

- scribing the effect of water activity. J. appl. Bacteriol. 1983,55:101~110.
5. Broughall, J. M. , & Brown, C. Hazard analysis applied to microbial growth in foods; Development and application of three-dimensional model to predict bacterial growth. Food microbiol. 1984, 1: 13~22.
 6. Buchanan, R. L. Predictive food microbiology. Trends in food Science & Technology. 1993, 4 (1):6~11.
 7. Davey, K. R. A predictive model for combined temperature and water activity on microbial growth during the growth phase. J. Appl. Bacteriol. 1989, 67:483~488.
 8. Davey, K. R. Applicability of the davey (linear-Arrhenius) predictive model to the lag phase of microbial growth. J. Appl. Bacteriol. 1991, 70:253~257.
 9. McMeekin, T. A. , Chandler, R. E. , Doe, P. E. , Garland, C. D. , Olley, J. , Putro, S. & Ratkowsky, D. A. Model for combined effect of temperature and salt concentraion/water activity on the growth rate of *staphylococcus xylosus*, J. Appl. Bacteriol. 1987, 62:543~550.
 10. Ratkowsky, D. A. , Olley, J. , McMeekin, T. A. & Ball, A. Relationship between temperature and growth rate of bacterial cultures. J. Bacteriol. 1982, 149(1):1~5.
 11. Ratkowsky, D. A. , Lowry, R. K. , McMeekin, T. A. , Stokes, A. N. & Chandler, R. E. Model for bacterial culture growth rate throughout the enire biokinedic temperature range. J. Bacteriol. 1983, 154(3):1222~1226.
 12. Van Impe, J. F. , Nicolai, B. M. , Martens, T. , de Baerdemaeker, J. & Vandewalle, J. Dynamic mathematical model to predict microbial growth and inactivation during food processing. Appl. Environ. Microbiol. 1992, 58(9):2901~2909.
 13. Zwietering, M. H. , Jongenburger, I. , Rombouts, F. M. , & Van't Rist, K. Modeling of the bacterial growth ezrve. Appl. Environ. Microbiol. 1990, 56(6):1875~1881.
 14. Zwietering, M. H. , De Koos, J. K. , Hasenack, B. E. , De Wit, J. C. & Van't Riet, K. Modeling of bacterial growth as a function of temperature. Appl. Environ. Microbiol. 1991, 57(4):1094~1101.
 15. Zwietering, M. H. , Wijtzes, T. , De Wit, J. C. & Van't Riet, K. A decision support system for prediction of the microbial spoilage in food. J. Food Prot. 1992, 55(12):973~979.
 16. Zwietering, M. H. , Rombouts, F. M. & Van'T Riet K. Some aspects of modelling microbial quality of food. Food control. 1993, 4(2):89~96.

草菇冷冻干燥保鲜技术的研究

程 江 杨卓如 梅慈云 陈焕钦

华南理工大学化工所 510641

摘 要 介绍了草菇冷冻干燥保鲜工艺及其工艺参数,并着重对水份升华过程中的供热方式进行了探讨。分析了新鲜草菇和冻干草菇的氨基酸含量,认为冷冻干燥是草菇保鲜贮藏的一种较理想的方法。

关键词 冷冻干燥 草菇保鲜

Abstract The preservation technoloy of *Voltraiella volvacea* (Bull. ex Fr.) Sing by freeze drying was presented in this paper. The technical parameters were determined and two heating methods during freeze drying of *Voltraiella volvacea* (Bull. ex Fr.) Sing were discussed in particular. Finally, a comparison of amino acid contents in fresh and freeze dried *Voltraiella volvacea* (Bull. ex Fr.) Sing was made and the result showed that freeze drying is a good method in preservation of mushroom

Key words Freeze drying Preservation of *Voltraiella volvacea* (Bull. ex Fr.) Sing

1 前言

食品保鲜贮藏方法中冷冻干燥保鲜技术已愈来愈引起人们重视,冷冻食品日益受人们欢迎。

由于食品在低温和真空缺氧状态下进行干燥处理,食品中的营养成分和风味物质损失很少,复水后能基本保持新鲜食品的营养成份和色、香、味,且因脱除了新鲜物料 95%~98% 以上的水份,重量轻,便于运输,常温下可存放几年。本文即介绍草菇的冻干保鲜技术。

2 草菇冷干燥保鲜工艺

草菇的冷冻干燥保鲜工艺流程如下,其中升华干燥是关键工序。

草菇原料→品选→预处理→切片→冻结→升华干燥→真空包装→干品

通常在新鲜草菇采摘后要进行防褐变处理,如可将鲜菇在柠檬酸或亚硫酸钠稀溶液中浸泡 2~3 min 或进行烫漂处理,然后切片再进行预冻。冻结过程会产生盐效应和机械效应等影响鲜菇质量,而且冻结速度不同会产生不同粒度的冰晶而直接影响升华干燥速度,因此冻结速度是一个较重要的工艺参数。试验表明,对草菇来说,平均冻结速率 1~2℃/min,可得到较好的综合质量。

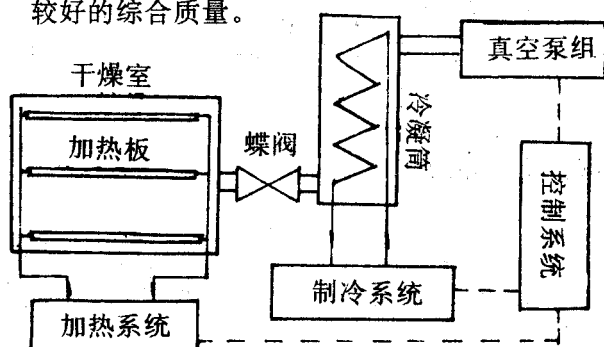


图1 升华干燥装置示意图

升华干燥是加工冻干食品的关键工序,该工序通常需几个小时甚至十多个小时,图2为升华干燥装置示意图。

在进行冷冻干燥前,通常须测定物料的共

晶点、共融点及最高允许温度等参数。因为升华干燥是在真空状态下进行,只有在物料中溶液全部冻结后才能进行升华,若有部分液体存在,在真空下会迅速蒸发,造成液体浓缩、营养成分流失、产品体积缩小。另外在升华阶段,应控制产品温度在共融点以下,否则会使冰晶融化,同样影响产品质量。本试验采用简单的电阻测量装置来测定草菇的共晶点和共融点,即当草菇中水分全部冻结为冰时,草菇的电阻值突然增大,且几乎为无穷大,此时温度即为共晶点。而当已冻结的草菇加热时,电阻值突然减小的温度即为共融点。本试验测得草菇的共融点为一20℃,共晶点约为一23℃。另外还对草菇的最高允许温度(防止焦黄、变性)进行测定,约为50~53℃。

确定上述参数后,便可制定升温程序,对草菇进行升华干燥。将已完全冻结的草菇(通常冻至-30℃,移入干燥室过程中草菇温度会略有升高)从冷冻柜移入干燥室,启动真空泵组,当压力达到要求后(通常低于133Pa),对隔板进行升温。物料的供热方式有多种,传统的冻干机大多采用隔板导热供热方式,即将物料置于一托盘上,再将托盘直接置于加热隔板上,物料中水汽从物料上表面逸出,这种传统的供热方式主要用于药物或生物制品这类要求极为严格的物料冻干。而食品冻干则大多采用辐射供热方式^[1],即将装有物料的托盘置于两辐射加热板中间,而不是置于加热隔板上,热量由上下两加热板以辐射的形式传给物料,其优点是强化传热和方便装卸物料(可将装有物料的所有托盘一次性推入或移出干燥室)。

本研究采用以上两种供热方式对切片草菇进行冷冻干燥,但在辐射法供热时,采用网状托盘代替板状托盘,以使水汽从草菇上下表面同时逸出(图3)。当干燥室压力达要求后,通过调整辐射板温度,使切片草菇上下表面温度在1h左右升至最高允许温度并维持到干燥结束。物料上下表面水份升华后,上下两冰面(升华面)同时向物料内部退却直至截面中心,此时升华过程结束,解吸过程(脱除结合水)开始。而采用

隔板导热法供热时(图4),在升华阶段,物料下表面无水汽逸出,物料下部仍处于冻结状态,故物料下表面温度必须保持在低于共熔点但又接近共熔点,而物料上表面则升至最高允许温度(对采用隔板导热法供热的冻干机来说,往往较难同时满足这两个要求,故现在的食品冻干设备大多采用辐射供热形式)。当冰面从物料上表面逐渐移至下表面时,升华过程结束,此时将物料下表面温度迅速升至最高允许温度,并保持至干燥过程结束。试验结果表明,对于1cm厚的切片草菇,当干燥室压力为80 Pa,采用网状托盘辐射供热时,除去物料97%的水分约需干燥时间7 h,其中升华阶段(物料开始抽真空至中心温度达共熔点的时间)约3 h;而采用板状托盘导热法供热时,除去物料97%的水分约需干燥时间8.5 h,其中升华阶段时间约4 h。

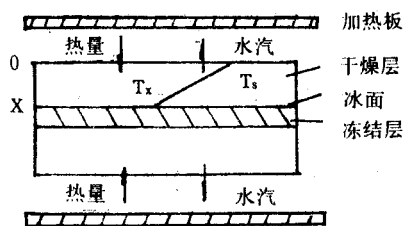


图2 采用网状托盘冻干时热量、水汽传递模型

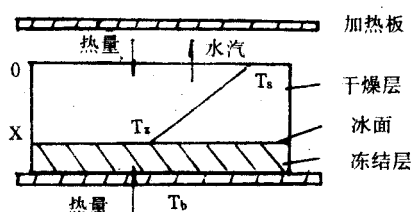


图3 采用板状托盘冻干时热量、水汽传递模型

为解释上述实验结果,对草菇冻干的升华阶段进行理论分析。物料的水汽流率可表示为:

$$N_w = \rho \epsilon \frac{dx}{dt} \quad (1)$$

对辐射供热冻干(图3),有热量平衡:

$$R_d \frac{T_s - T_x}{x} = N_w \Delta H_s \quad (2)$$

对于图4所示的冻干过程,有热量平衡:

$$R_f \frac{T_b - T_x}{L - x} + R_d \frac{T_s - T_x}{x} = N_w \Delta H_s \quad (3)$$

联立(1)、(2)两式,并将x从0到L/2进行积分,得到升华阶段时间表达式:

$$t = \frac{\rho \epsilon L^2 \Delta H_s}{8 R_d (T_s - T_x)} \quad (4)$$

联立(1)、(3)两式,并将x从0到L进行积分,得到升华阶段时间表达式:

$$t = \rho \epsilon L^2 \Delta H_s \left[\frac{1}{2(a-b)} + \frac{b}{(a-b)^2} - \frac{ab}{(a-b)^3} \ln\left(\frac{a}{b}\right) \right] \quad (5)$$

其中 $a = R_f(T_b - T_x)$, $b = R_d(T_s - T_x)$

(4)、(5)两式中的 T_x 值有所不同,对于图3所示的冻干过程,升华温度 T_x 在冰面移动过程中保持不变,其估算方法见文献[2],得 $T_x = 243K$ 。对于图4所示的冻干过程,升华温度在冰面移动过程中略有增加,取其平均值值得 $T_x = 245K$,其中估算方法见文献[3]。表1所示的其它物性参数^[3]代入(4)、(5)两式得两种情形的升华阶段,时间分别1.6 h和2.6 h。虽然升华阶段时间计算值与实验值有一定误差(主要由于计算过程未考虑抽真空时间和加热板升温时间),但计算结果同样说明采用网状托盘辐射供热可缩短升华时间。至于解吸阶段,两种情形的操作条件非常接近,仅是水汽传递过程有所不同,但因冻干过程中传质(水汽传递)为非控制步骤,故解吸阶段时间相差不大。

3 草菇质量分析

冻干草菇在常温水中,几分钟内就能全部复水,经品尝保持了新鲜草菇的色、香、味。

表2为未加任何保护剂时,新鲜草菇、冻干草菇及真空包装室温贮藏3年的冻干草菇的氨基酸含量分析。因鲜菇与干菇含水量不同,无法在同一基准上进行氨基酸含量比较,故在表2中已参考鲜、干草菇的含水量将干菇中的氨基酸折算成相当于100 g新鲜草菇时的氨基酸含量。从表2看出,10种氨基酸在冷冻干燥过程中保存了98%,在贮藏过程中约保存了71%。

