

文章编号:1000-582X(2002)08-0061-04

# 小麦种子的真空冷冻干燥处理\*

杨颖, 李夔宁, 童明伟

(重庆大学 动力工程学院制冷系, 重庆 400044)

**摘要:**为了探索真空冷冻干燥技术用于小麦种子干燥处理的可能性,采用真空冷冻干燥、真空干燥和热风干燥3种方式对小麦种子进行干燥处理,在不同环境温度和压力下,研究种子中温度-时间分布曲线,并通过分析复水率、出芽率和幼苗生长情况进一步研究了这3种干燥方法对小麦种子生物活性的影响。研究表明,采用热风干燥时必须对干燥温度和干燥时间严格控制,否则容易造成种子的死亡;真空干燥的方法易削弱小麦种子的生物活性,不宜用于种子的干燥处理;而经过真空冷冻干燥的种子的生物活性没有受到影响,真空冷冻干燥条件下小麦种子的平均存活率高于其它两种方式,可以应用于小麦种子的干燥。小麦在真空冷冻干燥下,水分冰晶升华温度与干燥室压力密切相关,在干燥室绝对压力为200~400 Pa时,小麦中冰晶升华温度为18~20℃。

**关键词:**干燥;真空冷冻干燥;小麦;种子

**中图分类号:**S512.11; TB69

**文献标识码:**A

小麦是我国的主要食品来源,尤其在我国北部,其播种面积广、产量丰富。小麦含淀粉较多,是一种能源食品,小麦品种和产量关系着我国国民经济的命脉。

小麦收获以后,如果不及时晒干,就容易引起发霉甚至发芽。目前用于小麦的干燥方式主要有两类:传统的利用太阳光的热量使种子中的水分蒸发的干燥方式和热风强制干燥方式。前者易受大自然气候条件的影响,特别是在雨季,缺少太阳光将使小麦无法晒干;后者的干燥效果较好,但热风温度的控制是关键,否则将会影响小麦种子的活性<sup>[1]</sup>。

真空冷冻干燥技术是一种在物料保持冻结状态下于真空中使其冰晶升华而获得干制品的方法,是干燥技术中科技含量高、涉及知识面广的一种多学科技术<sup>[2,3]</sup>,已大量应用于医药、生物制品、食品、鲜花、动植物标本以及新材料研究等领域。与其它方式相比较,真空冷冻干燥过程在低温和真空状态下进行,避免了热敏反应和氧化作用,能最大限度地保持被干燥物料的营养成分和生理活性成分并保持原有的外观形状;物料被干燥后呈多微孔结构,具有优良的复水性;物料中水所携带的无机盐不随着水分升华而迁移;物料在升华干燥时的热源温度要求不高,不会出现物料的过热现象<sup>[2,3]</sup>。不仅如此,真空冷冻干燥技术还用于

如人体器官、精子以及菌苗等活体的干燥保存,而不影响干燥制品的活性。但是这种方法能否用于对小麦种子的干燥处理,特别是其对小麦种子生物体的活性影响如何,目前尚无详细研究,为此,笔者通过把真空冷冻干燥技术应用在小麦种子的干燥实验上,研究其干燥过程对小麦种子生物活性的影响,并且为了进行比较,同时采用了真空干燥和热风干燥方法对小麦种子进行干燥处理。

## 1 实验研究方法

### 1.1 干燥对象

小麦根据播种期不同可分为春小麦和冬小麦,还可根据麦粉的性质不同分为硬质、中间质和软质。小麦的水分含量不等,潮湿地带收获的小麦含水量高,为14%左右,干燥地带收获的小麦水分含量低,为10%~13%左右。在本次实验中选用了重庆市北碚区五星村产软质冬小麦的当年种子,在匀速恒温烘箱中烘烤小麦样品至重量恒定,测得该小麦种子的初始含水量为13%。选取颗粒饱满的小麦种子每50颗为一组进行对比实验。共分为9组。

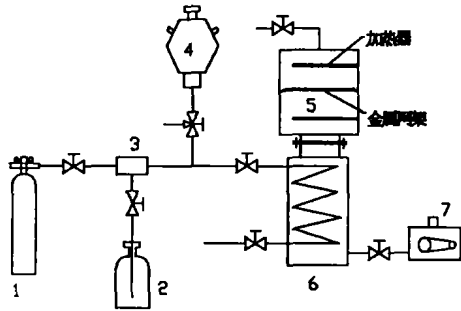
### 1.2 实验装置

真空冷冻干燥、真空干燥和热风干燥采用的是同

\* 收稿日期:2002-04-08

作者简介:杨颖(1968-),女,重庆人,讲师,重庆大学博士研究生。主要从事制冷技术及应用、多孔介质的传热传质研究。

一组实验装置,如图一所示,该装置由冷源、流化床、干燥室、冷阱和真空泵组成,真空干燥时关闭冷源和流化床,热风干燥时只用流化床和热空气。冷源采用高压氮气为动力通过引射器引射液氮而形成的低温氮气<sup>[4]</sup>,干燥室内设电加热器、铁丝网架和铁丝网,加热采用电加热,在实验过程中,为避免电加热器表面对小麦种子的热伤害,采用了辐射加热方式,加热器通过改变变压器电压调节。干燥室与冷阱连通,干燥室和冷阱中共布有 12 对镍铬-康铜热电偶。



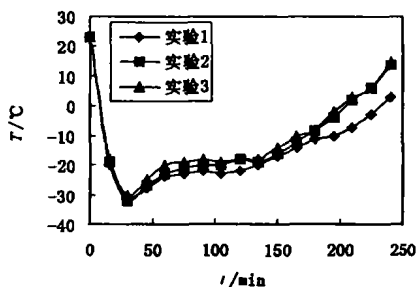
1-氮气瓶,2-杜瓦瓶,3-引射器,4-流化床,5-干燥室,6-冷阱,7-真空泵

图 1 真空冷冻干燥装置系统图

### 1.3 干燥实验

#### 1.3.1 小麦真空冷冻干燥实验

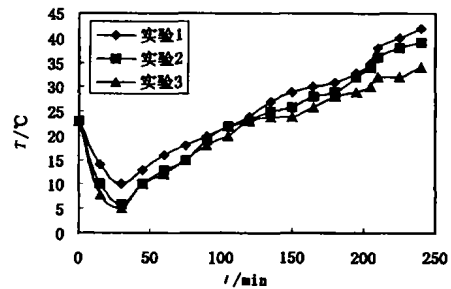
经预处理后的小麦种子置于流化床中,由高压氮气瓶、杜瓦瓶和引射器组成的制冷系统提供冷源,冷源温度为  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,使小麦在流化床中冷冻,当小麦被完全冻结后,取出小麦放入干燥室中,启动真空泵,同时转换冷源流向,使其进入冷阱系统,维持冷阱温度为  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  至  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,在绝对压力达到要求时,接通加热器电源,对小麦种子进行升华干燥,当小麦种子的温度上升速率增加时,降低绝对压力,增大加热器的加热量,持续一段时间后停止实验。图 2 代表小麦在真空冷冻干燥条件下的温度-时间关系曲线。根据实际温度曲线,干燥过程结束时间为 200 min,为保限起见,延长干燥时间至 240 min<sup>[5]</sup>。



实验 1、2、3——绝对压力分别为 600,400,220 Pa  
图 2 小麦真空冷冻干燥的温度-时间曲线

#### 1.3.2 小麦真空干燥实验

将室温下的小麦种子直接放入干燥室,密封抽真空,在抽真空的过程中由于小麦水分的蒸发,小麦温度下降,达到要求绝对压力后加热器开始加热,直至干燥结束。为便于对比,干燥时间均为 240 min,有两组真空干燥的绝对压力设定为与真空冷冻干燥一致,为 600 Pa 和 400 Pa,同时单独设定了一组绝对压力为 1 300 Pa 的实验。图 3 代表小麦在真空干燥条件下的温度-时间关系曲线。

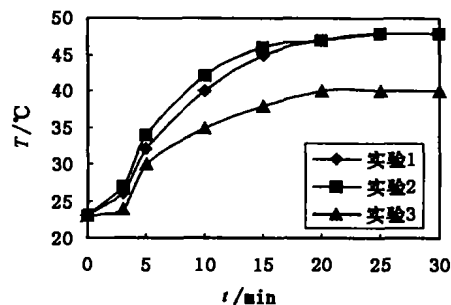


实验 1、2、3——绝对压力分别为 600,400,1 300 Pa

图 3 小麦真空干燥过程的温度-时间曲线

#### 1.3.3 小麦热风干燥实验

将室温下的小麦置于流化床中,通入热空气持续加热,直至干燥结束。热风干燥的实验参数与文献[1]中实验温度近似,为便于比较,其中一组的热风温度设定为  $48\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,干燥时间与真空冷冻干燥一致,采用 240 min。图 4 代表小麦在热风干燥下的温度-时间曲线。



采取实验 1、2、3——热风温度分别为 48,48,40  $^{\circ}\text{C}$ ;加热时间分别为 240,30,30 min

图 4 小麦热风干燥实验的温度-时间曲线

### 1.4 小麦种子生理实验

将各组实验得到的干燥小麦种子各选 20 粒,称重后放置于  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  的温水中 15 min,取出放在吸水纸上吸干小麦外表面的水分,称重后计算出每组种子的复水率,如表 1 所示。

种子的生理实验是为了验证 3 种干燥方式对小麦种子发芽率和幼苗生长方式的影响。将各组小麦种子选取 30 粒,用次氯酸钠消毒后放置于 90 mm 培养皿中,在培养箱中  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  温度条件下发芽,测定每组种子

的发芽数,计算发芽率(见表 1)。

表 1 小麦种子复水率和出芽率

干燥方法	实验条件			复水率 /%	出芽率 /%	外观
	绝对压力 /Pa	热风温度 /℃	干燥时间 /min			
真空	600		240	98	93	色泽和形状与干燥前无异
冷冻	400		240	98	93	
干燥	220		240	98	97	
真空	600		240	90	77	颜色
	400		240	89	73	
干燥	1300		240	92	80	偏白
热风		48	240	85	50	颜色较暗,外形
		48	30	87	97	尺寸缩小
干燥		40	30	88	97	

## 2 实验结果及讨论

### 2.1 干燥过程的比较

从真空冷冻干燥的 3 组实验数据中可以看出在干燥开始后 30 min 出现冰晶的升华平台,其升华温度分别在 18、20 和 22 ℃ 附近。这是由于真空冷冻干燥过程分为 3 个阶段:冻结阶段、升华干燥阶段和解析干燥阶段<sup>[6]</sup>。冻结是将占小麦种子水分 90% 的游离水以冰晶的形式固化。当环境压力低于种子的共晶点温度对应的饱和蒸气压时,冰晶吸热升华,这时进入升华干燥阶段,前期的冻结速度对生成冰晶的大小有影响,冻结速度越快,冰晶越细,对种子细胞的影响越小,但是在升华过程中,小冰晶升华速度慢,干燥时间长。冰晶的升华温度与绝对压力有关,绝对压力越高,升华温度越低。当冰晶升华完成后,种子中还有一部分以结合水形式存在的水分,这部分水分含量较少,且呈液态。继续在真空状态下提供热量,使水分蒸发,这是解析干燥阶段,在此阶段,种子的温升较快。种子中的水分干燥完成以后,种子受辐射热的影响,继续升温,这段时间的温升速率比解析干燥时还要高。

从真空干燥的 3 组实验数据中可以看出,在干燥过程中没有象冻结干燥过程中的相变过程,由于种子中的水分没有冻结,因此在干燥过程中种子的干燥速率比较大。从温度的上升趋势看,在干燥过程中无明显阶段区别。

从热风干燥的 3 组实验数据来看,干燥前期种子的温升较慢,这是由于种子中含水量较高,水分在蒸发过程中吸热,由于流化床的加热效率高,种子很快进入干燥中期,其升温速度加快,这时应注意加热量。加热后期温升又趋缓,这是由于种子的水分已基本干燥完,

种子温度上升至与热风温度趋同。为便于在图上比较数据,实验 1 的数据只取了 30 min 的温升过程,其后,种子一直保持在 48 ℃ 的温度下直至干燥结束。

### 2.2 复水率的比较

干燥后的小麦种子的复水率如表 1 所示。经过真空冷冻干燥的小麦种子复水率最高,这是由于种子中的水分在冻结时形成冰晶,随着冰晶的升华而形成多微孔结构,增大了种子的比表面积,更容易吸收水分;热风干燥的小麦种子复水率最低,说明在干燥时热风温度和干燥时间对种子的吸水复原有影响,温度越高、干燥时间越长,种子的复水率越低。但延长浸泡时间后,经过热风干燥的种子的复水率也基本能达到 95% 以上。

### 2.3 出芽率的比较

小麦粒由果皮、种皮、糊粉层、胚乳、胚芽等组成,小麦胚乳、胚芽、皮部的重量比为 82:2:16。小麦糊粉中含有较多的蛋白质和灰分,胚乳中含大量淀粉,而且还含有形成面筋的蛋白质,在小麦粒中碳水化合物是含量最高的成分,纤维含量为 2%,淀粉含量约占 70%,脂肪约为 3% 左右。小麦成分的改变将会直接影响小麦的生长发育。

小麦种子具有三大特点,即后熟作用、抗热性和吸湿性。后熟作用是指小麦种子收获后有一个较长的后熟阶段,一般春性小麦为 30~40 天,半冬性小麦为 60~70 天,冬性小麦为 80 天,在这个生理后熟阶段,种子体内继续进行着一些物质的合成过程;抗热性是指没有完成后熟作用的小麦具有较高的抗热性,但已通过生理后熟的小麦种子,抗热性显著降低;吸湿性指小麦容易吸收空气中的水分,尤其是在空气湿度较大的条件下。因此,后熟期之后的种子对干燥条件尤其显得苛刻。在 3 种干燥方法中,真空冷冻干燥后的种子平均出芽率最高。说明真空冷冻干燥过程对小麦种子的生物活性影响较小;真空干燥的小麦种子的平均出芽率最低,说明在真空干燥过程中,种子中的水分以液态的形式蒸发,在水分迁移过程中,溶于水的盐类、无机物以及维生素随水分迁移至种子的表层,从而对种子的生长发育产生影响;真空冷冻干燥过程中,由于水分被预先冻结成冰晶,升华过程中别的物质不会随之升华,所以,一旦复水种子又很快还原;经过热风干燥的小麦种子在 48 ℃ 条件下干燥 4 h 后出芽率仅为 50%,而另外两组干燥时间仅 0.5 h 的种子出芽率较高,说明小麦种子在热风干燥工艺中,干燥时间越长,对小麦种子活性的影响越大;长时间高温下小麦容易发生死亡。

从图 1 中可以看出,在真空冷冻干燥过程中绝对压力越小,完成升华干燥的时间越短、升华温度越高,但种子的出芽率较低,因此比较适宜的绝对压力在 200 Pa 左右。

从图 2 可观察到,真空干燥的实验数据中,绝对压力为 1 300 Pa 的一组种子发芽率相对较高,而绝对压力为 400 Pa 的一组种子发芽率相对较低,说明在真空干燥中,绝对压力越大对种子的生理活性影响越大。

#### 2.4 幼苗的生长

发芽的种子经继续培育,幼苗生长至 2 cm 时长势良好。各组实验对象无明显区别,说明干燥后存活的种子其生理活性未受到影响。

### 4 结 论

1) 首次通过用真空冷冻干燥的方法对小麦种子进行干燥,证明经过真空冷冻干燥的种子的生物活性没有受到影响。

2) 通过对小麦种子的真空冷冻干燥、真空干燥和热风干燥 3 种方法的比较,真空冷冻干燥条件下小麦种子的平均存活率高于其它两种方式,是一种可行的干燥方式;

3) 热风干燥必须对干燥温度和干燥时间严格控制,否则容易造成种子的死亡;

4) 真空干燥的方法易削弱小麦种子的生物活性,不宜用于种子的干燥中。

#### 参考文献:

- [1] 诸凯,褚治德,蒯大秋,等. 利用热相与生理实验法研究种子的优化传热传质[A]. 工程热物理学会. 工程热物理学会传热传质学学术年会论文集[下][C]. 重庆: 1997, V31 - V36.
- [2] BRANA J I LOM, DIAZ J M. Vacuum, 1987, 37, (5/6): 473 - 476.
- [3] BRANA J I LOM, etc. The Chemical Engineering Journal, 1987, 35: B23 - B30.
- [4] 张旖平. 液氮超速冻技术[J]. 制冷, 1995, (1): 23 - 26.
- [5] 葛斌. 冷冻干燥过程传热传质研究[J]. 制冷, 1996, (4): 15 - 18.
- [6] 杨颖,侯曼西,童明伟. 多孔介质在低温下真空干燥的机理及实验研究[A]. 工程热物理学会. 工程热物理学会传热传质学学术年会论文集[下][C]. 重庆, 1997, V13 - V16.

## Lyophilization Treatment of Wheat Seed

YANG Ying, LI Kui-nin, TONG Ming-wei

(College of Power Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** In order to verify the possibility of lyophilization technology used for the drying treatment of wheat seed, different drying modes under lyophilizing, vacuuming and hot air was employed and compared in this research. At different treating temperature and pressure, the distribution curves between temperature in seed and treating time were tested. The influences of above drying modes on biological activity of wheat seed were further studied by analyzing the water - recovery and budding ratio of seed as well as the upspring of seedling. The results from experiment show that, the seed is liable to death unless the treating temperature and time are controlled strictly when hot air drying method is used. Vacuuming drying mode is unsuitable because it weakened the biological activity of seed. While the biological activity wasn't destroyed during lyophilizing process, in such drying condition, the average values of fraction surviving of seed exceeded those in other two cases. Lyophilization method can be applied to dry wheat seed. Under the lyophilizing, the subliming temperature of ice crystal in seed behaves a close relationship with the pressure in drying compartment. As the pressure given in 200 ~ 400 Pa, the subliming temperature of ice crystal in wheat seed dropped at 18 ~ 20 °C.

**Key words:** drying; lyophilization; wheat; seed

(责任编辑 吕赛英)