

文章编号: 100226819(2001)0220012204

高压静电场对蒸馏水蒸发的影响

李里特¹ 李法德¹ 辰巳英三²

(1. 中国农业大学, 北京 100083; 2. 日本农林水产省国际农林水产业研究中心)

摘要: 研究了高压静电场对蒸馏水蒸发过程的影响。把盛放在烧杯中的蒸馏水放入针-盘组成的电场中, 在同样环境条件下进行了蒸发对比实验。实验结果表明: 在实验条件下, 施加电场后的蒸发速度是不施加电场的 1.4 倍左右, 当针状电极至蒸馏水液面的距离不变时, 蒸发速度随施加电压的增高而增高, 但不是线性关系; 当施加电压保持不变时, 蒸发速度随针状电极至液面距离的增加而呈现“M”形变化, 即此时存在最佳距离, 在此距离下, 蒸发速度最大。施加电场后的蒸发效果是不施加电场时蒸发效果与电场单独作用时蒸发效果的线性叠加。

关键词: 高压静电场; 蒸馏水; 蒸发

中图分类号: S377 **文献标识码:** A

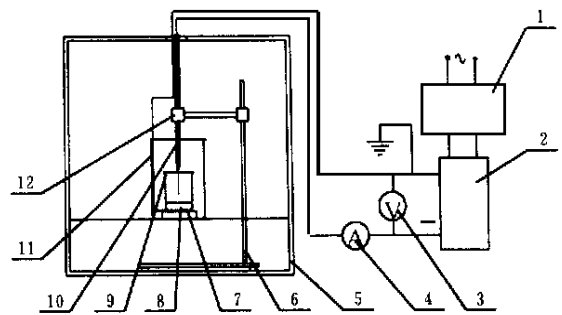
水是多数食品物料的主要组成部分, 每种食品物料的水分含量是不同的。水分对食品的结构、外观、味道以及对变质的敏感性有着很大的影响。有关食品物料的脱水是食品加工过程中重要的单元操作。因此, 研究水的有关性质特别是水分子与水分子团的构造对食品加工有着重要的意义。近年来, 高压电场在食品加工中的应用研究已引起人们的普遍重视, 除了高压静电分离、熏制、成型^[1]外, 在高压脉冲电场杀菌^[2]、高压电场保鲜^[3]、解冻^[4]、电场干燥^[5]等方面的研究也取得了一定的进展。在高压电场作用下, 水的某些性质要发生变化, 如“浅川效应”。浅川发现: 在高压电场下, 水的蒸发变得十分活跃, 施加电场后水的蒸发速度加快, 并认为电场消耗的能量很小^[6]。但他并没有讨论分析电场强度及电场施加方式等对蒸发速度的影响。富田节雄认为: 在电场作用下, 蒸发量与施加电压成正比, 与针状电极到液面的距离成反比^[7], 但作者的实验结果并不与其相同。因此, 本文的目的就是研究在电场作用下, 不同温度及电场施加方式对水蒸发速度的影响。

1 实验装置与方法

1.1 实验装置

实验装置如图 1 所示, 漏泄变压器 (TDM 2 2 5060 北京互感器厂) 由控制仪控制可产生 0~60

kV 的高压负电, 为了排除烘箱 (CSC10122A 型重庆试验设备厂) 内壁对电场的影响, 在烘箱内放置了一个大烧杯 (2 000 mL), 把盘形电极 (直径: 71 mm) 固定在烧杯底部, 接地线与盘形电极相连, 高压负极接针状电极 (大圆规针脚)。为了防止两导线之间、导线与烘箱之间击穿, 把高压针状电极与接地导线的外侧套一玻璃管以起到绝缘作用。除此以外, 在烘箱内同时放入另外两个同样的大烧杯, 以便与施加电场的试样进行对比。



1. 控制仪 2. 漏泄试验变压器 3. 电压表 4. 电流表
5. 烘箱 6. 升降支架 7. 盘形极板 8. 蒸馏水
9. 小烧杯 10. 针状电极 11. 大烧杯 12. 电极夹套

图 1 试验装置简图

Fig 1 Schematic diagram of the experiment installation

1.2 实验方法

为了考察在不同温度下静电场对蒸发速度的影响, 在三个同样大小、精确称量质量的烧杯 (规格为 150 mL) 内分别注入 50 mL 蒸馏水, 用水浴锅加热到 20.8、36 和 56 后, 取出并擦干壁面上的水, 在电子称 (PR 203 (101000) Switzerland) 上称量其

收稿日期: 2000207203

3 国家自然科学基金资助课题 (39670524) 部分内容
李里特, 教授, 博士生导师, 北京市清华东路 17 号 中国农业大学 (东校区) 113 信箱, 100083

质量后, 一个放在电场内, 另外两个作为对照。实验时, 烘箱事先预热到与蒸馏水同样的温度, 保持针状电极至液面的距离为 18 mm。用数字万用表(M Y2 60 深圳华仪)和高压测试棒测量电压, 并用万用表(500 型上海精艺电讯仪器仪表厂)测量电流(50 LA 量程)。启动高压电源, 把电压调整到试验要求的电压(20 kV)。每隔 30 min 切断高压电源, 把试样取出在电子称上称重(2 min 内完成操作)。在蒸发期间, 每隔 5 min 记录一次电压和电流的大小, 以计算电场的能量消耗。但在蒸发过程中, 由于电流太小而无法从电流表上读出。

为了考察电场强度对蒸发速度的影响, 把电极系统放在温度为 3 的室内环境中(水温与环境温度相同), 其余方法与上述相同。实验过程中, 在一定距离(18 和 30 mm)下, 分别把电压设定为 5~ 40 kV, 间隔为 5 kV; 在一定电压(20, 30, 40 kV)下, 分别把针状电极至蒸馏水液面的距离设定为 6~ 102 mm, 间隔为 12 mm。

电场强度按平行均匀电场计算

$$E = \frac{V}{d_1 + 1.9}$$

式中 V —— 施加电压, kV; d_1 —— 针状电极到液面的距离, cm; 1.9 —— 蒸馏水液面到盘形电极上表面的距离, cm。

蒸发速度由下式定义

$$U_i = \frac{X_{i-1} - X_i}{\Delta t_i}$$

式中 X_i —— i 时刻蒸馏水的质量, g; X_{i-1} —— ($i - 1$) 时刻蒸馏水的质量, g; t_i —— 蒸馏水的质量由 X_{i-1} 变为 X_i 所需的时间, min。

蒸发速度倍数由下式定义

$$M = \frac{U_{ie}}{U_{ic}}$$

式中 M —— 蒸发速度倍数; U_{ie} —— i 时刻, 电场作用下蒸馏水的蒸发速度, g/min; U_{ic} —— i 时刻, 蒸馏水自由蒸发时的蒸发速度, g/min。

纯电场作用下的蒸发量由下式定义

$$W = W_e - W_c$$

式中 W_e —— 电场作用下蒸馏水的蒸发量, g; W_c —— 非电场作用下蒸馏水的蒸发量, g。

2 实验结果及分析

2.1 在不同温度下, 电场对蒸发量的影响

当施加电压为 20 kV、针状电极到水表面的距

离 $d_1 = 1.8$ cm 时, 蒸馏水的蒸发量随时间的变化关系如图 2 所示。由图 2 可以看出: 无论施加电场与否, 水的蒸发量随着温度的升高而增大, 并且蒸发量与时间呈线性关系, 但施加电场后的蒸发速度(图 2 中直线的斜率反映了蒸发速度的大小)明显高于对比。因此可以认为施加电场后, 蒸馏水的蒸发量是电场单独作用下的蒸发量与蒸馏水自由蒸发时的蒸发量的线性叠加。图 3 显示了蒸发速度随温度的变化情况, 从图中可以看出: 电场作用下的蒸发速度随着温度的增高而线性增加, 但蒸发速度的倍数在实验条件下变化不大, 基本在 1.4 左右。

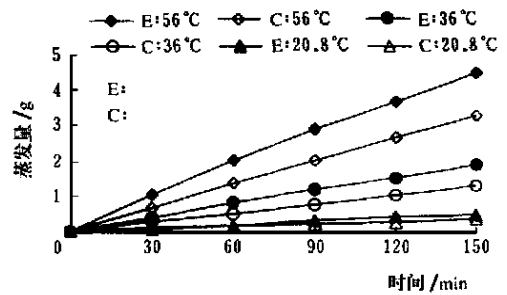


图 2 蒸发量随时间的变化关系

Fig 2 The relationship between the mass of the evaporating water and the time

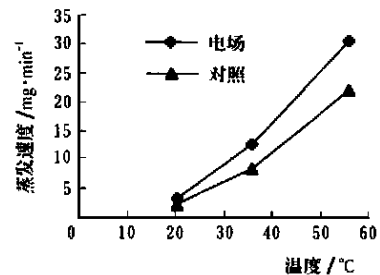


图 3 蒸发速度随温度的变化关系

Fig 3 The varieties of the evaporation rate with the temperature

2.2 不同电场强度下, 电场对蒸发的影响

2.2.1 不同电压下, 电场对蒸发的影响

图 4 显示了把组成电场的电极系统放在室内环境条件(温度为 3、水温与环境温度相同)下, 当保持针状电极到蒸馏水表面距离不变(蒸发量在短时间内很小, 因此针状电极到液面距离的改变量可以忽略不计)时, 蒸发速度随电场强度的变化情况。由图 4 可以看出: 在环境条件相同的情况下, 非电场作用下的蒸发速度在实验过程中变化不大, 而电场作用下的蒸发速度高于非电场作用下的, 并且, 蒸发速度随着电场强度的增加而增加, 但不是一线性关系。

从图 4 中还可以看出: 当电场强度相同, 针状电极到液面的距离(18 mm 和 30 mm)不同时, 蒸馏水的蒸发速度不同, 并且, 针状电极到液面的距离较大(30 mm)时的蒸发速度大于较小(18 mm)时的蒸发速度, 特别是当电场强度大于 $6 \text{ kV} \cdot \text{cm}^{-1}$ 时, 两者之间的差别更大, 这与富田节雄的结论是不同的。富田节雄认为: 在电场作用下, 蒸发量与施加电压成正比, 与针状电极到液面的距离成反比^[7]。因此, 在这一点上应进一步进行研究。

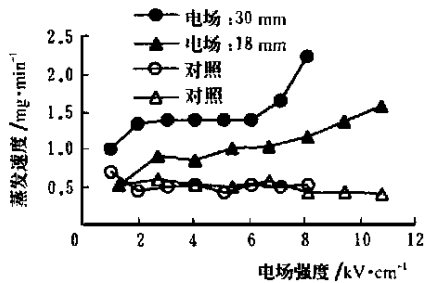


图 4 电场强度对蒸发速度的影响

Fig 4 The effect of the electric field strength on the evaporation rate

2.2.2 不同距离下, 电场对蒸发的影响

当保持施加电压和环境条件不变时, 改变针状电极到蒸馏水表面的距离, 每次蒸发 30 min, 观察电极到蒸馏水表面的距离大小对蒸馏水蒸发的影响。图 5 显示了施加电场与不施加电场时蒸发速度随距离的变化情况。从图中可以看出: 在施加的电压一定时, 蒸发速度随着针状电极至液面距离的增大而增大, 当距离增大到一定值时, 蒸发速度开始随距离增大而减小, 但当减小到一临界值后, 蒸发速度又随距离的增大而增大, 当距离继续增大到某一值时, 蒸发速度达到最大值, 随后, 蒸发速度随着距离的增大而减小。因此, 在施加电压一定的情况下, 蒸发速度随电极至液面距离的变化规律不是线性的。无论施加电压的高低, 蒸发速度随距离的变化规律基本是相似的, 即蒸发速度随距离的变化曲线呈变形的“M”形。因此可以说: 针状电极至蒸馏水液面或平板电极的距离存在一最佳值, 在该距离下, 电场对蒸发速度的影响最大。

产生上述现象的原因可能包括以下几个方面: 首先, 水分子是极性分子, 在水中存在着大量的水分子团, 水分子团的结构是动态结构^[1]。由于表面的水分子受到不均匀电场的作用, 水分子之间的氢键可能断裂, 水分子团变小, 使水分子容易从液体中逸

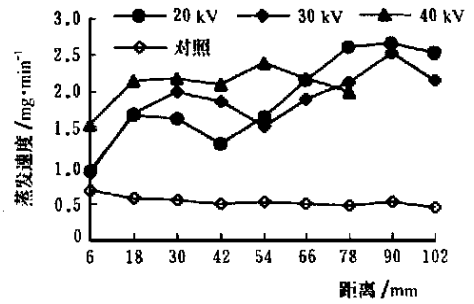
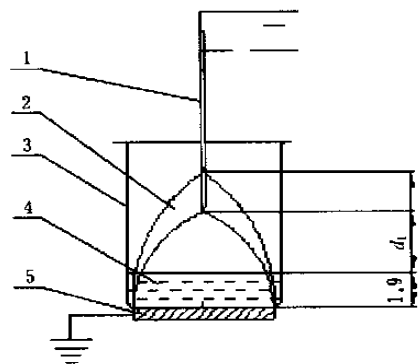


图 5 距离对蒸发速度的影响

Fig 5 The effects of the distance on the evaporation rate



1. 针状电极 2. 电子风锥 3. 烧杯 4. 蒸馏水 5. 盘形电极

图 6 电极系统工作原理

Fig 6 The principle of electrode system

出, 特别是在温度较高时, 由于分子运动加剧, 在电场作用下更易逸出; 第二, 根据浅川效应, 在高压电场下, 水的蒸发变得十分活跃, 当电场去掉后, 水的蒸发潜热会大大降低^[6]。因此, 蒸发速度的提高有可能是浅川效应的结果; 第三, 由于电流体力学 (electrohydrodynamic EHD) 现象造成的电抽吸或电对流作用, 使传热速率提高, 从而加速水分的蒸发^[8]; 第四, 出现蒸发速度随距离变化呈“M”形变化这一现象, 作者认为可能是电子风的有效作用面积和作用强度不同造成的。在同样电压下, 当针状电极到物料表面距离 d_1 不同时(如图 6 所示), 电子风所形成圆锥状区域的大小不同。距离远时(图 6 中较高位置), 形成的圆锥角小, 在圆锥底面上的电场强度比较均匀; 当距离近时(图 6 中较低位置), 形成的圆锥角大, 在圆锥底面上的电场强度不均匀, 因此造成了蒸发速度的差异。但这并不是说距离越大越好, 因为电子风的速度与电场强度成正比。当距离增大时电场强度降低, 因此, 电子风的速度就降低, 电子风对液面的冲击能力就降低, 所以, 蒸发速度降低。以上

这些原因, 都可以使蒸发速度发生变化, 但究竟那种原因起主要作用还有待于进一步研究。

3 结 论

1) 在实验条件下, 施加电场后的蒸发速度是不施加电场的 1.4 倍左右, 并且, 施加电场后的蒸发效果是不施加电场时蒸发效果与电场单独作用时蒸发效果的线性叠加;

2) 在针状电极至液面的距离保持不变时, 蒸发速度随电压的增大而增大, 但不是线性关系;

3) 在电压保持不变时, 蒸发速度随针状电极至液面距离的增大而呈“M”形变化, 即存在一最佳距离, 在此距离下蒸发速度保持最大。

[参 考 文 献]

[1] 李里特 食物物性学 北京: 中国农业出版社, 1998

- [2] Gustavo V. Barbosa-Ganovas, Usha R. Pothakamuri, Enrique Palou, Barry G. Swanson. *Nonthermal Preservation of Foods* Marcel Dekker, NC, 1998
- [3] 李里特, 方 胜 对静电场下果蔬保鲜机理的初步分析. 中国农业大学学报, 1996, 4: 62~ 65
- [4] 矢野幸男 食肉の解冻技术 食品工业, 1991- 11, 30
- [5] Yuonhong Chen, Nayana N. Barthakur, Neville P. Arnold. Electrohydrodynamic (EHD) drying of potato slabs. *J Food Engineering*, 1994 (23): 107~ 119.
- [6] Y. Asakawa. Promotion and retardation of heat transfer by electric fields. *Nature* Vol 261, May 20, 1976
- [7] 富田节雄 电场(界)内における特異現象とその应用 食品工业, 1991, 8: 57~ 61.
- [8] 鲍重光 静电技术原理 北京: 北京理工大学出版社, 1993

Effects of High Voltage Electrostatic Field on Evaporation of Distilled Water

Li Lite¹ Li Fade¹ Eizo Tsumi²

(1. China Agricultural University, Beijing 100083)

(2. Japan International Research Center for Agricultural Science, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries)

Abstract: In this paper the author investigated the effects of the high voltage electrostatic field (HV EF) on the process of the evaporation of the distilled water. The distilled water contained in the beaker was put in the nonuniform HV ED, which was made up of a single point pole and a plate pole, the control experiments of water evaporation had been completed under the same condition. The results of experiments show that the rate of the water evaporation in the HV EF is about 1.4 times of the rate of the controls under the experiment conditions. When the distance between the single point pole and the surface of the distilled water is constant, the rate of the vaporization increases nonlinearly with the supplied voltage. When the supplied voltage is not changed, the water vaporization rate is changed with the distance, and the shape of the water vaporization rate curves with the space looks as if the distortion “M”. It shows that there is an optimal distance, and at this optimal distance the evaporation rate is the largest than at another distance. The effects of vaporization under the HV EF are the linear superposition of the vaporizing effects in non-electric field and of the vaporizing effects in only having the electric field.

Key words: high voltage electrostatic field (HV EF); distilled water; evaporation