

## 生姜真空冷冻干燥过程影响因素的试验研究

汪喜波 毛志怀

(中国农业大学机械工程学院)

**摘要** 采用电阻法测量了生姜的共晶点和共熔点温度,其值分别为-13 和-12。在实验室冻干机上进行了正交试验,结果表明:真空冷冻干燥过程中加热方式、加热温度、干燥室压力以及物料厚度等因素对冷冻干燥速率均有影响,影响程度依次为:物料厚度>加热板温度>干燥室压力。

**关键词** 真空冷冻干燥; 生姜; 共晶点温度; 共熔点温度

**中图分类号** S 375

## Experimental Study on Influencing Factors of Vacuum Freeze Drying of Gingers

Wang Xibo, Mao Zhihui

(College of Machinery Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract** A set of experiments designed by the orthogonal method was carried out on a lab scale vacuum-freeze dryer and the freeze-drying characteristics of gingers, such as the temperatures of eutectic and co-melting points, were measured during the experiments. The analysis of the experimental results showed that the main influencing factors of freeze-drying were heating temperature, material thickness and pressure of drying chamber. The sequence of importance were material thickness, heating temperature and pressure of chamber respectively.

**Key words** vacuum freeze-drying; Eutectic point; melting point

生姜属囊荷科<sup>[1]</sup>,辣度高、纤维多,除含有姜油酮、姜油酚、姜油醇外,还含有蛋白质、粗脂肪,以及丰富的铁、盐、维生素A、维生素C等。生姜是人们日常生活中常用的调味品,且能入药。生姜内含有类似水杨酸的有机化合物,该物质的稀溶液是血液的稀释剂和防凝剂,能使血管扩张,促进血液循环。有研究表明,生姜中的辣味素能钝化一种叫“DMN”的化学物质的活性,从而可以阻止有关细胞的癌变过程,所以生姜还是一种潜在的抗癌产品<sup>[2]</sup>,具有极大的市场潜力。

生姜真空冷冻干燥是把生姜中的水冻结,然后在真空条件下通过升华而脱去水分。这种干燥方法能够最大程度地保持生姜的物理、化学结构及生物性状等特点。笔者旨在通过试验研究生姜的冻干过程,找出主要影响因素,从而优化生姜冻干过程的操作条件,以期缩短冻干时间,生产出优质的生姜产品。

收稿日期: 2002-04-16

汪喜波,北京清华东路17号中国农业大学(东校区)237信箱,100083

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验仪器与材料

本试验采用深圳万宝真空有限公司生产的DF-01H型冻干设备。干燥前,冷冻机最低制冷温度(棚温)可达 $-50^{\circ}\text{C}$ ,干燥室有效蒸发面积 $0.1\text{m}^2$ ,加热板温度最高可达 $80^{\circ}\text{C}$ ,干燥过程为真空状态。冷阱,即水气捕捉器,安装在真空干燥室和真空泵之间,通过冷凝吸附作用将从干燥室出来的水蒸气变成冰,防止其进入真空泵。冷阱可减轻真空泵的负担,同时保证较高的真空度,冷阱温度为 $-40\sim-52^{\circ}\text{C}$ 。控制仪表和测试系统连续测量干燥过程中任意两点物料的温度,干燥室的冷凝温度(棚温)和加热板温度,以及系统的真空度。该系统还包括1台TH242型时间记录仪,1台可调温控仪。由于生姜的冻干试验是在真空条件下进行的,很难进行物料的水分在线测量,因此试验中只测量了冻干过程的初始水分和终了水分。冻干过程的结束用温度趋近法判断,由于采用板式加热方式,当物料温度接近加热板温度并且稳定不变时,即认为干燥过程结束。

试验用物料选用市售结构紧密、表面光滑的大块生姜,初始含水率(w b)80%。

### 1.2 共晶点和共熔点温度的测量方法

生姜共晶点和共熔点温度的确定对冻干生姜的品质十分重要。本试验采用电阻法对生姜的共晶点和共熔点进行测定。由于溶液是靠导电离子的移动来导电的,当溶液完全冻结时,导电离子失去活性,物料电阻突然增大。

本试验用万用表作电阻计,热电偶作测温元件,冻结在冻干机的冻干室中完成。在测量过程中,为防止直流电的通入使物料局部融化,加大了两电极柱间距,测量间断进行,以缩短每次测量时间。

## 2 试验结果与分析

### 2.1 共晶点和共熔点

生姜冻结过程中的内部变化过程分为晶核形成阶段、大冰晶生长阶段和共晶区阶段。生姜电阻随温度的变化曲线见图1,可以看出,试验前期随温度下降电阻值变化很小,随后随温度变化电阻值增大很快。这是由于冷冻前期,生姜内部还有大量的水分存在,有较多的带电离子可自由移动,而随着温度的下降,生姜内部的水分大多转变为冰晶,故电阻值突然增大。这一区域对应的温度范围就是共晶点温度范围。为保证生姜全部冻结,常取这个范围的下限作为共晶点温度。试验测定,生姜的共晶点温度为 $-13^{\circ}\text{C}$ 。升温时电阻随温度的变化规律同降温时相似,通常也取共熔区的下限温度作为生姜的共熔点温度。试验测定,生姜的共熔点温度为 $-12^{\circ}\text{C}$ 。从图1还可以看出物料在升温 and 降温过程中曲线的转折点不同,也就是电阻值突然增大或减小的区域不同,所以在升华过程中要特别注意升华温度的选择。

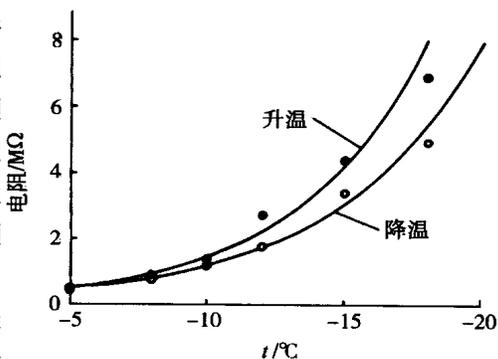


图1 生姜的升温 and 降温曲线

### 2.2 冷冻干燥过程

图 2 示出生姜的冷冻干燥曲线, 即冷冻干燥过程中物料平均温度、加热板温度、冷阱温度以及压力随时间变化的关系曲线。可以看出, 在生姜整个真空冷冻干燥过程中, 干燥过程时间最长, 因此, 该部分的理论探讨与试验研究非常重要。

干燥过程初期, 提供给物料的热量都用于物料的升华, 因而物料温度变化不大; 干燥过程后期, 物料中水分减少, 外部提供的热量除了用于升华外, 还用于提高物料的温度, 所以该阶段物料升温较快。随着冰界面的不断推进, 物料干燥层越来越厚, 而干燥速率则随之下降, 主要原因是, 随着升华的进行, 多孔干燥层厚度的增加不仅进一步降低了传热速率, 而且也延缓了冰界面上升华水分子的外逸速度。

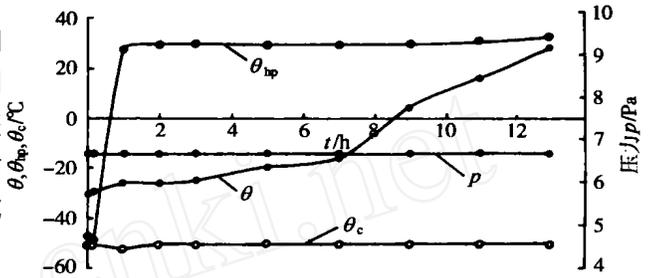


图 2 物料平均温度  $\theta$  加热板温度  $\theta_{hp}$ 、冷阱温度  $\theta_c$  及压力  $p$  随干燥时间  $t$  的变化

### 2.3 物料厚度的影响

物料厚度对冻干时间影响很大。图 3 示出物料厚度不同时其温度与干燥时间的关系, 物料越薄, 其升温速度越快。当干燥进行 9 h 后, 5 mm 厚的物料含水率为 6%, 而 7 mm 厚的物料在 11 h 后含水率为 7%, 且温度远低于加热板温度。较厚的物料所需干燥时间较长, 但物料厚度与干燥时间不是线性关系。物料厚度对干燥时间影响较显著, 但是物料太薄, 相应的辅助时间也随之增长, 因此, 物料厚度的选择应综合干燥时间和生产率等因素来考虑。

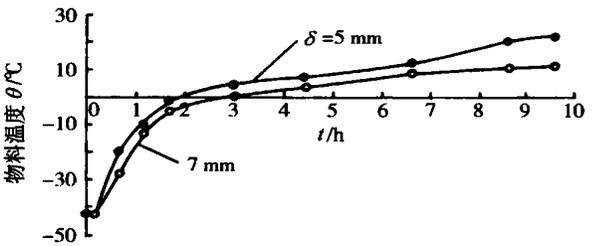


图 3 物料厚度  $\delta$  对干燥时间  $t$  的影响

试验中还发现, 物料越厚在升华阶段后期其界面温度越高, 这对热源的温度将有限制作用, 因为较薄的物料在整个升华阶段可以用温度较高的热源, 而较厚的物料在升华阶段前期可以用温度较高的热源, 但在后期必须降低热源温度, 否则, 会引起物料的局部融化。

### 2.4 加热板温度的影响

图 4 示出加热板温度不同时物料温度与干燥时间的关系。加热板温度为 45 时, 干燥 8 h 后, 生姜含水率降至 7%, 而加热板温度为 35 时, 干燥 10 h 才能达到相同的含水率。当加热板温度较低时, 由于热通量较小, 物料的底部温度及界面温度都很低, 由于没有提供足够的升华热, 干燥速率低, 故干燥时间较长。若提高加热板温度增大热通量, 物料的界面温度上升, 则干燥速率提高, 干燥时间缩短。

在升华阶段后期, 界面温度已接近物料的共熔点温度, 试验中发现, 如果此时提高加热板温度, 强化热量的输入, 会使物料底部“气垫区”略微融化, 造成产品质量下降, 同时若进一步提高加热板温度, 还会使物料收缩变形, 造成物料底部与加热板接触不好, 传热不均匀, 但对缩短



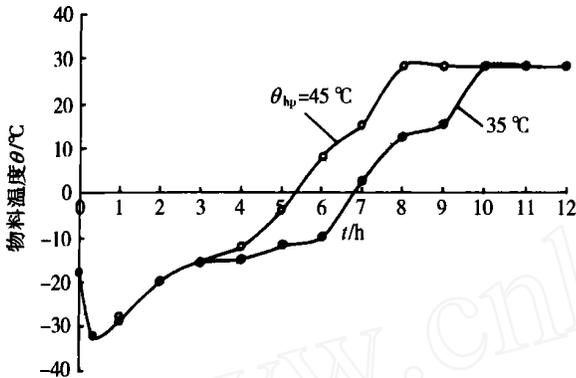


图4 加热板温度  $\theta_{hp}$  不同时物料平均温度  $\theta$  与干燥时间  $t$  的关系

冻干时间没有实质性影响,因此加热板温度应控制在某一极限温度以下。

## 2.5 干燥室压力的影响

图5示出干燥室压力不同时物料温度与干燥时间的关系。当压力  $p$  为 6.666 Pa 时,干燥 8 h 后,生姜含水率可达 6%;而  $p$  为 66.661 Pa 时,干燥 10 h 后,生姜含水率达到 7%。试验中发现,干燥室压力受物料共熔点的影响,共熔点越低,合适的压力范围越小<sup>[3,4]</sup>。这是因为压力降到一定值后,物料的有效导热系数基本不再增大,若继续增大压力只会引起传质阻力的不断上升和蒸发温度的升高,此时,物料界面温度也在上升,如果上升到共熔点温度,就会引起物料的局部融化,造成产品质量下降。

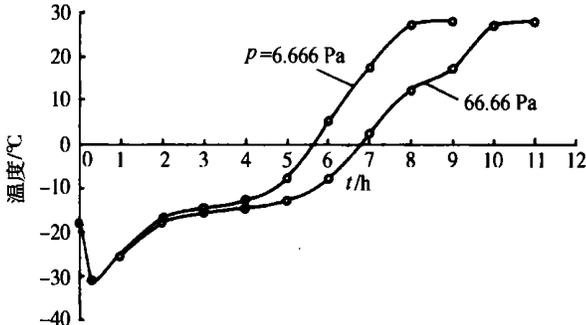


图5 干燥室压力  $p$  不同时物料平均温度  $\theta$  与干燥时间  $t$  的关系

由图5可以看出,压力越小对缩短冻干时间越有利。这是因为在导热条件下,物料所需要的热量大部分是从底部通过冰层传导给物料界面的,当压力增大时,虽然已干层的有效导热系数会略有增加,但传热效果没有明显改善,界面温度变化不大,进而传质推动力基本没有变化;另一方面压力增大,使得界面传质阻力增大,不利于水蒸气逸出。

## 2.6 影响因素的比较

研究发现,不同操作条件对真空冷冻干燥过程的影响程度不同<sup>[5]</sup>,故采用正交试验法对不同影响因素进行了试验研究,试验设计及结果见表1。可以看出,各个因素离差平方和之间的关系是:  $S_A > S_B > S_C$ ,所以在生姜冷冻干燥过程中,物料厚度是最主要的影响因素,其次是加热板温度,由于采用传导加热,干燥室压力的影响不大。

表1 正交试验设计及结果

试验编号	因素			干燥速率(w b)/ (%·h <sup>-1</sup> )
	A 生姜厚度/mm	B 加热板温度/	C 干燥室压力/Pa	
1	1(3)	1(25)	1(6.666)	9.06
2	1(3)	2(35)	2(26.664)	9.12
3	1(3)	3(45)	3(66.661)	9.25
4	2(5)	1(25)	3(66.661)	8.21
5	2(5)	2(35)	1(6.666)	8.45
6	2(5)	3(45)	2(26.664)	9.02
7	3(8)	1(25)	2(26.664)	6.73
8	3(8)	2(35)	3(66.661)	6.94
9	3(8)	3(45)	1(6.666)	7.40
<i>M</i> <sub>1</sub>	27.43	24.00	24.91	
<i>M</i> <sub>2</sub>	25.68	24.51	24.87	
<i>M</i> <sub>3</sub>	21.07	25.67	24.40	
<i>S</i>	7.196	0.488	0.154	

### 3 结 论

1) 生姜真空冷冻干燥升华阶段干燥速率较大, 解吸阶段干燥速率较小。

2) 生姜冷冻干燥的预冻温度应低于-13 (共晶点温度), 在升华供热时不能高于-12 (共熔点温度)。

3) 在本试验条件下, 物料厚度、加热温度、干燥室压力对生姜真空冷冻过程都有影响, 影响程度顺序为物料厚度> 加热温度> 干燥室压力。最佳操作参数为物料厚度 3~5 mm、加热温度 30~40 、干燥压力 6.666 Pa。

### 参 考 文 献

- 1 姚金林 生姜栽培技术 秀州农业信息, <http://www.agxz.com.cn>, 1998, 8
- 2 中华中药网 解表药的药理作用 <http://www.chinach.com>, 1999, 9
- 3 刘志胜 优质大蒜粉冷冻干燥工艺的探索: [学位论文] 无锡: 无锡轻工业学院, 1989
- 4 金兹布尔格 AG 食品干燥原理技术基础 高奎元译 北京: 北京轻工业出版社, 1986
- 5 汪喜波 不同操作条件对食品真空冷冻干燥过程的影响研究: [学位论文] 北京: 中国农业大学, 2000, 3