌群, 参照 GB/T 4789.3-2003 测定, 试验结果为 3 次试验结果平均值。

6) 色泽、质构、风味、口感: 感官评定法。

## 2 结果分析

### 2.1 冷冻干燥曲线的测定

为获得不同含水率的草莓, 首先需要绘制一条草莓的冷冻干燥曲线。将冻结好的草莓放入冷冻干燥试验机内, 每隔 1 h 测定一次草莓的含水率, 直到其含水率降到 6% (湿基) 以下, 连续 3 次。

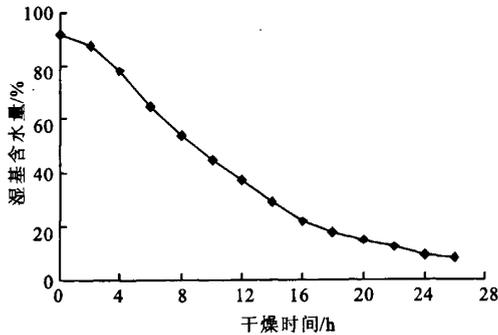


图 1 草莓的冷冻干燥速率曲线

Fig. 1 Vacuum freeze drying curves of strawberry

### 2.2 冷冻与真空微波联合干燥试验

冷冻与真空微波联合干燥采用先真空冷冻干燥至一定水分, 然后取样, 直接进行真空微波干燥, 得到最终产品。

2.2.1 不同含水率和干燥时间的关系 将冷冻干燥至不同含水率的草莓, 在设定微波功率 2 100 W, 真空度为 -0.095 MPa, 分别进行干燥, 记录各自的干燥时间及感官评定结果见下表 1。从表中可以看出, 虽然物料的初始含水率差异较大, 但是微波干燥所用的时间并没有很大的差距, 对于干燥后的产

品质量, 却存在着较大的差异。含水量越高, 草莓中心的冰晶体积就会越大, 微波提供的热量不足以使这部分水分急剧汽化、迁移, 就会导致草莓先解冻, 再烘干水分, 这样组织就受到极大的破坏。在水份含量较低的情况下, 微波的穿透深度较深, 所加热的体积比较少, 物料自身的温度不是很高, 从而很好的保持了物料原有特性。但是, 初始含水率越低, 前期冷冻所用干燥时间就会越长, 其所需要的操作费用也就越高。从 FD 时间 12 h、VMD 时间 48 min 及产品感官品质膨化率综合考虑选 40% 左右。

表 1 不同含水率下干燥草莓的感官评定和干燥时间  
Tab. 1 The result of sensory evaluation and drying time for strawberry dried by different moisture content

序号	含水率/%	干燥时间/min FD+VMD	感官评定
1	65	6+80	无焦糊, 色泽、风味正常, 有潮感、粘手, 组织塌陷严重
2	54	8+67	无焦糊, 色泽、风味正常, 稍有潮感, 组织稍有塌陷
3	45	11+55	无焦糊, 色泽、风味正常, 无潮感, 组织未见塌陷, 稍有膨化
4	37	12+48	极少部分焦糊, 口感极疏松, 色泽、风味正常, 膨化程度最大
5	30	13+39	少部分焦糊, 口感极其疏松, 有焦香味, 稍有膨化
6	22	15+28	少部分焦糊, 口感疏松, 有焦香味, 无膨化

2.2.2 不同微波功率对干燥时间和产品品质的影响 将冷冻干燥 12 h 后, 水分含量为 37% 的草莓, 在不同微波功率下干燥至水分在 6% 以下, 微波功率为 700、1 400、2 100、2 800 W。真空度为设备的最低真空度 -0.095 MPa, 将草莓单层铺在料盘中, 记录干燥时间, 绘出不同微波功率下草莓含水率和干燥时间的关系, 并对联合干燥的产品进行 VC、膨化率、色差、微生物指标等进行检测, 结果见图 2。

由图 2 可知在微波干燥过程中, 开始时物料含水量快速下降, 相应的干燥速率也迅速升高, 但达到高峰后保持较短的时间干燥速率就逐步下降, 这是由于水分汽化造成物料内部对微波能量的吸收率下降所引起的。并且由图可知, 微波功率越高所需要的干燥时间越短; 但是并不是功率越高越好, 功率过大, 物料很容易由于过度加热被烧焦<sup>[7]</sup>。

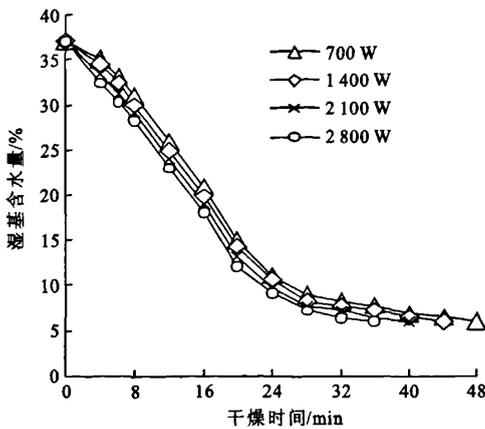


图 2 不同微波功率时草莓含水量随时间的变化曲线  
Fig. 2 Drying curves of different microwave power of strawberry

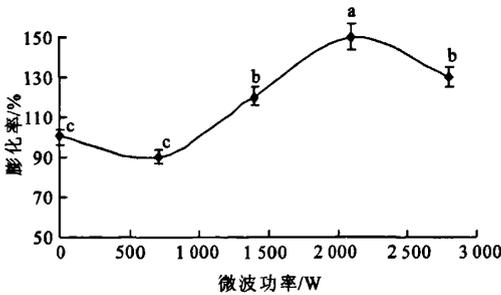


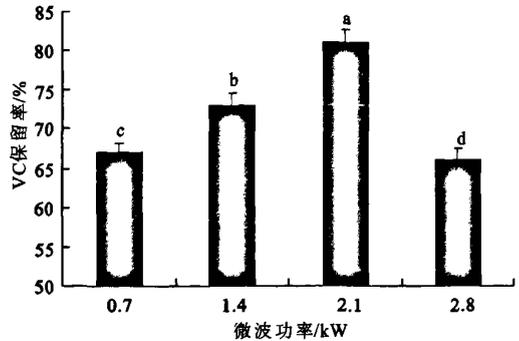
图 3 微波功率对膨化率的影响曲线  
Fig. 3 Expansion ratios with different microwave power

由图 3 可知,微波功率在较大或较小时,膨化率都较小。由图可以看出不同的微波功率下,膨化率存在着显著性差异。在微波功率为 0.7 kW 时,草莓干燥后出现体积收缩的现象,干燥后体积仅为干燥前体积的 90%,因为微波功率过小,内部冰晶体先被解冻,使得水分汽化产生的蒸汽压力不足,导致物料无法膨化而出现体积收缩,只处于被干燥状态。在微波功率为 1.4 kW 时,膨化率为 120%,干燥后体积为干燥前体积的 1.2 倍,稍有膨化;当微波功率增加为 2.1 kW 时,膨化率增大到 150%,达到最大。随着微波功率增大,产生的蒸汽压力增大,形成较大的径向推动力,使得草莓内部组织结构急剧胀大,形成微孔结构,膨化效果也越好。但当微波功率再增加时,膨化率开始下降,在微波功率为 2.8 kW 时,膨化率下降到 128%。微波功率太大产生过大的压力差,从而将物料中的部分水分以液态水形式直接移出表面,削弱了膨化作用<sup>[8]</sup>。

图 4 所示为物料含水率为 37%,真空度为 -0.095 MPa,干燥终水分为 6%(湿基)情况下,冷冻与真空微波联合干燥产品 VC 含量随微波功率的变

万方数据

化情况。对不同微波功率下得到的草莓进行干燥前后 VC 含量的检测,并折算为 VC 保留率,经 SPSS10.0 One-Way ANOVA 分析,S-D-K 检验,不同微波功率下 VC 保留率存在显著性差异( $P < 0.05$ )。



不同字母 a,b,c,d 表示组间存在显著性差异( $p < 0.05$ )

图 4 微波功率对 VC 保留率的影响曲线

Fig. 4 Preservation rate of vitamin C at different power

表 2 不同微波功率下色差分析结果

Tab. 2 Color comparison of dehydrated strawberry products by different microwave power

序号	微波功率/kW	表色参数			色差值 $\Delta E^*$
		$L^*$	$a^*$	$b^*$	
新鲜草莓	44.32	30.78	20.22		
FD 草莓	40.21	35.54	14.72		
1	0.7	30.37	31.33	11.77	7.78
2	1.4	33.21	32.76	13.86	6.95
3	2.1	37.09	33.56	14.94	3.85
4	2.8	35.71	32.08	14.21	6.33

颜色是评价食品质量的重要指标之一,由前面的知识可知色差计测定颜色的原理。由表中可知,无论是完全冻干的产品还是联合干燥后的产品,草莓的亮度都有所降低,红色度增加,黄色度降低。草莓的色泽变化可能由草莓大量失水引起,草莓失水后表面看上去不象新鲜草莓饱满,有光泽,亮度自然下降;失水后红色素被浓缩,致使红色加深,黄色程度被掩蔽<sup>[9]</sup>。

由表 2 可知,与完全 FD 产品的  $L^*$  值相比,联合干燥的产品的  $L^*$  值较小,说明亮度小,褐变度较大,由总色差  $\Delta E^*$  值可得,除了第三组试验产品的总色差值较小外,其他的均较大。各组数据比较可以得出第三组,质量相对较好,即较接近完全 FD 产品。

综合以上可以得出联合干燥较佳的转换为冷

冻干燥后物料的含水率为37%(冷冻干燥了12 h), 后续真空微波干燥条件:真空度-0.095 MPa,微波功率为2.1 kW,干燥时间48 min.

接着降得到的产品与真空冷冻干燥的产品在干燥时间和产品品质等方面进行比较,进一步证实这一干燥方式的可行性<sup>[10-13]</sup>.

2.3 不同干燥方式对草莓干燥过程和品质的影响

2.3.1 干燥时间的比较

在不同干燥时间下,测湿基含水率的变化见图5.

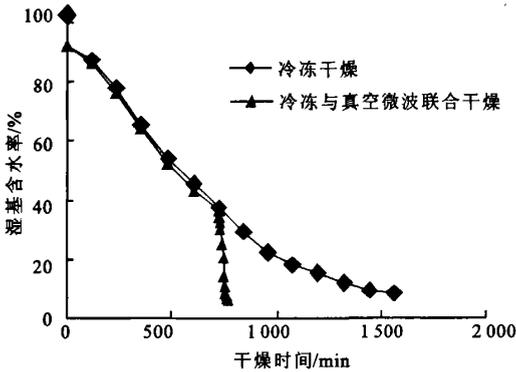


图5 含水率随干燥时间变化曲线

Fig.5 Curve of strawberry's moisture content and drying time

由图5可以看出,FD所需时间为1560 min, 其终产品的含水率为6.5%。FD+VMD所需时间为764 min,其终产品的含水率为5.5%。FD+VMD与FD相比,整个干燥时间缩短了51%,且终产品的含水率低于6%。

2.3.2 不同干燥方式对VC保留率、色差和膨化率的影响

对比不同干燥方式对VC保留率、色差和膨化率的影响见表3。

表3 不同干燥方式对VC保留率、色差和膨化率的影响

Tab.3 Effect of different drying methods on the retention rate of ascorbic acid, color and expansion ratios for the dehydrated strawberry

	VC 保 留率/ %	膨化 率/ %	表色参数			色差 值 ΔE*
			L*	a*	b*	
冷冻干燥	90a	98.6b	40.21a	35.54a	14.72a	
冷冻与真空微波联合干燥	82.7a	150a	37.09a	32.56a	14.94a	3.85

由表格3可以看出,完全冷冻干燥的草莓与联合干燥的草莓在膨化率方面存在显著性差异,与完全FD产品相比VC和色差值方面不存在显著性差异

异,且总色差值 ΔE\* 较小,说明联合干燥的产品的感观及营养方面都较接近于完全的FD产品。

2.3.3 不同干燥方式对脱水草莓制品微生物指标的影响 两种干燥方式的产品微生物指标检测结果表明:冷冻干燥和冷冻与真空微波联合干燥的产品微生物菌落总数分别为12 000 个/g,6 000 个/g,均符合无公害食品脱水蔬菜卫生指标。其中大肠菌群均为阴性,致病菌均为无。所以2种干燥方式,微生物指标均符合产品的卫生标准。

2.4 调味

直接干燥出的草莓太酸,不容易被人接受,故不适合做休闲食品,所以必须进行调味

1)速冻草莓一解冻一糖渍一速冻一联合干燥

得出:草莓解冻组织被破坏,糖渍导致失水细胞壁破裂,最后干燥出的样品,组织致密,收缩严重。

2)干燥后的样品涂膜试验

奶油+奶粉+糖:草莓油腻,含水量增加,口感差。

奶油+巧克力:油腻,口感差

巧克力:香脆可口,效果最好。

3 结 语

1) 冷冻与真空微波联合干燥的脱水草莓在产品品质上接近完全冷冻干燥的草莓,并且还在一定程度上改善了口感,增加了膨化率;使干燥时间缩短了51%,大大降低了能耗。

2)冷冻与真空微波联合干燥的脱水草莓产品质量较好,经初步确定,联合干燥的转换点为冷冻干燥后物料的含水率为37%(冷冻干燥了12 h),后续真空微波干燥条件:真空度-0.095 MPa,微波功率为2.1 kW,干燥时间40 min。

3)接着降得到的产品与真空冷冻干燥的产品在干燥时间和产品品质等方面进行比较,进一步证实了冷冻与真空微波联合干燥的产品可以实现最大程度地接近完全冷冻干燥的产品,并且可以改善口感、增加膨化率;再者可以大大缩短干燥时间,降低能耗。总的来说很具有经济价值。

4)将脱水后的草莓外涂一层白巧克力,缓和酸味,改善了口感。

但是从试验来看,出现部分物料焦糊的现象,说明真空微波加热仍存在着加热均匀性问题,需进一步优化联合干燥工艺,并在真空微波干燥仓内增加一个转动的物料盘,改善微波加热的不均匀性。

## 参考文献(References):

- [1] Litvin S, Mannheim CH, Milta J. Dehydration of carrots by a combination of freeze drying, microwave heating and air or vacuum drying[J]. *Journal of Food Engineering*, 1998, 36 (1): 103-111.
- [2] Ratti C. Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review[J]. *Journal of Food Engineering*, 2001, 49 (4): 311-319.
- [3] Alibas, Ilknur. Microwave, air and combined microwave-air-drying parameters of pumpkin slices[J]. *LWT-food Science and Technology*, 2007, 40 (8): 1445-1451.
- [4] Heredia, A, Barrera, C, Andres, A. Drying of cherry tomato by a combination of different dehydration techniques. Comparison of kinetics and other related properties [J]. *Journal of Food Engineering*, 2007, 80 (1): 111-118.
- [5] 邓凯顺, 顾兰智. 冷冻干燥工艺的原理及应用[J]. 河北化工, 2004(1): 24-25.  
DENG Kai-shun, GU Lan-zhi. Studies on the theory and application of freeze-drying technique[J]. *Journal of Hebei Chemical Industry*, 2004(1): 24-25. (in Chinese)
- [6] 段续, 张慙. 甘蓝微波冷冻干燥工艺与杀菌特性[J]. 食品与生物技术学报, 2007, 26(5): 21-24.  
DUAN Xu, ZHANG Min. Study on the microwave freeze-drying technique and sterilization characteristic of cabbage[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2007, 26 (5) : 21-24. (in Chinese)
- [7] 邹兴华. 太湖银鱼的真空冷冻和真空微波联合干燥[D]. 江南大学, 2005.
- [8] 韩清华, 李树君等. 微波真空干燥膨化苹果脆片的研究[J]. 农业机械学报, 2006, 37(8): 155-159.  
HAN Qing-hua, LI Shu-jun. Microwave vacuum drying and puffing characteristics of apple chips[J]. *Transactions of the chinese society of agricultural machinery*, 2006, 37(8): 155-159. (in Chinese)
- [9] 李共国, 马子骏. 草莓真空冷冻干燥研究[J]. 食品与机械, 2003(3): 18-19.  
LI Gong-guo, MA Zi-jun. Vacuum freeze-drying process of strawberry[J]. *Food and Machinery*, 2003(3): 18-19.
- [10] 胡庆国, 张慙. 不同干燥方式对颗粒状果蔬品质变化的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2006, 25(2): 28-32.  
HU Qing-guo, ZHANG Min. Effect of different drying methods on the quality changes of the granular fruits and vegetables[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2006, 25 (2): 28-32. (in Chinese)
- [11] 徐艳阳, 张慙. 真空冷冻与热风联合干燥草莓[J]. 无锡轻工大学学报(食品与生物技术学报), 2005, 24(1): 45-18.  
XU Yan-yang, ZHANG Min. Experimental studies on treatment of strawberries by a combination drying of vacuum freeze and hot-airflow[J]. *Journal of Wuxi University of Light Industry (Journal of Food Science and Biotechnology)*, 2005, 24 (1): 45-18. (in Chinese)
- [12] 徐艳阳, 张慙. 热风和微波真空联合干燥甘蓝试验[J]. 无锡轻工大学学报(食品与生物技术学报), 2003, 22(6): 64-67.  
XU Yan-yang, ZHANG Min. Studies on combination drying of wild cabbage with hot-air and vacuum microwave[J]. *Journal of Wuxi University of Light Industry (Journal of Wuxi University of Light Industry (Journal of Food Science and Biotechnology))*, 2003, 22 (6) : 64-67. (in Chinese)
- [13] 王玉坤, 张放, 祝庭耀. 国内草莓生产现状与发展趋势[J]. 北方园艺, 2003(6): 6-7.  
WANG Yu-kun, ZHANG Fang, ZHU Ting-yao. Current status and development trend of chinese strawberries[J]. *North Gardening*, 2003(6): 6-7. (in Chinese)

(责任编辑: 杨萌)