

## 液氮速冻黑牛肝菌冻结规律初步研究

樊建, 赵天瑞, 李永生, 覃宇悦, 朱俊  
(昆明理工大学 食品工程研究中心, 云南 昆明 650224)

**摘要:** 采用液氮速冻, 研究在不同的冻结温度下黑牛肝菌的冻结温度曲线及其冻结速度和汁液流失率之间的关系等。结果表明: 对黑牛肝菌进行缓慢冻结时, 出现了明显的冻结三阶段现象, 而在液氮速冻时此三阶段不明显; 建议采用  $-80^{\circ}\text{C}$  以下温度进行冻结, 冻品在  $-26^{\circ}\text{C}$  冰箱中冻藏6个月, 解冻后的汁液流失率低于2.4%。

**关键词:** 液氮速冻; 黑牛肝菌; 冻结规律

**中图分类号:** TS205.7      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1007-855X(2004)05-0120-04

### Study on Boletus Aereus Freezing Pattern by Liquid Nitrogen Flash Freezer

FAN Jian, ZHAO Tian-rui, LI Yong-sheng, QIN Yu-yue, ZHU Jun

(Research Center for Food Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650224, China)

**Abstract:** The Boletus aereus freezing pattern was studied through analyzing the freezing curve at different temperature, freezing speed and juice leakage by liquid nitrogen flash freezer. The results show that there are three freezing stages by slow freezing, but the three freezing stages are not obvious by liquid nitrogen flash freezer. The proposal is to freeze the mushroom under  $-80^{\circ}\text{C}$ , the frozen food is stored 6 months at  $-26^{\circ}\text{C}$ , and its juice leakage is less than 2.7% after thawing.

**Key words:** liquid nitrogen flash freezer; Boletus aereus; freezing pattern

#### 0 引言

黑牛肝菌 (*Boletus aereus*), 又名枣铜色牛肝菌、煤色牛肝菌, 担子菌亚门, 牛肝菌目, 牛肝菌科, 牛肝菌属。其菌盖扁半球形至弧形, 直径3~11.5 cm, 灰褐色至煤烟色, 不粘, 边缘完全, 内卷; 菌管初期白色, 后变为粉红色, 呈蜂窝状排列, 与菌柄直生或离生; 菌肉白色, 受伤后变为淡黄色; 菌柄粗壮, 上部稍细, 中、下部粗且膨大为纺锤状, 长3.5~9 cm, 粗1.1~1.6 cm, 色与菌盖相同, 上部颜色稍淡, 有显著的褐色网纹和微小的点状绒毛, 内实。夏、秋季生于栎树或松树林, 单生, 根部泥土微酸性。我国常见于云南、四川、贵州、广西等地<sup>[1]</sup>。

黑牛肝菌营养丰富, 食味佳美。据分析, 100 g 黑牛肝菌鲜品中, 含水分90.6 g, 蛋白质3.6 g, 脂肪0.2 g, 碳水化合物3.2 g, 膳食纤维1.6 g, 硫胺素0.07 mg, 核黄素0.31 mg, 尼克酸6.6 mg, 钾291 mg, 钠1.3 mg, 还含有丰富的钙、铁、锌、硒等其它矿质元素<sup>[2]</sup>。由此可见, 黑牛肝菌是典型的高蛋白低脂肪食品, 其核黄素含量超过了口蘑、香菇、冬菇、鸡枞、木耳、银耳等著名食用菌, 为核黄素较高的食品。另外, 黑牛肝菌中钾的含量较为丰富, 且钾钠比很大(钾/钠为224), 不仅钾在人体中参与了蛋白质、碳水化合物和能量的代谢及物质转运, 有助于预防和治疗高血压, 而且高的钾钠比有助于维持机体的酸碱平衡<sup>[3]</sup>。

目前常用的黑牛肝菌保藏方法有盐渍、切片制成干品、罐装等等, 也有冻品形式存在, 但多采用冷库冻藏, 尚未见对其进行液氮速冻的报道。本研究对黑牛肝菌采用流态化液氮速冻, 测定其不同冻结温度下的温度曲线、冻结速度及解冻后的汁液流失率等, 旨在探索黑牛肝菌的适宜速冻工艺条件, 为提高其商品

收稿日期: 2003-10-08.

第一作者简介: 樊建(1964~), 男, 副教授。主要研究方向: 食品研究。E-mail: fj-333@sohu.com.

价值提供参考.

## 1 材料与方 法

### 1.1 供试材料

黑牛肝菌:购自云南省祥云县.原料要求用大小较为均匀,无损伤,色泽纯正的新鲜样品.进行去除根部泥土等处理后,用水清洗,晾干备用.

### 1.2 仪器设备

恒温水浴锅;天平;真空包装机;冰箱;液氮速冻设备,如图1.

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 热电偶的制作和矫正

将两根同等长度的康铜丝和纯铜丝相互缠绕在一起,一端用4号细砂纸打磨约5mm长,并用锡点焊将两金属丝顶端相互连接在一起,另一端则打磨约30mm长(打磨时尽量在保持原粗细的前提下将表面镀层尽量磨干净)后插入传感器中,之后打开计算机温度测试程序,将热电偶一端放入恒温水浴锅中,找出让温度曲线平稳的参数值.再浸入不同浓度的NaCl和MgCl<sub>2</sub>冰水溶液中,用同样方法得到使温度平稳的参数值,由此确定热电偶的测温性质,并于程序中进行矫正设定,达到准确测温的目的.

#### 1.3.2 筛板及风速的选定

在冻结室底部分别安装不同孔径的筛板,在筛板位置上下不远处各有一孔洞与外界相连,用U型管压力计测定不同风速于筛板上下的压力变化,另外还在装置水平位置插入风速计探头连接至主控电脑.于筛板上放置样品,用不同筛板和风速记录其压强,求压降并作图画线.观察不同情况下样品在筛板上的流化高度.最后综合以上情况找出适合该样品的最佳孔径筛板及风速.

#### 1.3.3 样品温度的测定

取大小适中的黑牛肝菌,将热电偶穿过其较为结实的一部分后,分别插入黑牛肝菌的中央和表层约1mm处,与其它未连接热电偶的食用菌一起放入冻结室中进行试验.冻结温度分别采用-100℃,-80℃,-60℃及-35℃(-35℃用冰箱冻结),温度变化及冻结温度曲线由计算机显示并自动记录和描绘.

#### 1.3.4 冻结速率<sup>[4]</sup>

以时间计算,即食品中心温度从-1℃降到-5℃所需的时间.

#### 1.3.5 汁液流失率

在不同冻结温度下所得的黑牛肝菌冻品,都放入-26℃冰箱中冻藏6个月,取出冻品于室温下空气中解冻,让汁液自然流出,用滤纸吸干其表面后称重,计算汁液流失率:

$$\text{汁液流失率}(\%) = 100(\text{冻结前重} - \text{解冻后重})/\text{冻结前重}$$

## 2 结果与讨论

### 2.1 冻结温度曲线

在冻结过程中,食品温度逐步下降.显示冻结期间食品温度与时间的关系曲线,称之为“冻结温度曲线”.此曲线一般分为三个阶段<sup>[5]</sup>:初阶段,即从初温到冰点,这时放出的是显热.此热量与全部放出的热量比较,其值较小,故降温快,曲线较陡;中阶段,此时食品大部分水分结成冰.由于冰的潜热大于显热约50

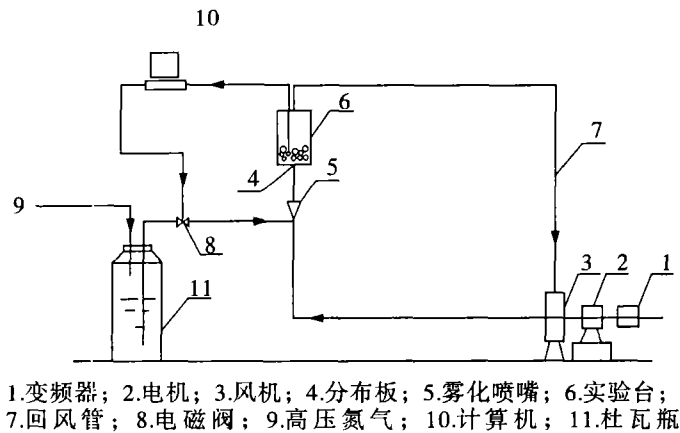


图1 液氮速冻装置图

Fig.1 The equipment of liquid nitrogen flash freezer

~60倍,整个冻结过程中大部分热量在此阶段放出,降温慢,曲线平坦;终阶段,从成冰到终温,此时放出的热量一部分是冰的降温,一部分是余下的水继续结冰.冰的比热比水小,照理曲线更陡,但因还有残留水结冰,其放出的热量大于水和冰的比热,所以曲线不及初期阶段那样陡峭.

黑牛肝菌在四种温度下的冻结温度曲线如图2~5所示.其中,-35℃(缓冻)是在普通家用冰箱中完成的.

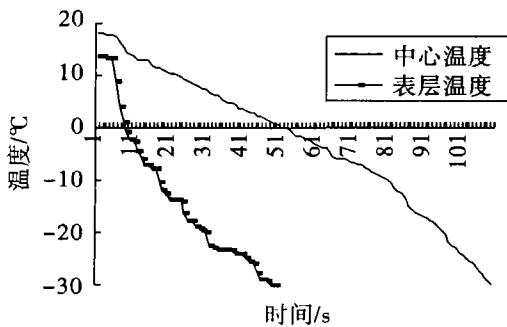


图2 黑牛肝菌-100℃冻结温度曲线

Fig.2 The freezing curve of the *Boletus aereus* at -100℃

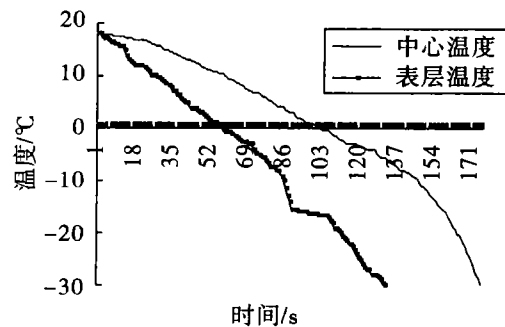


图3 黑牛肝菌-80℃冻结温度曲线

Fig.3 The freezing curve of the *Boletus aereus* at -80℃

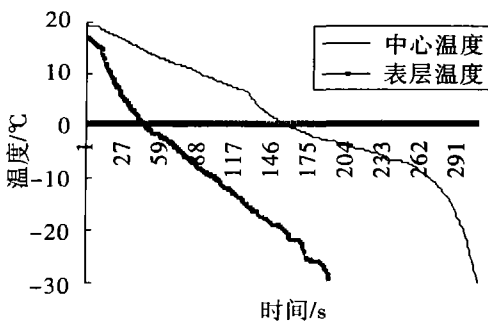


图4 黑牛肝菌-60℃冻结温度曲线

Fig.4 The freezing curve of the *Boletus aereus* at -60℃

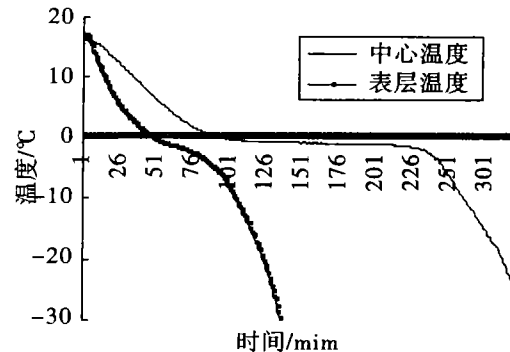


图5 黑牛肝菌-35℃冻结温度曲线

Fig.5 The freezing curve of the *Boletus aereus* at -35℃

由以上四图结果可以看出,液氮速冻黑牛肝菌冻结过程与一般食品的冻结过程不同.-100℃冻结时,黑牛肝菌的中心温度随时间匀速下降,整个冻结过程没有出现以上所述的冻结三阶段现象;与-100℃冻结情况类似,-80℃冻结时,亦无明显的冻结三阶段现象,仅出现一个终阶段;-60℃冻结情况则不同,在冻结过程中初阶段、中阶段及终阶段都有显现.但其终阶段曲线远比初阶段曲线要陡峭得多,这也与一般食品冻结曲线不一致;而-35℃(缓冻)则有明显的冻结三阶段出现,且中阶段所需时间长于其它两个阶段,这与一般食品冻结规律相一致,但其终阶段似乎也比初阶段更为陡峭.在以上四种温度下对黑牛肝菌进行速冻或缓冻,都没有过冷现象出现.

试验结果反映出,冻结曲线平坦段(即中阶段)的长短与冷却介质和食品间的温差相关.温差越大,则中阶段的曲线平坦段越短.而试验初期,食品表面潮湿,或在其表面落有霜点,或样品的震动等使食品表面层有冰形成,故无明显的过冷现象.之后,冰晶从表面层向深层发展,内层本身就很少有过冷现象出现的缘故<sup>[5]</sup>.

## 2.2 冻结速度与解冻时的汁液流失

根据计算机记录热电偶所反映的黑牛肝菌中心温度,把四种冻结温度下所得的情况归纳在表1中(表中所列数据为6个样品的平均值).而在四种冻结温度及速度下所得黑牛肝菌冻品解冻后的汁液流失情况见表2.

由表1可以知道,当采用 $-100^{\circ}\text{C}$ 、 $-80^{\circ}\text{C}$ 、 $-60^{\circ}\text{C}$ 及 $-35^{\circ}\text{C}$ (缓)把黑牛肝菌从室温冷冻到 $-30^{\circ}\text{C}$ 时,其平均降温速度分别为 $27.03^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 、 $16.74^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 、 $9.798^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 及 $0.146^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ .本试验中的 $-100^{\circ}\text{C}$ 、 $-80^{\circ}\text{C}$ 及 $-60^{\circ}\text{C}$ 采用喷雾式流态化液氮速冻装置,而 $-35^{\circ}\text{C}$ (缓)采用冰箱中静态空气冻结,故速度相差很大.

表1 黑牛肝菌冻结过程中的温度变化(风速: $3.5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )Tab.1 Teh change of temperature of the *Boletus aereus* in freezing

| 冻结温度                   | 开始温度/ $^{\circ}\text{C}$ | 降至 $-1^{\circ}\text{C}$ 用时/s | 降温速度/ $^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^{-1}$ | $-1\sim-5^{\circ}\text{C}$ 用时/s | 降温速度/ $^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^{-1}$ | $-5\sim-18^{\circ}\text{C}$ 用时/s | 降温速度/ $^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^{-1}$ | $-18\sim-30^{\circ}\text{C}$ 用时/s | 降温速度/ $^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^{-1}$ | 降温总需时/s | 平均降温速度/ $^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^{-1}$ |
|------------------------|--------------------------|------------------------------|--|---------------------------------|--|----------------------------------|--|-----------------------------------|--|---------|--|
| $-100^{\circ}\text{C}$ | 17.4                     | 55.3                         | 19.96                                      | 11.7                            | 20.51                                      | 22.7                             | 34.36                                      | 15.5                              | 46.45                                      | 105.2   | 27.03  |
| $-80^{\circ}\text{C}$  | 18.2                     | 105                          | 10.97                                      | 21.5                            | 11.16                                      | 25.5                             | 30.59                                      | 20.7                              | 34.78                                      | 172.7   | 16.74  |
| $-60^{\circ}\text{C}$  | 17.8                     | 169                          | 6.674                                      | 34.5                            | 6.956                                      | 63.5                             | 12.28                                      | 25.7                              | 28.02                                      | 292.7   | 9.798  |
| $-35^{\circ}\text{C}$  | 17.8                     | 122                          | 0.154                                      | 141                             | 0.028                                      | 42.8                             | 0.304                                      | 22.3                              | 0.538                                      | 328.1   | 0.146  |

注: $-35^{\circ}\text{C}$ 冻结时降温所需时间单位为“min”.

由表2可以看出, $-100^{\circ}\text{C}$ 与 $-80^{\circ}\text{C}$ 冻结效果相近,在 $-26^{\circ}\text{C}$ 冰箱中冻藏6个月,解冻后的汁液流失率很低,分别为2.1%和2.4%; $-60^{\circ}\text{C}$ 冻结效果略差,其汁液流失率为3.8%,而 $-35^{\circ}\text{C}$ 缓冻效果就差得多,其汁液流失率高达7.4%.

我们知道,速冻和缓冻的主要区别在于细胞汁液冻结时,形成冰晶体的大小、数量及其分布差别.缓慢冻结时冰晶体常在细胞间隙内形成,数量少而粗大,由于大粒冰晶体对细胞结构所造成的破坏,以及原生质脱水时形成的高浓度电解质对蛋白质和胶体所产生的不可逆变化,以致原生质在解冻后很难将这些游离状态汁液(原先冻结的水分)重新吸回,解冻后造成汁液流失;相反,快速冻结时水分多在细胞内形成冰晶体,细小量多,分布均匀,因而细胞和原生质受损伤的程度较低,解冻时可将原先冻结的大部分汁液吸回并保持原态.食品汁液中常溶有各种酸类、盐类、萃取物质、可溶性蛋白质和维生素等,因此食品出现严重的汁液流失,也就意味着失去了营养成分和风味<sup>[6]</sup>.

另外,我们对甜脆豌豆的液氮速冻成本进行了仔细分析,其冻结、包装及冻藏等主要加工成本约为1.4元/kg,如用于冻结黑牛肝菌等野生食用菌,其价格是可以接受的.

### 3 结论

综上所述,建议采用 $-80^{\circ}\text{C}$ 以下温度进行冻结,冻品在 $-26^{\circ}\text{C}$ 冰箱中冻藏6个月,解冻后的汁液流失率可低于2.4%,可很好地保持黑牛肝菌的商品价值.

致谢 云南梅塞尔气体产品有限公司许源工程师及本中心张惠芬老师对本试验给予了大力支持,在此一并表示感谢.

#### 参考文献:

- [1] 张光亚.中国常见食用菌图鉴[M].昆明:云南科技出版社,1999.65.
- [2] 赵玉堂,周玲仙.云南食物成分表[M].昆明:云南科技出版社,2003.14~15.
- [3] 陈炳卿.营养与食品卫生学(第三版)[M].北京:人民卫生出版社,1994.18.
- [4] 高福成,张慧.速冻食品[M].北京:中国轻工业出版社,1998.14.
- [5] 上海水产学院,湛江水产学院,浙江水产学院编著.食品冷冻工艺学[M].上海:上海科学技术出版社,1984.40~41.
- [6] 天津轻工业学院,无锡轻工业学院.食品工艺学(上册)[M].北京:中国轻工业出版社,1993.209~211.

表2 冻结温度及速度与黑牛肝菌汁液流失关系

Tab.2 On the effects juice leakage by freezing temperature and *Boletus aereus* speed

| 冻结温度/ $^{\circ}\text{C}$ | $-35$ (缓) | $-60$ | $-80$ | $-100$ |
|--------------------------|-----------|-------|-------|--------|
| 冻结速度/min                 | 141       | 0.575 | 0.358 | 0.195  |
| 汁液流失率/%                  | 7.4       | 3.8   | 2.4   | 2.1    |