

文章编号: 1004 - 7271(2001)01 - 0055 - 05

## 马铃薯在高压静电场中冻结后贮藏的试验研究

谢 晶<sup>1</sup>, 华泽钊<sup>2</sup>

(1. 上海水产大学食品学院, 上海 200090; 2. 上海理工大学食品科学与工程研究所, 上海 200093)

**摘要:**微能源在食品工业中的应用日益广泛。本文对不同高压静电场强冻结的马铃薯在  $-20^{\circ}\text{C}$  下贮藏的品质变化进行了实验研究。研究发现:无电场冻结的样品的质地相同的贮藏期内最差;经较低场强冻结的样品之间的质地特性差别不大,但较无电场冻结的要高;经强电场  $250\text{ kV/m}$  冻结的样品的质地较好。在较低场强下冻结的样品的持水能力较无电场冻结的要差;经  $250\text{ kV/m}$  电场处理的样品失水率低,品质较好。

**关键词:**马铃薯;高压直流电场;冻结;冷藏;质地;持水能力

中图分类号:TB69 文献标识码:A

### The experimental research on the cold storage of potatoes frozen in high electrostatic fields

XIE Jing<sup>1</sup>, HUA Ze-zhao<sup>2</sup>

(1. College of Food Science, SFU, Shanghai 200090, China; 2. Institute of Food Science & Technology, USST, Shanghai 200093, China)

**Abstract:** Electrostatic field is a kind of micro-energy widely used in food industry. The variation of potato quality was studied when the sample was frozen while high electrostatic field was applied and then stored at  $-20^{\circ}\text{C}$ . It was observed that the quality (texture index and water holding capacity WHC) of fresh potatoes frozen and then stored even at  $-20^{\circ}\text{C}$  was obviously declined. However, when fresh potatoes were frozen with various intensities of high electrostatic field applied and then stored at  $-20^{\circ}\text{C}$ , the quality of which was improved in comparison with the quality of those frozen with no electrostatic field applied. The experimental results also showed that no difference in texture index was observed among the samples frozen with low intensity of electrostatic field applied, but their texture index was higher than the sample frozen without field applied. Better texture and WHC were recorded on the samples frozen with  $250\text{ kV/m}$  applied. The water holding capacity of the samples frozen with low intensity of electrostatic field applied was less than those frozen with no field applied.

**Key words:** potato; high electrostatic field; freezing; cold storage; texture index; drips

食品的保存是食品生产、流通过程的极为重要的环节。食品的保存有常温下的保存和低温保存。利用低温的方法来贮藏易腐食品具有突出的优点。在低温保存中根据被保存食品是否冻结又可分为冷却贮藏(chilling storage)和冻结贮藏(frozen storage)两种。冻结贮藏的应用是十分普遍的。人们已进行过许多有关这方面的研究:如冻藏温度的选择;在玻璃化温度或以下贮藏;冻结过程对后期贮藏的影响等。

收稿日期: 2000-09-04

基金项目:国家自然科学基金项目(59776012)和上海市教委青年基金(2000QN55)

第一作者:谢 晶(1968-),女,浙江嵊州人,副教授,工学博士,从事食品冷冻冷藏方面的研究。

本文主要从在冻结过程中加入微能源(所加的高压静电场,输出功率仅为几瓦至几十瓦)对后期贮藏影响的角度入手。静电场作为微处理技术的应用已有许多报道,如高压静电场用于食醋的催陈<sup>[1,2]</sup>、农作物种子的处理<sup>[3]</sup>、果蔬的保鲜<sup>[4]</sup>等,但将其用于食品的冻结过程却未见有人研究,本文的工作是在前期研究的基础上<sup>[5,6]</sup>,主要考察经不同场强冻结的马铃薯在贮藏过程中品质的变化,选择质地特性和持水能力为质量评价指标,与未加电场冻结的冻品进行比较。

## 1 材料、设备与方法

### 1.1 材料及设备

供试样品均选用外观完好、新鲜度良好、品质均匀的马铃薯,用水清洗干净。每次实验中都是将一批马铃薯每个一切为二,切成厚为1cm的近半圆片状,分别作为电场下冻结和无电场冻结的样品,这样可以消除由于马铃薯个体差异造成的影响。

实验设备如下:

- (1)高压静电低温试验台<sup>[6]</sup>(如图1所示);
- (2)半导体测温仪(上海医用仪表厂,WMY-01型);
- (3)-20℃的冰箱;
- (4)Otlawa Textural Measuring System Model MCI061质地测定仪;
- (5)天平(上海医疗器械八厂)。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 冻结方法

在高压静电低温试验台中分别加入场强为50、100、150、200、250kV/m的高压静电场,与不加电场的对照组在同样的温度条件下进行冻结,平均冻结时间为3.5h,马铃薯片在低温试验台中间的冻结前冷却速率和冻结过程中的界面前移速度按文献<sup>[7]</sup>推荐方法计算分别为22℃/h、0.6cm/h。

#### 1.2.2 贮藏方法

冻结食品质量下降的主要原因是由结晶、再结晶和酶的活性引起的,而结晶、再结晶和酶的活性是受扩散控制的、在某一特征温度下发生的特殊的物质结构松弛过程,他们在橡胶态和玻璃态的反应速率可用 Arrhenius 和 WLF(Willams-Landel-Ferry)方程定量描述<sup>[8,9]</sup>。

##### (1) Arrhenius 方程

$$\eta = \eta_0 \exp(-E_a/RT) \quad (1)$$

式中,  $\eta$  ——粘度(或其它受扩散控制的松弛量)Pa·s

$\eta_0$  ——温度为  $T_0$  时的  $\eta$  值 Pa·s

$E_a$  ——活化能 J/mol

$R$  ——摩尔气体常数  $R = 8.314 \text{ J}/(\text{K}\cdot\text{mol})$

$T$  ——绝对温度 K

##### (2) WLF 方程

$$\lg\left(\frac{\eta/\rho T}{\eta_g/\rho_g T_g}\right) = \frac{C_1(T - T_g)}{C_2 + (T - T_g)} \quad (2)$$

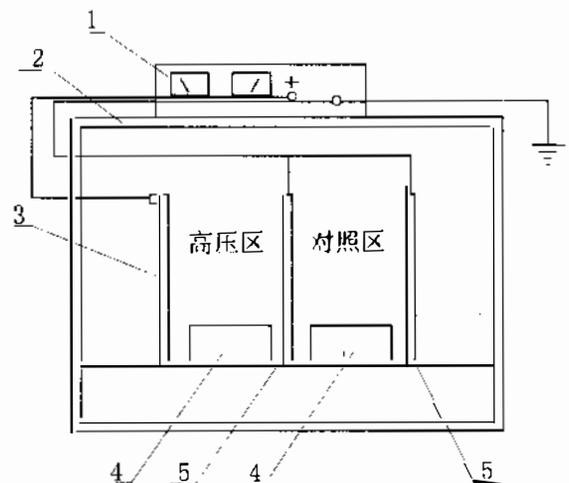


图1 高压静电低温试验台示意图

Fig.1 Schematic of high electrostatic voltage freezing system  
1.高压直流电源;2.低温试验箱;3.高压电极;4.物台;5.接地电极

式中,  $\rho$  —— 密度  $\text{Kg/m}^3$

$\rho_g, \eta_g$  —— 基质在  $T_g$  时的密度、粘度  $\text{kg/m}^3, \text{Pa}\cdot\text{s}$

$C_1, C_2$  —— 物质常数

、如果食品处于橡胶态,则基质中结晶、再结晶和酶的活性等变得十分活跃,这些反应过程减小了贮藏的稳定性,降低了食品的品质;相反,如果冻结食品处于玻璃态,一切受扩散控制的松弛过程将极大地被抑制,甚至不会发生,使食品在较长的贮藏时间内处于稳定状态,且质量很少或不发生变化,这一点已被大量的事实所证实<sup>[10-12]</sup>。

根据文献介绍马铃薯的最大浓度的玻璃化转变温度  $T_g'$  约在  $(-12 \sim -18^\circ\text{C}^{[13-15]})$ , 根据实验室条件,选择  $-20^\circ\text{C}$  作为本次马铃薯冻藏实验的玻璃化保存温度。

### 1.2.3 质量指标的测量方法

本实验所测量的马铃薯的质量指标包括质地特性和持水能力。质量指标每隔 10 天测量一次,共测 4 次。

(1)质地特性:采用 Otlawa Textural Measuring System 质地测定仪。将贮藏的马铃薯片放在  $2^\circ\text{C}$  的恒温箱中解冻,待温度达到平衡后,拿出进行穿刺试验(Puncture test),穿刺探针直径 4 mm。

质地特性测定条件如下:穿刺探针型号 D-1452,底部极限间隙 1 mm,穿刺速度 10 cm/min,走纸速度 300 mm/min。

(2)持水能力:采用自然失水法。贮藏的马铃薯片放在  $2^\circ\text{C}$  的恒温箱中解冻,待温度达到平衡后,放在室温环境  $(18 \pm 2)^\circ\text{C}$  下自然升温,用天平每隔 20min 称重 1 次,求出失水率。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同场强处理的冻品的质地随时间变化曲线

将马铃薯样品升至室温  $(18^\circ\text{C})$ ,再进行穿刺实验时,发现马铃薯有不同程度的软踏和异味,所以我们先把马铃薯样品放在  $2^\circ\text{C}$  的恒温箱中解冻 4h,待所有的样品均完全解冻且温度达到平衡后,立即进行穿刺实验。这时的正向最大力值  $F_{\text{max}}$  能较好地反映马铃薯样品的质地特性。

每次测定质地特性时,均从每种样品中随意取出 4 片,组成两组,每片样品测 4 次质地指标,测量后求平均值。为比较,还测定了两片新鲜马铃薯片的  $F_{\text{max}}$  值,8 次测量的平均值为:  $(26.21 + 28.43 + 25.99 + 24.37 + 27.63 + 29.02 + 26.48 + 24.53) \div 8 = 26.71 \text{ N}$ ,本实验测定的质地特性参数为  $F_{\text{max}}$ ,结果如图 2 的 a)、b)所示。

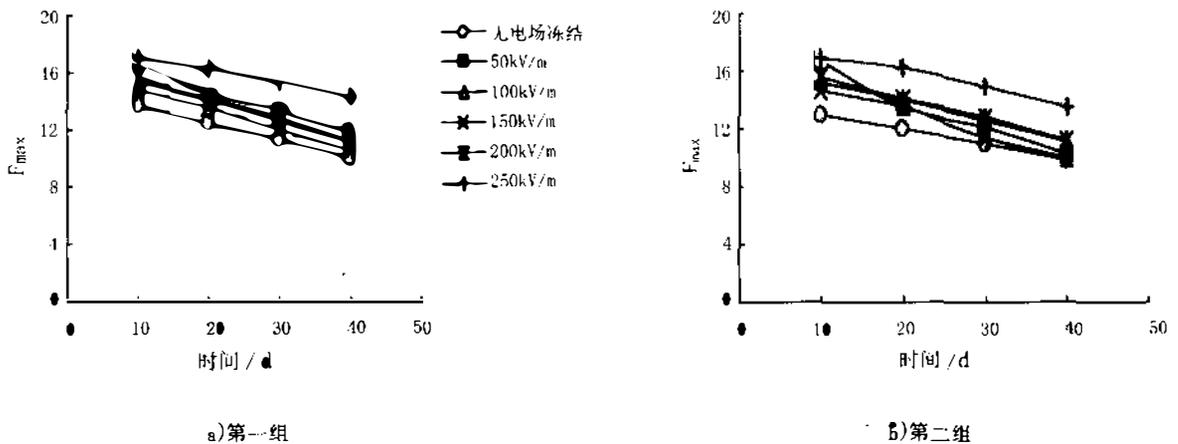


图 2 马铃薯经不同场强冻结后的  $F_{\text{max}}$  随贮藏时间的变化  
Fig.2 The change of texture of potatoes frozen in high electrostatic field  
注:a)、b)图例同。

### 2.2 不同场强处理的冻品的液汁流失随时间变化曲线

先将马铃薯片放在 2℃ 的恒温箱中解冻 4h,待温度达到平衡后,放在室温环境(18±2)℃下自然升温,用天平每隔 20min 称重 1 次,求出失水率。

$$\text{失水率} = \frac{\text{流失的液汁质量}}{\text{初始质量}} \tag{3}$$

每次每种样品取 3 片,测量后求平均值。图 3 - 图 6 为经 -20℃ 低温贮藏 10、20、30、40d 后的样品复温后的失水率随测量时间的变化关系。

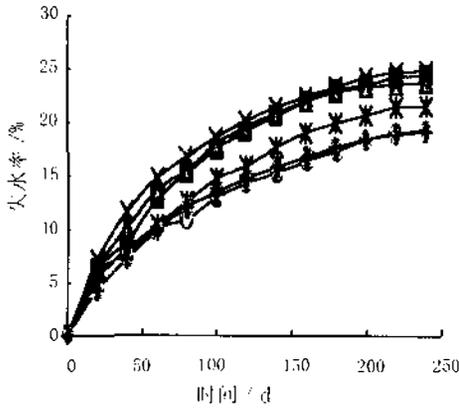


图 3 贮藏 10d 后样品的失水率  
Fig.3 Drip loss of samples (10 days)  
注:图例同图 2.

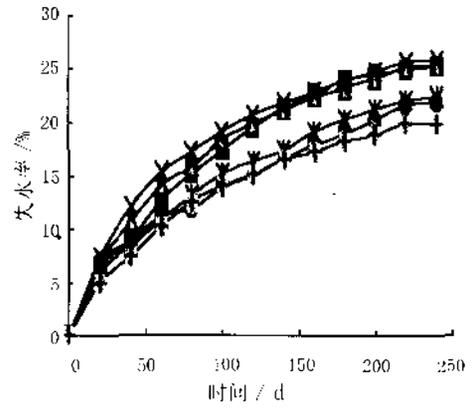


图 4 贮藏 20d 后样品的失水率  
Fig.4 Drip loss of samples (20 days)  
注:图例同图 2.

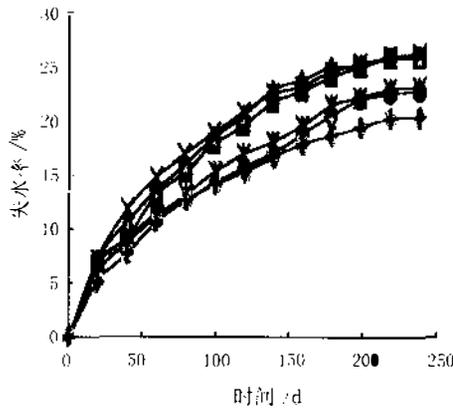


图 5 贮藏 30d 后样品的失水率  
Fig.5 Drip loss of samples (30 days)  
注:图例同图 2.

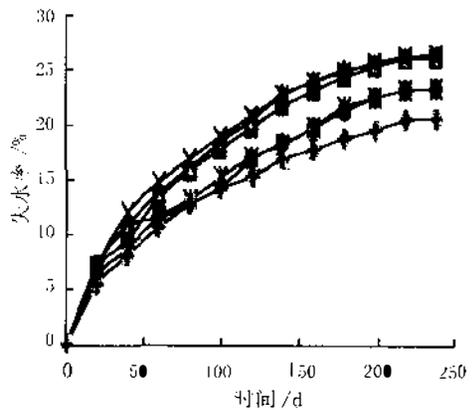


图 6 贮藏 40d 后样品的失水率  
Fig.6 Drip loss of samples (40 days)  
注:图例同图 2.

从图 3 - 图 6 可见,当升温时间大于 240min 时,失水率不再有明显的升高,呈平稳趋势,第 240 分钟的失水率能较好地反映各样品的持水能力,所以取第 240 分钟时的失水率代表马铃薯样品自然复温后的持水能力。

贮藏 10、20、30、40d 后,各种场强下冻结的马铃薯样品失水率与贮藏时间的关系见图 7。由图 7 可见,样品的失水率与贮藏时间成较好的递增线性关系。

### 3 结论

本文主要研究在冻结过程中加入微能源(高压静电场,输出功率为几瓦至几十瓦)对后期贮藏的影响。通过为期 40 天的马铃薯贮藏研究得到如下一些结论:

(1) 随贮藏时间的延长,不管经怎样冻结处理,质地特性和持水能力均下降。若是慢速冻结的样品,其质地指标大大低于新鲜马铃薯的。

(2) 无电场冻结的样品的质地相同的贮藏期内是最差的。经场强 50、100、150、200kV/m 高压静电场冻结的样品之间的质地特性无太大差别,均较无电场冻结的略高,但这种差异随贮藏时间的延长而减小;而经 250 kV/m 电场冻结的样品的质地最好。

(3) 在场强 50、100、150kV/m 下冻结的样品的持水能力相近,在整个研究的贮藏期内均较无电场冻结的要低;而经 250 kV/m 电场处理的样品最好,失水率最低。在 200 kV/m 电场冻结的样品的失水率,经短期贮藏时高于对照组的,但随着贮藏期的延长与不加电场冻结的样品的相接近。

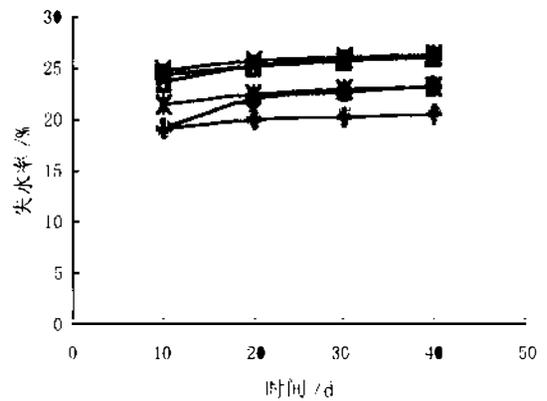


图 7 失水率随贮藏时间的变化

Fig. 7 The change of drip Loss

注:图例同图 2。

### 参考文献:

- [1] 蒋耀庭,孙 英.高压静电场食醋成分变化微观机理初探[J].静电,1993,1:97-100.
- [2] 蒋耀庭,孙 英.高压静电场食醋成分变化实验研究[J].中国酿造,1991,6:3-7.
- [3] 李里特.工程中的电磁处理技术的原理和新动向[A].中国机械工程学会包装与食品工程分会第四届学术年会论文集[C].北京:中国机械工程学会,1995.69-174.
- [4] 方 胜,李里特.静电场对番茄保鲜过程的影响[J].食品科学,1997,1:5-9.
- [5] 谢 晶,华泽钊.马铃薯在高压直流电场中解冻的实验研究[J].上海理工大学学报,2000,3:199-202.
- [6] 谢 晶,华泽钊.食品在高压直流电场中冻结和解冻的实验研究[J].食品科学,2000,11:26-30.
- [7] 华泽钊,李云飞,刘家林.食品冷冻冷藏原理与设备[M].北京:机械工业出版社,1999.104-110.
- [8] Schwartzberg H G, Hartel R W. Physical chemistry of foods[M]. New York: Marcel Dekker Inc., 1992.97-109.
- [9] Williams M L, Landel R F, Ferry J D. Temperature dependent of relation mechanisms in amorphous polymers and other glass forming liquids[J]. J Am Chem Soc., 1955, 37: 3701-3706.
- [10] Ogawa H, Inamura V. Stabilized solid compositions[P]. U.S.A.: 4,547,377, 1985.
- [11] Miller D H, Mutka J R. Process for forming solid juice composition and product of the process[P]. U.S.A.: 4,499,112, 1985.
- [12] 刘家林,华泽钊,任永盛.冻结食品的玻璃化保存[J].制冷学报,1996,1: 26-31.
- [13] Levine H, Slade L. A food polymer science approach to the practice of cryostabilization technology[J]. Comments Agric, Food Chemistry, 1989, 1: 315-329.
- [14] Levine H, Slade L. Cryostabilization Technology: Thermoanalytical evaluation of food ingredients and systems[A]. Ma C Y, Harwalkar V R. Thermal analysis of foods[C]. London: Elsevier Applied Science, 1990,21-35.
- [15] Biliaderis C G, Page C M, Slade L, et. al. Thermal behavior of amylose-lipid complexes[J]. Carbohydr Polym., 1985, 5: 367-377.