

文章编号:1671-1513(2011)05-0056-05

马蹄真空冷冻干燥实验的研究

陈学玲, 何建军, 关健, 梅新, 程薇,
熊光权, 叶丽秀, 陈玉霞

(湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所/湖北省农业科技创新中心
农产品加工研究分中心,湖北武汉 430064)

摘要:利用真空冷冻干燥技术对马蹄进行保鲜加工研究. 利用电阻法测量了马蹄的共晶点和共熔点,采用 $L_{12}(3^5)$ 正交试验方法,研究了影响冻干产品质量和设备生产能力的主要参数,评定了冻干产品的含水量、外观、复水性等特性. 实验结果表明,马蹄冻干的最佳工艺为:速冻温度 $-36\text{ }^\circ\text{C}$,速冻时间 20 h,干燥升华时仓压 $(120 \pm 10)\text{ Pa}$;干燥解析时仓压 $(40 \pm 10)\text{ Pa}$,解析时的搁板温度 $50\text{ }^\circ\text{C}$,干燥时间 14 h.

关键词:真空冷冻干燥;马蹄;工艺

中图分类号: TS255.3

文献标志码: A

马蹄,又名荸荠、地栗、乌芋等,原产于中国南部及印度. 马蹄因其个大、皮薄肉嫩、水分充足、清甜无渣和爽脆可口而著名. 此外,马蹄还是果蔬兼用型食品,具有独特的风味,深受消费者喜爱. 马蹄皮薄汁多,易失水萎缩和腐烂变质,不耐贮藏,在鲜销、贮藏和加工过程中原料损耗大,迫切需要保鲜加工新技术,延长贮藏期.

为延长马蹄贮藏期或留种需要,人们常用的贮藏方法有沙藏法、窖藏法、堆藏法、溶液保鲜法、冷藏保鲜法和真空包装法等. 吴锦铸^[1]将去皮马蹄漂烫后进行速冻保鲜;杨寿清^[2]使用自制的洗果剂和保鲜剂对马蹄进行保鲜处理,研究其常温贮藏效果;庞学群^[3]研究了对切分马蹄的防褐变技术;徐山宝等^[4]研究了复合护色液对鲜切马蹄的保鲜效果. 本实验室研究发现^[5],同时使用杀菌剂、真空包装和冷藏等几种方法保鲜马蹄,效果更佳.

真空冷冻干燥技术可以最大限度地保持新鲜原料的色、香、味和营养,冻干产品复水性好,可常温贮

藏 3~5 年,从而达到保鲜加工的目的. 国内外已报道应用该技术保鲜加工的果蔬较多,如香蕉^[6]、龙眼^[7]、猕猴桃^[8]、大蒜^[9]、香菇^[10]和莲子^[11]等,但有关马蹄真空冷冻干燥技术的研究尚未见报道. 本文在前期单因素研究的基础上,系统研究马蹄真空冷冻干燥工艺,采用自制电阻测量装置测定了马蹄的共晶点和共熔点,据此确定马蹄速冻温度范围;设计了 $L_{12}(3^5)$ 正交试验研究影响产品质量和设备生产能力的主要参数,采用极差法分析了速冻温度、速冻时间、干燥升华时仓压、干燥解析时仓压和解析时搁板温度等参数,并评定了冻干产品的含水量、外观、复水性等特性. 通过本研究以期解决马蹄保鲜加工的难题,为实际生产提供技术支持.

1 材料与方 法

1.1 仪器与材料

Delta 1-24 型冻干机,德国 Christ;直径 360 mm

收稿日期:2011-05-23

基金项目:农业部 948 资助项目(2003-Z78);湖北省研究与开发计划项目(2010BBB016).

作者简介:陈学玲,女,助理研究员,硕士,主要从事果蔬加工与贮藏方面的研究;

程薇,女,研究员,主要从事农产品加工与贮藏方面的研究. 通讯作者.

圆形装料盘;BD-25LTB型低温冷冻柜,海尔公司.市售马蹄.

1.2 共晶点和共熔点的测定

采用自制电阻测量装置来测定实验材料的共晶点和共熔点.在实验材料冻结过程中,记录温度和电阻随时间的变化情况,当温度下降到一定值时,电阻值突然增大,此时为共晶点温度,表示实验材料的水分几乎全部冻结为冰;给实验材料加热,当温度上升到一定值时,电阻值突然减少,此时为共熔点温度^[9,12].根据实际操作经验,真空冷冻干燥过程中的速

冻(预冻)温度一般为共晶点温度以下20℃左右.

1.3 马蹄真空冷冻干燥工艺流程

新鲜马蹄→清洗→去皮→目选分级→杀菌→护色保鲜→沥水→装盘→速冻→装仓→真空冷冻干燥→出仓→选检分级→包装.

1.4 工艺参数优化实验设计

真空冷冻干燥实验中,影响产品质量和设备生产能力的主要参数有:速冻温度、速冻时间、干燥升华时仓压、干燥解析时仓压和解析时的搁板温度.为此设计了 $L_{12}(3^5)$ 正交试验,实验因素水平见表1.

表1 因素水平表

Tab.1 Factors and levels

水平	因素				
	速冻温度/℃	速冻时间/h	干燥升华时仓压/Pa	干燥解析时仓压/Pa	解析时的搁板温度/℃
	A	B	C	D	E
1	-32	12	110~130	30~50	40
2	-36	16	90~110	50~70	45
3	-40	20	70~90	70~90	50

1.5 产品特性评定方法

1.5.1 产品的含水量

按GB 5009.3 85测定产品的水分含量,由10名专业人员根据测定结果与产品的标准相比较进行评分(总分20分),取其平均值.

1.5.2 产品的外观

由10名专业人员根据产品的颜色、形态进行评分(总分30分),取其平均值.

1.5.3 干燥时间

由10名专业人员根据产品干燥时间的长短进行评分(总分20分),取其平均值.

1.5.4 产品的复水性

将产品在25℃水温条件下复水,由10名专业人员根据产品的复水时间、复水比、复水后产品的外观和感官等情况对产品进行评分(总分30分),取其平均值.

2 结果与讨论

2.1 共晶点和共熔点

共晶点和共熔点是物料在冻结和升温这两个相反的物理变化过程中电阻值发生突变时的温度.测量马蹄共晶点和共熔点时,其电阻值随温度的变化

规律如图1和图2.

图1 降温时马蹄电阻随温度变化情况

Fig.1 Resistance curve during cooling

冻结过程分为3个阶段:晶核形成阶段、大冰晶成长阶段和共晶区阶段^[9,12].由图1可看出,在第I阶段电阻值随温度下降的变化不大,这是由于物料内部还存在大量水分,有较多带电离子可自由移动;第II阶段电阻值随温度下降明显增大,此时因有大量冰晶形成并不断增长,释放结晶潜热,使内部温度下降减缓,物料内部水分因冻结使得电阻值持续增长;第III阶段电阻值发生突变,因物料内部水分逐渐全部冻结,相应的温度值就是共晶温度区.因此,由图1中电阻值与温度的变化关系可得出马蹄的共

晶点为 $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$.

由图2可见,冻结马蹄的升温过程分为两个阶段. 第I阶段冰晶吸收了大量热量,当物料内部开始出现水分时,电阻值发生突变,相应的温度值就是共熔温度;第II阶段大量冰晶逐渐变成水分,电阻值逐渐减小至零. 因此,马蹄共熔点为 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.2 冻干工艺参数优化结果分析

冻干工艺参数优化分析见表2. 由表2可以得出,马蹄冻干过程中各因素对产品的含水量影响最大的是干燥解析时仓压;对产品外观影响最大的因素为速冻时间、干燥升华时仓压或干燥解析时仓压;对干燥时间影响最大的因素是解析时搁板温度;各因素对产品的复水性影响最大为速冻温度或解析时

图2 升温时马蹄电阻随温度变化情况

Fig.2 Resistance curve during warming

表2 冻干马蹄 $L_{12}(3^5)$ 正交试验数据

Tab.2 $L_{12}(3^5)$ orthogonal scheme of data processing for FD water chestnut

实验	实验条件					感官指标评分				总分
	速冻温度	速冻时间	干燥升华仓压	干燥解析仓压	解析时物料温度	产品的含水量(20)	产品外观(30)	干燥时间(20)	产品的复水性(30)	
1	1	1	1	1	1	17	25	18	24	84
2	1	1	2	3	1	18	25	17	25	85
3	1	2	3	2	1	17	25	17	24	83
4	1	3	1	1	1	17	25	18	25	85
5	2	1	1	1	3	18	26	18	26	88
6	2	1	2	3	3	19	25	19	24	87
7	2	2	3	2	3	18	25	18	26	87
8	2	3	1	1	3	17	26	19	25	87
9	3	1	1	1	2	17	26	17	26	86
10	3	1	2	3	2	18	24	18	25	85
11	3	2	3	2	2	17	24	18	25	84
12	3	3	1	1	2	19	26	18	26	87
C	k_1	17.5	17.8	17.7	17.5	17.5				
	k_2	18.0	17.7	18.3	17.3	17.8				
	k_3	17.8	17.7	17.7	18.3	18.0				
	R	0.5	0.1	0.6	1.0	0.5				
F	k_1	25.0	25.2	25.7	25.7	25.0				
	k_2	25.5	24.7	24.7	24.7	25.0				
	k_3	25.0	25.7	24.7	24.7	25.5				
	R	0.5	1.0	1.0	1.0	0.5				
T	k_1	17.5	17.8	18.0	18.0	17.5				
	k_2	18.5	17.7	18.0	17.7	17.8				
	k_3	17.8	18.3	17.7	18.0	16.0				
	R	1.0	0.6	0.3	0.3	1.8				
R	k_1	24.5	25.0	25.3	25.4	24.5				
	k_2	25.3	25.0	24.7	25.0	25.5				
	k_3	25.5	25.3	25.0	24.7	25.3				
	R	1.0	0.3	0.6	0.7	1.0				
TT	k_1	84.3	85.8	86.2	86.2	84.3				
	k_2	87.3	84.7	85.7	84.7	83.0				
	k_3	83.0	86.3	84.7	85.7	87.3				
	R	4.3	1.6	1.5	1.5	4.3				

注:C—产品的含水量;F—产品的外观;T—产品的干燥时间;R—产品的复水性;TT—总分.

搁板温度;对产品评价总分影响最大的因素是速冻温度或解析时搁板温度. 经过极差分析,确定最优的水平组合为:产品的含水量— $A_2B_1C_2D_3E_3$;产品的外观— $A_2B_3C_1D_1E_3$;产品的干燥时间— $A_2B_3C_1(C_2)D_1(D_3)E_2$;产品的复水性— $A_3B_3C_1D_1E_2$. 综合考虑各因素,冻干马蹄最佳工艺条件可确定为: $A_2B_3C_1D_1E_3$.

2.3 冻干曲线

在上述 $A_2B_3C_1D_1E_3$ 工艺条件下测得的马蹄冻干曲线如图3、图4,图中反映了马蹄冻干过程中物料温度、搁板温度、冷阱温度、干燥仓压力、冷阱压力等随时间变化的规律.

图3 马蹄冻干过程压力变化趋势

Fig. 3 Pressure curve while freeze-drying of Water Chestnut

图4 马蹄冻干过程温度变化趋势

Fig. 4 Temperature curve while freeze-drying of Water Chestnut

由图3和图4可知,马蹄冻干过程可分为2个阶段:从开始干燥至5.0 h为主干燥阶段,其中0~1.0 h为物料表面冰晶慢速升华阶段,搁板未加热,避免因加热过快导致物料冰晶融化或物料发生崩解,因此冻结物料与搁板之间传热,导致干燥仓压力下降,此时冰晶升华速度缓慢;1.0~5.0 h为物料冰

晶快速升华阶段,搁板低速加热,物料中大量冰晶获得热能开始升华,干燥仓内压力和冷阱温度均因大量水汽的产生经历了一个先升高后降低的过程. 主干燥的时间主要由物料的厚度、物料的固形物含量、搁板的加热温度、干燥仓的压力等决定. 5.0~14.0 h为后干燥阶段,此阶段物料温度持续上升,直至冻干结束时逐渐接近加热搁板温度,物料的温度基本保持不变,传热和传质基本达到平衡. 判断冻干是否结束的方法:关闭干燥仓与冷阱之间的阀门,观察干燥仓的压力升高情况,如果干燥仓的压力没有明显的升高,则说明干燥已基本完成,可以结束冻干.

据此冻干曲线作冻干马蹄实验,所得到的冻干马蹄含水量为4.0%,在25℃下复水时间为15 min,复水后的感观、质地、口感近似新鲜马蹄,产品品质较好.

3 结论

采用电阻法测量马蹄的共晶点和共熔点,冻结过程经历晶核形成、大冰晶成长和共晶区共3个阶段,冻结马蹄升温过程亦分为2个阶段. 由电阻值随温度的变化规律可得,马蹄的共晶点和共熔点分别为-16℃和-10℃.

实验发现马蹄冻干过程中各因素对产品的含水量影响最大的是干燥解析时仓压;对产品外观影响最大的因素为速冻时间、干燥升华时仓压或干燥解析时仓压;对干燥时间影响最大的因素是解析时搁板温度;各因素对产品的复水性影响最大为速冻温度或解析时搁板温度;对产品评价总分影响最大的因素是速冻温度或解析时搁板温度.

通过极差分析得出真空冷冻干燥马蹄的最佳工艺为:速冻温度-36℃,速冻时间为20 h,干燥升华时仓压110~130 Pa;干燥解析时仓压为30~50 Pa,解析时的搁板温度为50℃;干燥时间14 h. 此工艺条件下冻干马蹄复水后的外观、质地、口感近似新鲜马蹄.

参考文献:

- [1] 吴锦铸. 速冻荸荠的生产工艺[J]. 中国农村科技, 2002(4):40.
- [2] 杨寿清. 荸荠常温保鲜技术[J]. 无锡轻工大学学报,

- 2003,22(6):92-95.
- [3] 庞学群. 防褐变处理对切分马蹄、马铃薯低温贮藏期间褐变度影响[J]. 食品科学,2002(4):126-129.
- [4] 徐山宝,吴立根,王岸娜. 鲜切荸荠保鲜工艺技术的研究[J]. 农产品加工,2007,11:37-39.
- [5] 陈学玲,何建军,周明,等. 荸荠的贮藏保鲜研究[J]. 湖北农业科学,2007,46(4):610-611.
- [6] 陈仪男. 冻干香蕉共晶点和共熔点的研究[J]. 华南热带农业大学学报,2007,13(1):9-12.
- [7] 陈仪男. 龙眼真空冷冻干燥工艺优化[J]. 农业工程学报,2008,9:244-248.
- [8] 彭帮柱,岳田利,袁亚宏. 猕猴桃切片真空冷冻干燥工艺参数优化[J]. 农业机械学报,2007,38(4):98-102.
- [9] 朱文学,程远霞,谢秀英. 大蒜冷冻干燥工艺的试验研究[J]. 农业机械学报,2002(2):67-68.
- [10] 宫元娟,王博,林静,等. 香菇冷冻干燥工艺参数的试验研究[J]. 农业工程学报,2004(1):226-229.
- [11] 何建军,程薇,陈学玲,等. 莲子真空冷冻升华干燥工艺的研究[J]. 湖北农业科学,2006,45(2):240-244.
- [12] 程远霞,王国华. 食品共晶、共熔温度测定试验研究[J]. 淮海工学院学报,2001,12:44-46.

Study on Freeze-drying of Water Chestnut

CHEN Xue-ling, HE Jian-jun, GUAN Jian, MEI Xin, CHENG Wei,
XIONG Guang-quan, YE Li-xiu, CHEN Yu-xia

(Research Institute of Agricultural Products Processing and Nuclear-Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences/Agricultural Products Processing Subordinate Center, Hubei Agricultural Science and Technology Innovation Center, Wuhan 430064, China)

Abstract: Water Chestnut were stored and processed by Freeze-drying. Eutectic point and consolute point were measured by resistivity method. The main factors affecting the properties of freeze-drying product and production capacity of the equipment were studied using $L_{12}(3^5)$ orthogonal experiments. Water content of product, product form, rehydration character were evaluated. The optimal technics for freeze-drying Water Chestnut were following: deep freeze temperature $-36\text{ }^{\circ}\text{C}$, deep freeze time 20 h, pressure of drying room while vacuum sublimation drying (120 ± 10) Pa, pressure of drying room while vacuum resolution drying (40 ± 10) Pa, shelf temperature while vacuum resolution drying $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, drying time 14 h.

Key words: freeze-drying; Water Chestnut; technics

(责任编辑:檀彩莲)