

猕猴桃热风干燥与冷冻干燥的实验研究

周国燕, 陈唯实, 叶秀东, 肖鑫, 华泽钊

(上海理工大学食品与低温生物技术研究所, 上海 200093)

摘 要: 本研究对真空冷冻干燥和热风干燥猕猴桃切片进行了对比实验, 比较了不同冷冻干燥工艺和热风干燥工艺下猕猴桃 VC 损失率和干燥速率。实验发现热风干燥实验中, 厚度、温度和对流情况三个因素对干燥速率和 VC 损失率两个指标都有显著影响 ($p < 0.01$)。最佳猕猴桃热风干燥工艺条件是: 猕猴桃切片厚度取中间值 6mm, 温度取高值 70℃, 对流情况取加风。冷冻干燥实验中, 厚度、一次干燥温度对干燥速率有显著影响 ($p < 0.05$), 冻结速率无显著影响。厚度、一次干燥温度和降温速率对 VC 损失率有显著影响 ($p < 0.05$)。最佳猕猴桃真空冷冻干燥工艺条件是: 猕猴桃切片厚度取中间值 8mm, 一次干燥温度 -10℃, 冻结降温速率取快速冻结。热风干燥的平均干燥速率远远大于冻干实验结果。冷冻干燥的 VC 损失率大大小于热风干燥过程。

关键词: 猕猴桃; 真空冷冻干燥; 热风干燥; 干燥速率; VC

Study on Freeze-drying and Hot-air Drying Kiwi-fruit Slice

ZHOU Guo-yan, CHEN Wei-shi, YE Xiu-dong, XIAO Xin, HUA Ze-zhao

(Institute of Cryomedicine and Food Refrigeration, Shanghai University of Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: In this paper the hot-air drying and freeze drying of kiwi-fruit slices are comparatively studied. The VC loss ratio and drying rate are taken as criterion. In hot-wind drying experiment, drying rate and VC loss ratio are significantly influenced by thickness of sample, temperature of process and convectional condition ($p < 0.01$). In freeze drying experiment, the thickness of sample and the primary drying temperature influence both the drying rate and VC loss ratio, and the VC loss also influences by freezing rate ($p < 0.05$). The ideal processing parameter are 6 mm thick, 70℃ temperature and enhanced the convection in hot-air drying process, and 8 mm thick, -10℃ primary drying temperature and quick freezing in freeze drying. The drying rate in freeze drying is less than in hot-wind drying but the VC loss ration in freeze drying is better than in hot-wind drying.

Key words kiwi-fruit; freeze-drying; hot-air drying; drying rate; ascorbic acid; VC

中图分类号: S663.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2007)08-0164-04

猕猴桃营养价值很高, 其 VC 含量比一般水果高出几倍甚至 100 倍^[1]。热风干燥和真空冷冻干燥是食品保藏和加工的常见手段^[2-3]。为了比较二者对干燥猕猴桃的品质的不同影响, 本研究比较真空冷冻干燥和热风烘干

的猕猴桃干燥速率和 VC 损失率。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂与仪器

收稿日期: 2007-05-09

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(50206013); 上海市重点学科建设项目(T0503)

作者简介: 周国燕(1970-), 女, 副教授, 博士, 研究方向为食品冷冻冷藏。

Station, 1996: 1686-1687.

[5] MEZZETTI T, ORZALESI G, BELLAVITA V. Chemistry of ursolic acid[J]. *Planta Medica*, 1971, 20(3): 244-252.

[6] HARRY R G, COSMETIC M. Their origin, characteristics, uses, and dermatological action[M]. New York: Chemical Publishing Co, Inc, NY, 1963.

[7] 王鹏, 张忠义, 吴忠. 熊果酸在药用植物中的分布及药理作用[J]. 中

药材, 2000, 23(11): 717-722.

[8] SUBBARAMAISH K. Ursolic acid inhibits cyclooxygenase-2 transcription in human mammary epithelial cells[J]. *Cancer-Res*, 2000, 60(9): 2399.

[9] MA C. Inhibitory effects of constituents from *Cynomorium songaricum* and related triterpene derivatives on HIV-1 protease[J]. *Chem-Pharm-Bull-Tokyo*, 1999, 47(2): 141.

新西兰猕猴桃(350g左右/个) 市售。

2,6-二氯酚(AR) Sigma-Aldrich公司; 标准VC (AR) 中国医药集团上海化学试剂公司。

中型冷冻干燥机 上海东富龙有限公司; 电热恒温鼓风干燥箱 DHG-9203; UV-1700 紫外分光光度计 岛津公司。

1.2 方法

1.2.1 热风干燥方法

新鲜猕猴桃去皮后切片, 厚度分别为3、6、8、12mm; 烘干在干燥箱中进行, 控制温度分别为50、60、70℃三组, 空气对流分为加风和不加风两种情况。烘干至30min内质量不再变化为止。

1.2.2 真空冷冻干燥方法

新鲜猕猴桃去皮后切片, 厚度分别为4、6、8、10mm; 分别以-20℃/h和-83℃/h的降温速率冷冻至-30℃, 放入真空室进行干燥, 真空室内的真空度为15~60Pa, 一次干燥的加热搁板温度分别为-10、-20℃, 冷阱温度-40℃。干燥10h后, 调搁板温度到二次干燥温度30℃。整个干燥过程为16h。

1.2.3 VC含量的测量

测定采用2,6-二氯酚比色法^[4]。

每100g样品中VC的量(mg)

$$M = \frac{(V - V_0) \times A \times 100 \times T}{W}$$

式中, V为滴定时所加入的染料溶液的量(ml); V₀为实验所耗去染料溶液的量(ml); A为1ml染料溶液相当于VC标准溶液的量(ml); W为猕猴桃的样品重量; T为稀释倍数。

1.2.4 干燥速率的测定

在热风干燥过程中, 每隔30min取样, 称重, 30min内质量不再变化为干燥终点。在冻干过程中, 每隔30min取样, 称重, 干燥过程为16h。

干燥速率 R(g/h) = (W₁ - W₂) / t / W_d,

式中, W₁为新鲜物料的质量; W₂为干燥时刻为t时物料的质量; W_d为干物料的质量; t为干燥时间。

2 结果与分析

猕猴桃热风干燥实验结果如表1所示。猕猴桃冷冻干燥实验结果如表2所示。对结果分别以干燥速率和VC损失率为指标的极差分析, 同时用MINTAB软件进行方差分析, 分析结果一起汇总在表中。

2.1 猕猴桃热风干燥实验结果与分析

从方差分析结果可知, 厚度、温度和对流情况三个因素对干燥速率和VC损失率两个指标都有显著影响(p < 0.01)。

表1 不同条件下猕猴桃热风干燥的干燥速率和VC损失率
Table 1 Drying rate and VC loss ratio of hot-air dried kiwi-fruit slice

试验号	厚度 (mm)	温度 (℃)	对流情况	干燥速率 (g/h)	VC 损失率 (%)
1	1(3)	1(50)	1(加风)	0.57	68.95
2	1	1	2(不加风)	0.31	55.11
3	1	2(60)	1	0.89	89.1
4	1	2	2	0.65	75.07
5	1	3(70)	1	1.05	71.27
6	1	3	2	0.52	57.7
7	2(6)	1	1	0.48	54.61
8	2	1	2	0.27	36.03
9	2	2	1	0.7	76.51
10	2	2	2	0.45	61.36
11	2	3	1	0.77	62.84
12	2	3	2	0.43	48.85
13	3(8)	1	1	0.4	66.35
14	3	1	2	0.19	55.76
15	3	2	1	0.59	81.66
16	3	2	2	0.34	72.23
17	3	3	1	0.58	55.71
18	3	3	2	0.41	34.9
19	4(12)	1	1	0.36	76.21
20	4	1	2	0.17	75.46
21	4	2	1	0.45	84.02
22	4	2	2	0.28	79.11
23	4	3	1	0.49	66.16
24	4	3	2	0.3	62.29
干	K ₁	3.99	2.75	7.33	
燥	K ₂	3.1	4.35	4.01	
速	K ₃	2.51	4.55		
率	K ₄	2.05			
的	k ₁	0.67	0.34	0.61	
极	k ₂	0.52	0.54	0.33	
差	k ₃	0.42	0.57		
分	k ₄	0.34			
析	R	0.33	0.23	0.28	
V	K ₁	417.2	488.48	853.39	
C	K ₂	340.2	619.06	658.76	
损	K ₃	366.61	459.72		
失	K ₄	443.25			
率	k ₁	69.53	61.06	71.12	
的	k ₂	56.7	77.38	54.90	
极	k ₃	61.10	57.47		
差	k ₄	73.88			
分	R	17.18	19.91	16.22	

2.1.1 厚度、温度和对流情况对干燥速率的影响

从表1极差分析结果看出, 对热风干燥速率影响的程度从大到小依次是厚度(R=0.32), 对流情况(R=0.28)和温度(R=0.23)。对干燥速率来说, 厚度越薄越好, 温度越高越好, 加风的结果比不加风的好。具体分析如下。

厚度对干燥速率的影响: 从表1极差分析结果看出, 猕猴桃切片越薄, 干燥速率越快。随厚度增加, 干燥速率在逐渐下降。干燥时间与厚度成正比, 厚度

越厚,干燥时间越长。因为在干燥温度足够高的情况下,物料干燥主要由传质过程决定,物料厚度越小,则水分从物料中移出的路程越短,速度也就越快^[5]。

温度对干燥速率的影响:由表1极差分析结果可以看出,在热风干燥中,随温度升高,猕猴桃的干燥速率快,失水速度加快。这是由于干燥开始阶段,加热介质将热量传给物料表面,使其温度升高,表面的水分吸收热量后动能增加,最后蒸发而脱离物料表面,温度越高,表面水分蒸发越快;随着干燥的进行,表面水分逐渐减少,物料内部与表面形成了湿度梯度,促使水分在物料内部移动,温度越高,湿度梯度越大,水分移动就越快。

对流强度对干燥速率的影响:加风干燥过程的干燥速率比没有加风的速率大,因为加风增加了物料表面对流强度。

2.1.2 厚度、温度和对流情况对VC损失率的影响

从表1极差分析结果看出,对VC损失率影响的程度从大到小依次是温度($R=19.92$),厚度($R=7.18$)和对流情况($R=6.22$)。

对VC损失率来说,温度高好,中间厚度好,不加风的结果比加风的好。具体分析如下。

温度对VC损失率的影响:由表1极差分析结果可以看出,在热风干燥过程中,随着温度的升高,猕猴桃的VC损失率随着烘箱温度的升高先升后降。这可能是因为干燥过程中物料由于过高的表面温度形成的表面硬化所致,硬化形成后会阻止内部的水分向外迁移,导致干燥时间的延长,且物料表面温度过高会使内部结构出现裂缝,使得更多的氧气可以进入物料的内部从而使VC因为氧化而遭到破坏。但进一步升高干燥温度可以大幅度减少干燥过程所用的时间,保护VC不受破坏。

厚度对VC损失率的影响:从结果中看出,厚度从3mm增加到6mm时VC损失率减少,厚度再增加时,VC损失率反而增加,中间厚度的结果最好。这说明物料厚度的增加在一定程度上有利于保护VC,厚度继续增大会使VC的损失增加,可能因为厚度过大会延长干燥的时间,导致物料长时间受热。

对流强度对VC损失率的影响:加风处理过的物料的VC损失比不加风的物料的VC损失大,因为加大空气对流强度同时也加大了氧气的浓度,在有氧的条件下,VC更容易被破坏。

2.1.3 猕猴桃热风干燥最佳工艺条件

总结上面的分析,对干燥速率最佳的工艺条件是:厚度3mm,温度70℃,加风。对于VC损失率最佳的工艺条件是:温度70℃,中间厚度6mm,不加风。

综合考虑这两个指标,确定最佳猕猴桃热风干燥工艺条件,猕猴桃切片厚度取中间值6mm,温度取高值70℃,因为对流情况对干燥速率影响是第二重要因素,而对VC损失率是最次要的影响因素,所以取对干燥速率影响的较好值,即加风。

2.2 猕猴桃冷冻干燥实验结果与分析

从方差分析结果可知,厚度、一次干燥温度对干燥速率有显著影响($p < 0.05$),冻结速率无显著影响。厚度、一次干燥温度和降温速率对VC损失率有显著影响($p < 0.05$)。

2.2.1 厚度、一次干燥温度和降温速率对干燥速率的影响

表2 不同条件下猕猴桃真空冷冻干燥的干燥速率和VC损失率
Table 2 Drying rate and VC loss ratio of freeze-dried kiwi-fruit slice

试验号	厚度 (mm)	一次干燥 温度(℃)	降温速率 (℃/h)	干燥速率 (g/h)	VC损失率 (%)
1	1(4)	1(-10)	1(-20.1)	0.36	53.53
2	1	2(-20)	2(-83.4)	0.26	52.26
3	2(6)	1	1	0.4	55.37
4	2	2	2	0.32	47.71
5	3(8)	1	2	0.49	5.29
6	3	2	1	0.42	56.37
7	4(10)	1	2	0.38	12.06
8	4	2	1	0.35	68.39
干燥速率极差分析	K ₁	0.62	1.63	1.53	
	K ₂	0.66	1.35	1.45	
	K ₃	0.72			
	K ₄	0.81			
	k ₁	0.31	0.4075	0.3825	
	k ₂	0.33	0.3375	0.3625	
	k ₃	0.36			
	k ₄	0.405			
	R	0.095	0.07	0.02	
	方差分析 p	0.033	0.025	0.216	
VC损失率极差分析	K ₁	105.79	126.25	233.66	
	K ₂	103.08	224.73	117.32	
	K ₃	61.66			
	K ₄	80.45			
	k ₁	52.895	31.5625	58.415	
	k ₂	51.54	56.1825	29.33	
	k ₃	30.83			
	k ₄	40.225			
	R	22.065	24.62	29.085	
	方差分析 p	0.038	0.007	0.005	

从表2极差分析结果看出,对冷冻干燥速率影响的程度从大到小依次是厚度($R=0.095$),一次干燥温度($R=0.07$)和冻结降温速率($R=0.02$)。对干燥速率来说,厚度越厚越好,一次干燥温度越高越好,冻结速率越慢越好,但从方差分析中知道,冻结速率影响不显著。具体分析如下。

物料厚度对干燥速率的影响: 如表2极差分析结果所示, 干燥速率随厚度增加而增加。这可能是因为厚度的增加加大了物料的表面积。有文献指出, 在一次干燥过程中, 水蒸气由升华界面经过冰晶形成的空隙逸出物料, 物料表面积增大, 使比表面积增大及水蒸汽逸出的通道增加^[6]。

一次干燥温度对干燥速率的影响: 由表2极差分析结果可以看出, 随着真空室内搁板温度的升高, 猕猴桃的干燥速率加快。这是由于温度升高, 单位时间内传递的热量增加, 单位时间内升华的冰晶量也相对增加。

降温速率对干燥速率的影响: 慢速降温的物料的干燥速率会略大于快速降温过程的, 但没有显著差异。因为慢速降温过程较之快速降温过程, 物料内所产生的冰晶的体积大, 形成的内部孔径也大, 所以干燥过程中水蒸汽逸出的通道大, 蒸发的速度快^[7]。

2.2.2 厚度、一次干燥温度和降温速率对VC损失率的影响

从表2极差分析结果看出, 对冷冻干燥VC损失率影响的程度从大到小依次是冻结降温速率($R=29.09$), 一次干燥温度($R=24.62$)和厚度($R=22.07$), 和方差分析结果一致。冻结速率影响不显著。对VC损失率来说, 冻结速率越快越好, 一次干燥温度越高越好, 中间厚度好。具体分析如下。

降温速率对VC损失率的影响: 由表2极差分析结果可以看出, 在冷冻干燥过程中, 降温速率对VC的损失有很大的关系, 快速降温过程后得到物料的VC保存情况要优于慢速降温过程。因为, 快速降温后, 物料内部形成的冰晶体积小, 有利于保护细胞的活性及成分。

一次干燥温度对VC损失率的影响: 由表2可知, 较高的一次干燥温度有利于VC的保护, 因为一次干燥温度越高, 物料表面与冷阱的压力差越大, 干燥时间越短。

物料厚度对VC损失率的影响: 如表2所示随着物料厚度的增加, VC的损失大体上呈现先降后升的趋势。在8mm水平上, VC的损失率最低。可能的原因是一定的厚度有利于在二次干燥过程中保护内部的VC不会受热分解, 而厚度过大的话, 不利于物料的快速降温, 从而形成的大的冰晶, 使VC受到破坏^[8]。

2.2.3 猕猴桃真空冷冻干燥最佳工艺条件

总结上面的分析, 猕猴桃真空冷冻干燥对干燥速率最佳的工艺条件是: 厚度10mm, 一次干燥温度 -10°C , 冻结降温速率慢速冻结。对于VC损失率最佳的工艺条件是: 厚度8mm, 一次干燥温度 -10°C , 冻结降温速率快速冻结。综合考虑这两个指标, 确定最佳猕猴桃

真空冷冻干燥工艺条件, 猕猴桃切片厚度取中间值8mm, 一次干燥温度 -10°C , 冻结降温速率取快速冻结。实验结果中这个工艺条件的实验结果是最优的, 与我们分析的结论一致。

2.3 猕猴桃热风干燥和真空冷冻干燥比较

比较热风干燥和冻干实验结果, 前者的平均干燥速率远远大于后者。可以考虑在冻干的后期将物料采用热风干燥的方法, 缩短干燥时间。

热风干燥后得到的物料, VC的损失率普遍很大, 各条件下损失率均在50%以上。冻干后得到的VC损失率大大小于热风干燥过程。

综合考虑干燥速率和VC损失, 在前期采用冻干的方法, 有利于保护物料的VC不受到破坏, 在一次干燥结束后, 采用热风干燥的方法有利于提高干燥的速率。

3 结 论

对真空冷冻干燥和热风干燥猕猴桃切片进行了对比实验研究, 比较了不同冷冻干燥工艺和热风干燥工艺下猕猴桃VC损失率和干燥速率。实验得到如下结论。

热风干燥实验中, 厚度、温度和对流情况三个因素对干燥速率和VC损失率两个指标都有显著影响($p < 0.01$)。最佳猕猴桃热风干燥工艺条件是: 猕猴桃切片厚度取中间值6mm, 温度取高值 70°C , 对流情况取加风。

冷冻干燥实验中, 厚度、一次干燥温度对干燥速率有显著影响($p < 0.05$), 冻结速率无显著影响。厚度、一次干燥温度和降温速率对VC损失率有显著影响($p < 0.05$)。最佳猕猴桃真空冷冻干燥工艺条件是: 猕猴桃切片厚度取中间值8mm, 一次干燥温度 -10°C , 冻结降温速率取快速冻结。

热风干燥的平均干燥速率远远大于冻干实验结果。冷冻干燥的VC损失率大大小于热风干燥过程。

参考文献:

- [1] 黄宏文. 猕猴桃研究进展[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [2] 钟葵, 何杰. 热风干燥和真空冷冻干燥对萝卜片复水性和品质影响研究[J]. 食品工业科技, 2003(1): 181-185.
- [3] CHOKRI H, FREDERIC R. Determination of freeze-drying process variables for strawberries[J]. Journal of Food Engineering, 1997, 32: 133-154.
- [4] GB8210-87 出口柑橘鲜果检测方法[S].
- [5] 赵玉生, 王云霞. 山楂热风干燥工艺研究[J]. 食品科技, 2000(2): 29-30.
- [6] LORENTZEN J. Freeze-drying of foodstuffs, quality and economics in freeze-drying[J]. Chemistry and Industry, 1979, 14: 465-468.
- [7] 华泽钊, 李云飞, 刘宝林. 食品冷冻冷藏原理与设备[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.
- [8] 李忠宏. 猕猴桃果浆冻干过程中VC和叶绿素的损失规律[J]. 西南农林科技大学学报, 2003(2): 143-145.