

# 冷冻干燥法生产鸡肉丁的工艺研究

张晋陆

(淮海工学院, 连云港 222005)

(收稿日期 1998-06-30)

## A STUDY ON THE TECHNOLOGY OF PRODUCING DICED CHICKEN MEAT BY FREEZE DRYING IN VACUUM

Zhang Jinlu

(Huaihai Institute of Technology, Lianyungang 222005)

**Abstract:** The technological condition of freeze drying diced chicken meat was determined, and the influence of hot burn, preliminary freeze rate, and temperature of water catcher on the quality of products and drying time were discussed. The heat conducting model of freeze drying diced chicken meat was established, and the theoretical drying time was worked out from the model and was compared with the experimental value.

**Key words:** freeze drying diced chicken meat vacuum

**摘要:** 确定了鸡肉丁的冷冻干燥工艺条件, 探讨了热烫、预冻速率、捕水器温度对制品品质与干燥时间的影响。建立了鸡肉丁冷冻干燥的传热传质模型, 由模型计算出理论干燥时间, 并与实验值进行了比较。

**关键词:** 冷冻干燥 鸡肉丁 真空

**分类号:** TB69 TB79 **文献标识码:** A

真空冷冻干燥作为一种食品干燥方法由来已久, 其主要加工品种大多是蔬菜、水果、保健品、速溶饮品等。90年代以来, 高档方便面和即食汤料工业的发展使冷冻干燥法生产的禽肉类产品市场急剧增大。因为方便面或即食汤配料要求复水快、口味佳、色泽艳, 而只有冷冻干燥制品才能满足这一要求。

## 1 材料设备与方法<sup>[1~3]</sup>

### 1.1 材料<sup>[1~3]</sup>

连云港地产鲜鸡脯肉、冷冻鸡脯肉。

### 1.2 设备

ZLG-0.5型冷冻干燥试验机, 其主要性能指标如表1, 结构示意图如图1。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 工艺路线

冻鸡脯肉→解冻



鲜鸡脯肉→整理清洗→切丁→热烫→离心脱水→预冻→干燥→包装

表1 ZLG-0.5型冷冻干燥实验机性能参数

参数名称	数值
干燥面积	0.5 m <sup>2</sup>
搁板数	上下两层
物料托盘	2只
搁板间距	20 cm
最大干燥量	5 kg/次(湿料)
搁板温度	-45℃~130℃可调
工作真空度	5~200 Pa
加热形式	电加热
捕水器温度	低于-45℃

### 1.3.2 工艺说明

1) 鲜鸡脯肉剔除肌肉上附着的脂肪及结缔组织,清洗干净,控去血水,用切肉机切丁;冷冻鸡肉需解冻至组织稍软后切丁,丁形为正方形,大小约3 mm×3 mm×3 mm;

2) 热烫水温约80℃~90℃,时间2 min左右。捞出后稍冷却即用离心机预脱水,脱水后的肉丁平铺在干燥托盘中,厚度约6 mm;

3) 打开压缩机,对干燥仓搁板制冷,约10 min后板温达-15℃。此时将料盘送入干燥仓,置于下搁板上预冻,约1.5 h后测料温为-20℃左右;开真空泵,对捕水器和干燥仓抽空,通电,对搁板加热,设置搁板极限温度为40℃;维持干燥室真空度在17 Pa左右;维持捕水器真空度在10 Pa,温度在-45℃~-50℃;

4) 当仪表显示料温37.8℃,接近加热搁板设定极限温度时,可认为到达干燥终点。打开干燥仓排空阀门放空,取出鸡肉丁迅速用塑料袋封口包装;

5) 冷冻干燥鸡肉丁外观不干缩,质地酥脆,投入30℃水中5 min,即可复水至饱满而柔软。

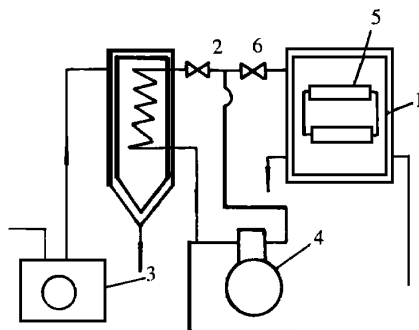


图1 ZLG-0.5型冷冻干燥机结构示意图  
1-干燥室;2-捕水器;3-真空泵;4-压缩机;5-加热(制冷)搁板;6-阀门

## 2 结果与讨论<sup>[4~6]</sup>

### 2.1 热烫对鸡肉丁品质影响

鸡肉丁的热烫既是一个缩水过程,也是熟化和杀菌的过程。冷冻干燥鸡肉丁复水后直接食用,而在冷冻干燥加工过程中除热烫工序外不安排其它杀菌操作,冷冻干燥鸡肉丁的微生物指标能否符合要求也取决于这一工序。因此,热烫水温不宜低于80℃,时间不宜少于2 min,以保证杀菌效果。热烫后鸡肉失水收缩,蛋白质变性,少许脂肪析出,减轻了后续干燥过程的压力。

### 2.2 预冻速率对鸡肉丁品质的影响

预冻是先对湿鸡肉丁固形,在短时间内将其温度降至共晶点以下,使其中水分全部冻结成

冰晶,从而保证经升华干燥后的肉丁具有良好的形态、质构和复水性。鸡肉的共晶点温度通过切片观察约为 $-15^{\circ}\text{C}$ 。预冻过程的快慢对冷冻干燥鸡肉丁品质有影响。当采用慢速冷冻时,由于细胞外溶液浓度低,结晶首先在细胞外发生。而此时细胞内水分仍以液态存在,因为水蒸气分压的关系,细胞内的水分向细胞外已形成的冰晶移动,使冰晶体积增大且形状不规则,分布也不均匀。大的冰晶易对细胞组织造成机械损伤,制成品品质变坏。而当采用快速冷冻时,物料组织内冰层推进速度大于水移动的速度,冰晶分布接近食品中液态水的分布状态,且冰结晶体积小,对制成品的质量有利。鸡肉预冻采用快速冷冻。实验中先对搁板制冷到 $-15^{\circ}\text{C}$ 后进料,继续制冷约1.5 h。此时上搁板温度 $-31.5^{\circ}\text{C}$ ,下搁板温度 $-34.6^{\circ}\text{C}$ ,料温 $-20.7^{\circ}\text{C}$ ,可认为达到鸡肉的共晶点温度以下。关闭干燥室进液阀,只对捕水器制冷,同时开始对干燥室抽空,对搁板通电加热,升华过程开始。

抽空和加热时机的掌握对缩短干燥时间,提高干燥效率是重要的。实验中发现,当料温达到 $-20^{\circ}\text{C}$ 左右时对干燥室抽空,料温继续下降,且下降速度较快,这是因为鸡肉中冰晶升华大量吸热引起的。升华干燥过程中只要保证物料温度稍低于共熔点温度,物料不融化即可,太低对干燥效率的提高显然不利。为防止物料温度太低,可在抽空开始后即对搁板加热,并通过调整加热效率使物料温度保持在允许范围。当升华过程结束,迅速提高搁板温度至极限值,这样可以显著缩短干燥时间,而制品品质也能保证。

### 2.3 鸡肉丁冷冻干燥曲线

鸡肉丁送入搁板间预冻至共晶点以下后,对搁板通电加热,开始升华干燥。每隔1 h记录一次搁板和物料温度,得到冷冻干燥曲线如图2。

由冷冻干燥曲线可知,搁板温度 $-15^{\circ}\text{C}$ 时进料,当料温达 $-20.2^{\circ}\text{C}$ 开始抽真空,此时发现料温继续快速降低。这是由于冰晶升华带走大量热量而电加热滞后引起的。掌握抽真空和加热时机可以解决这一问题,从而缩短干燥时间,鸡肉丁品质也不受影响。在本实验条件下,肉丁从进料到干品出仓需耗时约10 h,其中预冻2 h左右,升华6 h,解吸约2 h。

### 2.4 捕水器温度对鸡肉丁冷冻干燥过程的影响

本研究使用的ZLG-0.5型冷冻干燥试验机,其捕水器设计在真空泵和干燥室的管路中间,捕水器和干燥室之间有蝶阀。实验中,先对捕水器抽空,然后开蝶阀对干燥室抽空,这样就可以维持干燥室真空度比捕水器真空度略低。而压缩机通过两路管道分别与捕水器和干燥室搁板连接,当预冻过程结束后,压缩机仅对捕水器制冷。

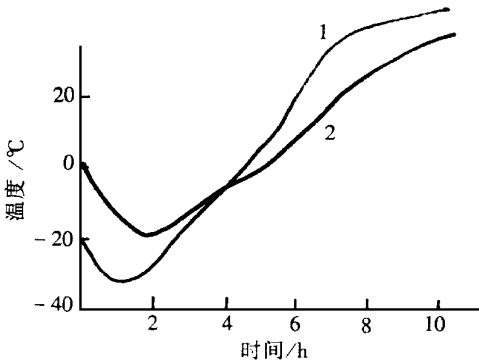


图2 鸡肉丁冷冻干燥实验曲线  
(曲线1为板温;曲线2为料温)

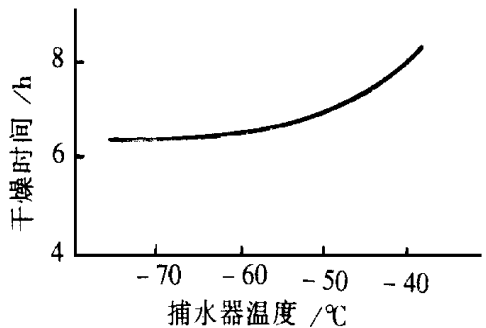


图3 捕水器温度与干燥时间的关系

从理论上讲,捕水器温度越低,蒸气压越低;干燥室与捕水器温度差越大,则其蒸气压差越大,冰晶升华速率越快。从图 3 可以看出,当捕水器温度低于 $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 后,其对冷冻干燥时间的

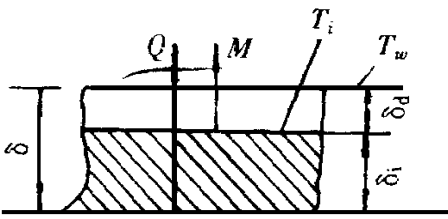


图 4 鸡肉丁冷冻干燥传热传质模型

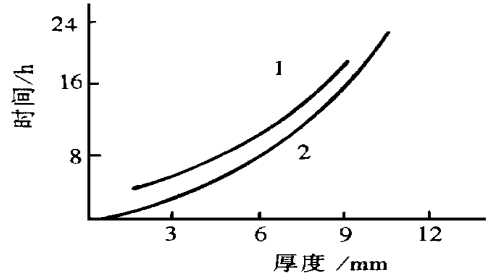


图 5 料层厚度与干燥时间关系  
(曲线 1 为实验值,曲线 2 为计算值)

影响趋缓,再降低温度不但浪费能源,难以操作,事实上也无必要。所以本实验中将捕水器温度维持在 $-45\text{ }^{\circ}\text{C}\sim-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

## 2.5 鸡肉丁冷冻干燥传热传质模型

本实验装盘条件下,假设肉丁堆积在盘中成一整体,整体之间无空隙。肉丁下层与盘底紧密接触,热量由下搁板通过冻结层向升华界面传递。而水分通过已干层逸出,传热和传质方向一致,忽略端效应,则其传热传质模型可描述为图 4。

冷冻干燥和一般干燥过程一样,是传热和传质同时进行着的过程,存在着传热和传质的推动力及阻力。如图 4 所示,肉丁干燥过程中,其热量是由冻结层向升华界面传递,而水分由升华界面通过已干层向干燥室空间逸出,然后进入捕水器冷凝去除。

在这种情形下,任何时刻的热通量可表示为

$$Q = \lambda A (T_w - T_i) / \delta \quad (1)$$

水分升华速率可表示为

$$\frac{dW}{dt} = \frac{K_d}{\delta} A (P_i - P_s) = A \Omega (C_0 - C_f) \frac{d\delta}{dt} \quad (2)$$

由式(2)可得

$$\delta_d \delta = \frac{K_d (P_i - P_s)}{\Omega (C_0 - C_f)} \quad (3)$$

假设传热全部用于升华,则有

$$Q = \frac{dW}{dt} L_s \quad (4)$$

将式(2)代入式(4)

$$Q = K_d A (P_i - P_s) L_s / \delta \quad (5)$$

由式(1)和式(5)得

$$P_i - P_s = \frac{(T_w - T_i) \lambda \delta}{K_d L_s \delta} \quad (6)$$

将式(6)代入式(3),得

$$\delta_d \delta = \frac{(T_w - T_i) \lambda}{\Omega (C_0 - C_f) L_s} dt \quad (7)$$

因为  $\delta = \delta - \delta_d$ ,代入上式,则有

$$(\delta - \delta_0) d\delta = \frac{(T_w - T_i) \lambda}{\rho_a (C_0 - C_f) L_s} dt \quad (8)$$

式中  $T_i$  是  $\delta$  的函数,  $T_i = f(\delta)$ , 边界条件为  $t=0$  时,  $\delta = \delta_0$ ,  $T_i = T_{i0}$ ;  $t = t_d$  时,  $\delta = 0$ ,  $T_i = T_w$ 。函数式应由大量实验得出。根据边界条件, 可近似定义

$$T_i = (T_w + T_{i0}) / 2$$

将上式代入式(8)并积分整理得

$$t_d = \frac{L_s \delta \rho_a (C_0 - C_f)}{2 \lambda (T_w - T_i)} = \frac{L_s \delta \rho_a (C_0 - C_f)}{\lambda (T_w - T_{i0})} \quad (9)$$

上列各式中,  $Q$  为热通量;  $L_s$  为冰升华潜热;  $\delta$  为物料总厚度;  $\delta_0$  为已干层厚度;  $\delta$  为冻结层厚度;  $C_0$  为物料初始湿度;  $C_f$  为干物料湿度;  $t_d$  为干燥时间;  $\lambda$  为冻结层热导率;  $T_w$  为冻结层底面温度;  $T_i$  为升华界面温度;  $T_{i0}$  为物料预冻终点温度;  $P_i$  为冻结层蒸气压;  $P_s$  为干燥层蒸气压;  $A$  为升华面积;  $\rho_a$  为已干层密度;  $K_d$  为已干层水气透过系数。

从式(9)可见, 干燥时间的长短取决于料层的厚度、已干层的密度、湿物料与干物料湿度差、冰的升华潜热、冻结层的热导率以及冻结层底面与升华界面的温差。这与实际情况是相符合的。取  $L_s = 2.8 \times 10^6$  J/kg;  $\delta_0 = 0.006$  m;  $\rho_a = 300$  kg/m<sup>3</sup>;  $C_0 = 80\%$ ;  $C_f = 4\%$ ;  $\lambda = 0.06$  W/m $\cdot$ °C;  $T_w = -5$  °C;  $T_{i0} = -25$  °C 代入式(9) 计算得出  $t_d$  约为 5.3 h。

需要着重指出的是, 本模型计算忽略了水气由干燥室到捕水器的传质阻力、物料的端效应, 并且假设搁板提供的热量全部用于升华。这在实际操作中事实上是不可能的。因此, 理论计算值比实验值小, 可通过实验得出理论值与实际值的修正系数。

改变物料装盘厚度, 干燥时间变化趋势如图 5, 与模型计算值基本吻合。

### 参 考 文 献

- 1 基伊 R B. 干燥原理及应用. 上海: 上海科技文献出版社, 1986
- 2 邵明望, 奚传棣. 冷冻干燥模型及其控制步骤. 食品工业科技, 1995, 12: 14~16
- 3 高福成, 杨方琪, 刘志胜. 冷冻干燥法生产优质大蒜粉的研究. 无锡轻工业学院学报, 1994, 13(3): 192~199
- 4 天津大学. 化工传递过程. 北京: 化学工业出版社, 1986
- 5 咸漠, 权文富. 鹿茸的冷冻干燥方法. 吉林工业大学学报, 1991(4): 73~74
- 6 无锡轻工业学院, 天津轻工业学院合编. 食品工程原理. 北京: 轻工业出版社, 1985

**作者简介:** 张晋陆, 1985年毕业于无锡轻工业大学食品工程系, 工程师。主要研究方向为海藻类产品开发、麦芽及麦根综合利用、真空冷冻干燥食品工艺等。近年承担江苏省教委自然科学基金课题 1 项、江苏省科委新产品开发计划项目 1 项、连云港市科技发展计划项目 1 项。