

文章编号 : 1004 - 7271(2002) 01 - 0053 - 05

氯化钠溶液在高压静电场中的冻结和解冻

谢 晶¹, 华泽钊²

(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 : 微能源技术与一些常规的加工过程相结合的应用日益广泛。本文以质量浓度 2.5% 和 5% 的氯化钠溶液为研究对象, 研究了不同高压直流电场场强对其冻结、解冻过程的影响, 主要考察冻结和解冻曲线。研究发现高压直流电场对氯化钠溶液冻结过程、以后的无电场解冻过程、以及其在电场下解冻过程都有一定的影响。以此研究希望对今后进一步以食品为对象进行这方面的工作做一些有益的探索。

关键词 : 氯化钠溶液 ; 高压直流电场 ; 冻结 ; 解冻

中图分类号 : TB69 **文献标识码** : A

Experimental research on the freezing and thawing process of NaCl solution in the high static-electric voltage fields

XIE Jing¹, HUA Ze-zhao²

(1. College of Food Science, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China ;

2. Institute of Food Science & Engineering, USST, Shanghai 200093, China)

Abstract : It is no problem that the present and future developments are based on a combination of preservation factors that use many of the classic preservation procedures such as refrigeration, as well as some new factors. This paper investigated the effects of different electric field intensity on the freezing processing, thawing processing of NaCl solution, and found that the field intensity had some influences on the freezing and thawing process. The work may be useful to the future research on food in this field.

Key words : NaCl solution ; high electrostatic voltage field ; freezing ; thawing

Schaefer^[1]在 1953 年以过冷的云为研究对象, 研究了静电场对从水蒸汽析出的冰晶生长的影响, 在实验中 Schaefer 发现, 从电极出发沿电力线方向冰晶生长极快, 虽然该项工作没能解决静电场中冰晶生长规律的问题, 但毕竟显露了这一个有趣的现象; Bartlett 等^[2]进行了闪电(闪电有很高的电场, 高于 104 V/cm)云中冰晶的生长以及静电场中冰晶生长规律的研究, 他们观测到在电场中针状冰晶的生长速度为 5 mm/min, 这个速度是在同样工况下不加电场时冰晶生长速度的 10 ~ 100 倍; 电场对液态和水溶液结晶影响的研究要比对汽相中冰晶生长的影响的研究少得多, 1961 年 Salf^[3]对过冷水和锯蝇、五倍蝇的幼虫在电场下的冻结进行了研究, 他发现经 5 秒 15 kV 电场处理过的样品可在较小的过冷度下冻结, 而相同的未经电场处理的对照组冻结时, 过冷度要大得多, 但他的实验并未受到很多关注, 在其后的文献中很难再找到有关电场对液相中冰晶生长影响的论述, 继 1963 年之后, 1991 年 Ohtsuk^[4, 5]又在美国申请

了静电解冻方法和装置专利,方胜等^[6]1999年以冻结的蒸馏水为试验材料,进行了电场强度200 kV/m下的解冻试验。但是在静电场中溶液的冻结、以及溶液在静电场中解冻的比较系统的研究却未见报道。为此,我们建立了一个高压静电低温试验台,选择质量浓度为2.5%和5%的氯化钠溶液为研究对象,对其进行静电场下冻结、解冻的实验研究。

本文的实验研究工作包括以下三个部分:①以2.5%和5%的氯化钠溶液为研究对象,研究它们在50 kV/m、100 kV/m、150 kV/m和200 kV/m场强的静电场中的冻结过程;②以2.5%和5%的氯化钠溶液为研究对象,在不同电场场强下完成冻结后,立即在无电场下解冻,考察前期静电场作用对后期解冻过程的影响;③在无电场的情况下完成氯化钠溶液冻结,然后在不同高压静电场强(50 kV/m、100 kV/m、150 kV/m和200 kV/m)下解冻,研究静电场作用对解冻过程的影响。

1 材料、设备与方法

1.1 材料

用量筒分别量取97.5 mL和95 mL去离子水加入聚酯瓶中,然后用电子天平称取化学纯级的氯化钠2.5 g、5g,在聚酯瓶中配成质量浓度分别为2.5%和5%的氯化钠溶液。

1.2 主要设备

高压静电低温实验装置依据文献[7],其示意图此处略。它由制冷系统、高压直流电源和直立的可调间距的平行电极、接地电极组成。高压直流稳压电源选用美国GLASSMAN的EH50P2型高压直流电源,输出电压可在0~5万伏间连续调节,最大输出功率100W,可长时间工作。低温实验装置分为两个区域:高压区和对照区(无电场区)。高压直流电源输出的电压由高压绝缘导管导入低温试验台的高压电极板,以在平行电极间产生均匀电场。

因此高压区内的场强可以通过调节电源输出电压和电极板间距离来控制。接地电极将高压区与无电场对照区分开。低温实验装置能保证高压区与无电场对照区温度场一致和均匀。

1.3 实验方法

1.3.1 高压静电场中温度的测量

常规热电偶和热电阻具有精确、稳定、可靠、重复性好以及价廉等优点,但是常规热电偶由于其本身和传输线是金属材料^[8],在高频电磁场下会感生出较大的电流,而给测量带来不可修正的误差。其误差主要来自两方面:①感生电流在仪表输入回路上的压降,将与有用信号叠加,一起送入后面的仪表,对后面的读数造成误差;②感生电流在金属中产生的欧姆热,会加热感温元件并使其温度升高,结果必会导致感温元件感受的温度与被测物体的真实温度不一致,引起温度的错误读数。

对于由第一个原因引起的误差可以通过在仪表的输入端增设滤波加以削弱,但无法完全消除,而第二个原因引起的误差,即在感温元件和传输线中产生的欧姆热而造成的误差,很难单独区分出来加以修正。

虽然未见有文献专门提到常规热电偶和热电阻在高压静电场中测温存在的问题,但从物理学的知识可知,金属元件在静电场中会感应电荷,从而可能会影响测温的准确性。经实际使用也发现常规热电偶在静电场中测温,读数会不规则地跳跃,无法正确地反映温度变化,甚至会由于漏电而击穿数据采集的仪器、仪表。因而,我们选择铠装热电偶作为高压静电场中的测温元件^[9,10]。铠装热电偶的测温原理同常规热电偶,也是利用金属的塞贝克效应,但它比常规热电偶多了一个屏蔽的导管和在导管和电热偶丝间加入了绝缘材料。

1.3.2 冻结、解冻实验的方法

将装有2.5%和5%的NaCl溶液的聚酯瓶放入高压静电低温试验台中进行加电场冻结,然后取出放在 13 ± 2 °C的环境中解冻,解冻时不加电场;将2.5%和5%的NaCl溶液无电场冻结后,在电场中解冻。电极板设定间距为12cm,调节高压直流电源的输出电压,使场强依次为50 kV/m、100 kV/m、150

kV/m 和 200 kV/m。在每个试验中都有不加电场的对照组进行同样的冻结、解冻试验。

用铠装热电偶接电脑数据自动采集系统的数据采集板,进行温度测量和记录。

2 结果与分析

根据铠装热电偶的温度读数,绘制出 2.5% 和 5% NaCl 溶液在高压区、对照区冻结、解冻的冻结曲线和解冻曲线(此处均略)。

2.1 NaCl 溶液在高压静电场中冻结实验结果的分析

对 NaCl 溶液而言,冻结过程符合图 1 所示的溶液温度和浓度变化关系。A 点代表在标准大气压(1 atm = 101kPa)下纯水的冰点,即 273.15K。E 点是低共熔点,对于 NaCl 溶液 E 点温度为 -21.2℃,它是液相和两种固相的三相共存点。曲线 AE 表明随冻结的进行 NaCl 溶液的冰点不断降低。因本低温试验台无法达到很高的冻结速度,无法测到 NaCl 溶液共晶冻结状态。根据文献^[11]计算在 -8℃时 NaCl 溶液已有近 85% 的水分已冻结,因此在该溶液进行有无电场冻结、解冻的比较时,选择从初始冻结点至 -8℃ 的温度范围,进行两种情况所花费时间的分析。对 NaCl 溶液冻结过程进行比较,可得如下结果,见表 1 和图 2(2.5% NaCl 溶液),表 2 和图 3(5% NaCl 溶液)。

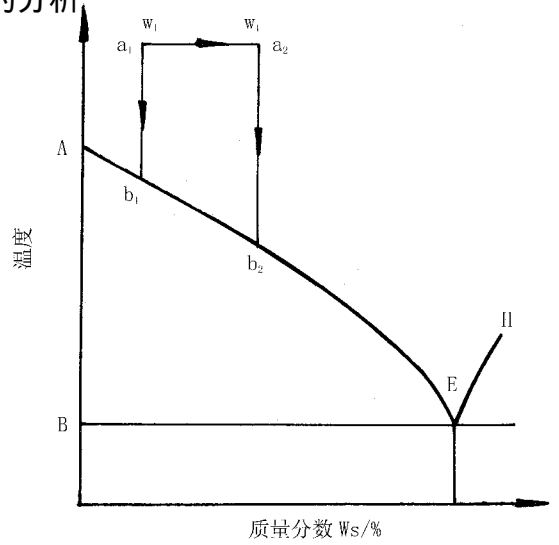


图 1 NaCl 溶液的冻结曲线

Fig.1 Freezing curve of NaCl Solution

表 1 静电场冻结和不加电场冻结 2.5% NaCl 溶液通过该温度区所花费时间

Tab.1 Freezing time in phase changing area with or without high static-electric voltage field(2.5% NaCl)

静电场场强 kV/m	50	100	150	200
静电场冻结时间 t ₁ min	265	268	265	240
不加电场冻结时间 t ₂ min	265	240	265	245
t ₁ /t ₂	1.00	1.12	1.00	0.98

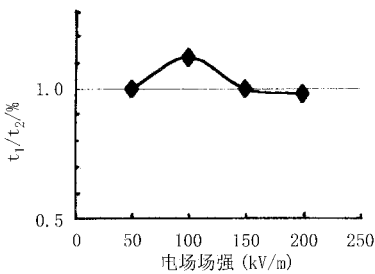


图 2 电场冻结和不加电场冻结 2.5% NaCl 溶液通过该温度区所需时间的比较

Fig.2 Comparison of the freezing time with and without electric field(2.5% NaCl)

表 2 静电场冻结和不加电场冻结 5% NaCl 溶液通过该温度区所花费时间

Tab.2 Freezing time in phase changing area with or without high static-electric voltage field(5% NaCl)

静电场场强 kV/m	50	100	150	200
静电场冻结时间 t ₁ min	240	250	245	250
不加电场冻结时间 t ₂ min	240	250	245	240
t ₁ /t ₂	1.00	1.00	1.00	1.04

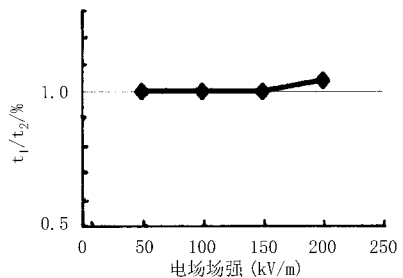


图 3 电场冻结和不加电场冻结 5% NaCl 溶液通过该温度区所需时间的比较

Fig.3 Comparison of the freezing time with and without electric field(5% NaCl)

2.2 NaCl 溶液在高压静电场中冻结后、不加电场解冻的实验结果分析

与上述比较相似,在对溶液进行解冻时间比较时,选择从 -8°C 至终了融化点的温度范围,进行两种情况所花费时间的分析。将经电场冻结的解冻和无电场冻结对照组样品的解冻所花费的时间进行分析,可得如下结果,见表3(2.5% NaCl 溶液),表4(5% NaCl 溶液)。

表3 2.5% NaCl 溶液在电场冻结的解冻

和无电场冻结的解冻在该温度区花费时间的比较

Tab.3 Thawing time in phase changing area after frozen with or without high static-electric field (2.5% NaCl)

前期电场冻结的场强 kV/m	50	100	150	200
经电场下冻结的解冻时间 t_1 min	245	250	245	265
未经电场冻结的解冻时间 t_2 min	245	250	245	265
t_1/t_2	1.00	1.00	1.00	1.00

表4 5% NaCl 溶液在电场中冻结后的解冻和无电场

冻结后的解冻在该温度区所花费时间的比较

Tab.4 Thawing time in phase changing area after frozen with or without high static-electric field (5% NaCl)

前期电场冻结的场强 kV/m	50	100	150	200
经电场下冻结的解冻时间 t_1 min	210	215	205	210
未经电场冻结的解冻时间 t_2 min	210	215	205	210
t_1/t_2	1.00	1.00	1.00	1.00

2.3 NaCl 溶液在高压静电场中解冻的实验结果分析

在无电场的情况下完成 NaCl 溶液的冻结,然后在电场中解冻。选择从 -8°C 至终了融化点的温度范围,进行分析得到如下结果,见表5和图5(2.5% NaCl 溶液),表6和图6(5% NaCl 溶液)。

表5 静电场解冻和不加电场解冻 2.5% NaCl 溶液在该温度区所花费时间

Tab.5 Thawing time in phase changing area with or without high static-electric field (2.5% NaCl)

静电场场强 kV/m	50	100	150	200
静电场解冻时间 t_1 min	370	360	350	295
不加电场解冻时间 t_2 min	340	345	350	340
t_1/t_2	1.09	1.04	1.00	0.87

表6 静电场解冻和不加电场解冻 5% NaCl 溶液在该温度区所花费时间

Tab.6 Thawing time in phase changing area with or without high static-electric field (5% NaCl)

静电场场强 kV/m	50	100	150	200
静电场解冻时间 t_1 min	275	265	245	225
不加电场解冻时间 t_2 min	250	250	260	250
t_1/t_2	1.10	1.06	0.94	0.90

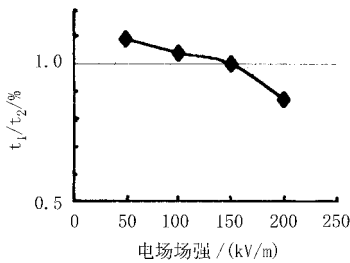


图4 2.5% NaCl 溶液在电场下解冻和不加电场解冻的所需解冻时间的比较

Tab.4 Thawing time in phase changing area with or without high static-electric field (2.5% NaCl)

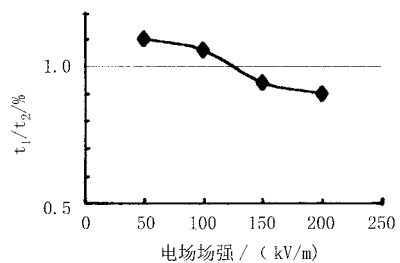


图5 5% NaCl 溶液在电场下解冻和不加电场解冻的所需解冻时间的比较

Tab.5 Thawing time in phase changing area with or without high static-electric field (5% NaCl)

3 结语

本文进行了纯水、2.5% NaCl 溶液和 5% NaCl 溶液在高压静电场中冻结和解冻的实验研究,考虑到 NaCl 溶液在冻结过程中冰点是不断降低的,所以选择从初始冻结点至 -8°C 的温度范围,进行两种情况所花费时间的分析;与上述冻结情况相似,在对溶液进行解冻时间比较时,选择从 -8°C 至终了融化点的温度范围,进行两种情况所花费时间的分析。得到几点主要结论。

(1) 高压直流电场场强等于或低于 $50\text{kV}/\text{m}$ 时对 2.5% NaCl 溶液和 5% NaCl 溶液的冻结过程都没有影响。当高压直流电场场强高于 $50\text{kV}/\text{m}$ 时开始对 2.5% NaCl 溶液的冻结产生一定的影响。电场对它们冻结过程的影响是随着电场强度而变化的,场强较低时加电场延缓冻结,而场强较高时却又能加速冻结,场强越高,对冻结的加速作用越显著。高压直流电场对 5% NaCl 溶液产生影响的最低场强为 $150\text{kV}/\text{m}$ 。

(2) 不论是 2.5% NaCl 溶液还是 5% NaCl 溶液在电场中冻结后,解冻时不加电场,前期冻结时电场的作用对后期解冻没有影响,在所研究的场强范围内,与对照组不存在解冻速度上的差异。

(3) 高压直流电场场强对 NaCl 溶液解冻过程的影响是随着电场强度而变化的,场强较低时加电场会延缓解冻,而场强较高时却又能加速解冻。

前面我们实验研究了高压静电场对氯化钠盐溶液冻结和解冻过程的影响,但真正要使高压静电场这种微能源获得应用、造福于人类,就得研究它对食品冷加工过程的作用。近年来,得益于微能源、静电生物效应和电场分析理论等的进展,静电技术在食品业中的应用正在悄然兴起,如静电技术已应用于食醋的催陈^[12]、农作物种子的处理^[13]、果蔬的保鲜^[14]等。希望本文的工作能对今后进一步以食品为对象进行这方面的研究有所帮助。

参考文献:

- [1] Schaefer V J. Project cirrus[J]. Final Report 1, 1953, 1: 48 - 52.
- [2] Bartlett J T, Anthony P, Heival V D, et al. The growth of ice crystals in an electric field[J]. Zeitschrift Fur Angewander Mathematik and Physik, 1963, 14: 599 - 610.
- [3] Salt R W. Effect of Electrostatic Field on freezing of Supercooled water and Insects[J]. Science, 1961, 133: 458 - 459.
- [4] Ohtsuki T. Process for Thawing Foodstuff[P]. European: 0409430, 10, 27, 1963.
- [5] Ohtsuki T. Process for Thawing Foodstuff[P]. U S: 5 034 236, 7, 23, 1991.
- [6] 方 胜,李英杰,陆守道. 高压电场加速食品解冻的探讨[J]. 食品科学, 1999, 3: 26 - 28.
- [7] 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: 11 - 14.
- [8] Loscoe C. Limitation in the Use of Thermocouples for Temperature Measurements in Magnetic Fields[A]. Charles M H. Temperature Its Measurement & Control in Science & Industry[M]. London: Elsevier Applied Science, 1962. 283 - 287.
- [9] 陈玉明,刘振华. EHD 强化大空间光滑管外核沸腾换热实验研究[J]. 上海交通大学学报, 1997, 31(9): 34 - 39.
- [10] 林世寅,万柏坤,王海盘. 腔道肿瘤热疗辐射器在组织体模中三维热分布的空间点阵测量法研究[J]. 中国医学物理学杂志, 1995, 12(2): 109 - 116.
- [11] 华泽钊,任禾盛. 低温生物医学技术[M]. 北京: 科学出版社, 1994. 25 - 31.
- [12] 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.
- [13] 蒋耀庭,孙 英. 高压静电场食醋成分变化微观机理初探[J]. 食品科学, 1993, 1: 97 - 100.
- [14] 方 胜,李里特. 静电场对蕃茄保鲜过程的影响[J]. 食品科学, 1997, 1: 5 - 9.