

含水果颗粒液态食品物料通电加热温度场研究

周亚军, 闫琳娜, 殷涌光, 吴艳丽

(吉林大学生物与农业工程学院, 长春 130022)

摘要: 利用自行设计研制的测试系统对含水果颗粒液态食品物料通电加热中颗粒中心与液态物料的温度及电导率变化进行测试, 研究得出不同固液混合食品物料通电加热中温度和固液两相电导率的变化规律; 固液两相的电导率及其加热中的变化不同是物料加热中非均匀温度场产生的主要原因, 加热装置的管壁和入料口散热及电极板附近局部过热对物料在装置加热中的温度分布也一定影响。研究结果对进一步研究含颗粒食品电加热特性、研制实用的通电加热装置及开发高品质的含颗粒食品有参考价值。

关键词: 液态食品; 通电加热; 水果颗粒; 温度场; 电导率

中图分类号: S125; Q64

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2005)05-0159-04

周亚军, 闫琳娜, 殷涌光, 等. 含水果颗粒液态食品物料通电加热温度场研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(5): 159- 162

Zhou Yajun, Yan L inna, Yin Yongguang, et al. Ohm ic heating temperature field of liquid food materials with fruit granule [J]. Transactions of the CSA E, 2005, 21(5): 159- 162 (in Chinese with English abstract)

0 引言

通电加热又叫欧姆加热(Ohmic Heating)、焦耳加热(Joule Heating)^[1]。通电加热是利用食品物料的电导特性来加工食品的技术, 其导电方式是依靠食品中电解质溶液离子的定向移动导电^[2-3], 是一种新型的加热杀菌和加工技术, 特别是对电导率较高的液态食品、黏度较高或带颗粒食品可进行连续加热杀菌和加工的一种新方法^[4,5]。随着食品加工技术的发展和水平的提高, 人们要求最大限度地保留食品的色、香、味及营养成分。通电加热技术由于其具有物料升温快、加热均匀、无污染、易操作、热能利用率高、加工食品质量好等优点^[6,7], 近年来逐渐引起国内外食品科学工作者的关注。目前, 该技术在美国正用于低酸性或高酸性食品的开发研究^[8-10]。在日本用于研制含草莓的酸牛奶、鱼糜制品及豆腐的加工等^[11,12]。在中国, 自 1996 年以来, 中国农业大学中日食品研究中心率先对通电加热技术进行了应用基础研究, 已将其应用于豆浆加热、淀粉糊化、肉解冻和豆渣的节能干燥等领域研究^[13-15]。从目前国内外的研究发展情况来看, 通电加热最具有潜力的应用领域是含颗粒流体食品的无菌加工。含水果颗粒液态食品物料通电加热特性与物料种类有关, 含水果颗粒液态食品物料中固液两相的电导率和通电加热装置使其在通电加热中的各点温度分布不均而产生非均匀温度场。因此, 研究含水果颗粒液态食品物料通电加热温度场是十分必要的。只有弄清各点温度变化, 才能更好地研究食品的电加热特性, 从而研制出高品质的含水果颗粒液态食品。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

材料: 柠檬酸、CMC-Na、马铃薯淀粉、水晶梨、富士苹果。

设备: MV200 多点温度记录仪、DDS-12 数字电导率仪、多功能榨汁搅拌机、ZK-82A 型电热真空干燥箱、热电偶(内径 0.3 mm 镍铬-镍硅金属丝, 端部涂有绝缘浸漆)和计算机。

1.2 试验测试系统

本试验采用的测试系统装置由日本横河公司生产的 MV200 多点温度记录仪、自制小型通电加热装置、经过试验标定的热电偶和计算机组成, 其测试系统结构如图 1 所示。

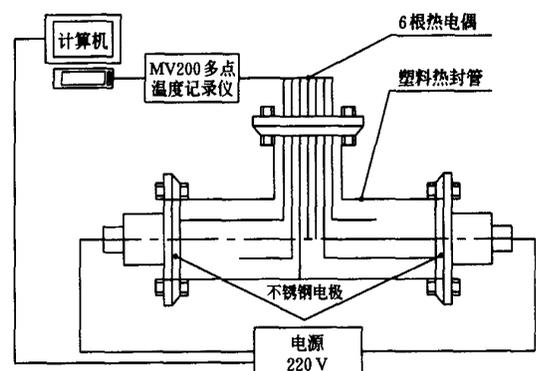


图 1 食品通电加热测试系统结构示意图

Fig 1 Structural diagram of ohmic heating testing system of liquid food

1.3 研究方法

通过对含水果颗粒液态食品物料通电加热中温度及电导率变化的测定、分析和研究, 总结出不同固液混合食品物料通电加热温度变化规律, 找出非均匀温度场

收稿日期: 2004-03-15 修订日期: 2004-12-16

基金项目: 吉林大学青年教师基金项目资助

作者简介: 周亚军(1966-), 副教授, 博士, 硕士生导师, 长春 吉林大学生物与农业工程学院, 130022, Email: zhzyyj@sina.com

产生的原因,明确了固液两相的电导率和温度场之间的关系。用热电偶测定颗粒中心和液态食品物料加热中指定点的温度,用MV 200 多点温度记录仪记录时间每间隔 2 s 的温度数值,苹果颗粒和液态物料的电导率通过数字电导率仪测定。

2 试验结果与讨论

本研究采用的含颗粒液态食品物料包括含水果颗粒果汁和含水果颗粒亲水性胶体溶液,选取边长 1 cm 立方体苹果和水晶梨颗粒作为固相,将水果汁和亲水性胶体溶液作为液相,按照固液体积比 1 : 4 配成含水果颗粒液态食品物料(水果颗粒浓度 20%) 进行通电加

热,测试其通电加热时间、加热中固液两相的电导率,绘制温度变化曲线,研究物料加热中的温度场。

2.1 含水果颗粒液态食品物料通电加热时间与电导率

含水果颗粒果汁(亲水性胶体溶液)通电加热时间和固液两相加热中电导率的变化如表 1 所示。由表 1 可知:固液混合食品物料通电加热时间随着水果颗粒和液态物料的电导率增大而减少;水果颗粒和液态物料的电导率都随着加热温度的升高而增大,水果颗粒的电导率初始值低于对应水果汁的电导率初始值,随着加热温度的升高,颗粒的电导率逐渐赶上甚至超过果汁的电导率,即随着温度升高,水果颗粒的电导率比水果汁的电导率增大大幅度。

表 1 含水果颗粒液态食品物料通电加热时间与加热中固液两相的电导率

Table 1 Ohmic heating time and electric conductivities of liquid phase and solid phase of liquid food materials with fruit granule

项 目	含苹果颗粒 苹果汁	含水晶梨颗粒 水晶梨汁	含水晶梨颗粒 CMC-Na 胶体溶液	含水晶梨颗粒马铃薯 淀粉胶体溶液
水果颗粒种类	苹果	水晶梨	水晶梨	水晶梨
水果颗粒形状	立方体	立方体	立方体	立方体
水果颗粒尺寸/cm	1.0	1.0	1.0	1.0
水果颗粒浓度/% (固液体积比)	20 (1 : 4)	20 (1 : 4)	20 (1 : 4)	20 (1 : 4)
液态食品物料种类	纯苹果汁	纯水晶梨汁	CMC-Na 胶体溶液	马铃薯淀粉胶体溶液
液态食品物料中柠檬酸的含量/%	0	0	0	1
水果颗粒加热前 20 时电导率/ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$	68	79	79	79
水果颗粒加热中 65 时电导率/ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$	170.2	179	165	160
水果颗粒加热后 95 时电导率/ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$	285.2	298	251	245
液态物料加热前 20 时电导率/ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$	75.6	92	1068	295
液态物料加热中 65 时电导率/ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$	176.8	188	1165	321
液态物料加热后 95 时电导率/ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$	288.3	297	1254	334
500 mL 固液混合物料从 20 加热到 95 所用时间/s	340	310	171	251

2.2 含水果颗粒亲水性胶体溶液通电加热温度场

果冻中的颗粒在介质中处于悬浮状态,含颗粒液态食品物料通电加热也是一样,应该选择黏度高、凝胶性与流变性好的亲水性胶体溶液作为介质,才能保证颗粒在介质中处于悬浮状态。本研究选取 2% CMC-Na 和 5% 马铃薯淀粉胶体溶液作为亲水性胶体溶液,为增强其导电性,在配制马铃薯淀粉胶体溶液时在其中加入 1% 柠檬酸。水果颗粒选取边长 1 cm 立方体富士苹果和水晶梨颗粒作为试验材料。

2.2.1 含水晶梨颗粒 CMC-Na 胶体溶液

含 20% 边长 1 cm 立方体水晶梨颗粒 2% CMC-Na 胶体溶液通电加热温度变化曲线如图 2 所示。由图 2 和表 1 可知:水晶梨颗粒的温度自始至终低于 CMC-Na 胶体溶液温度,二者温差随着温度升高而逐渐增大,这是由于 CMC-Na 胶体溶液与苹果颗粒的电导率差较大且其加热中变化不同所致;随着加热温度升高,曲线逐渐变陡,颗粒和胶体溶液的电导率增大,加热速度增大;加热到 95 所需时间,胶体溶液比颗粒少,即胶体溶液的加热速度比颗粒大,这与电导率大则加热速度快相一致;电极板附近温度因其封闭自始至终偏高,装置中心点和管壁附近因散热温度偏低。含水晶梨颗粒

CMC-Na 胶体溶液通电加热温度分布属于明显的非均匀温度场。

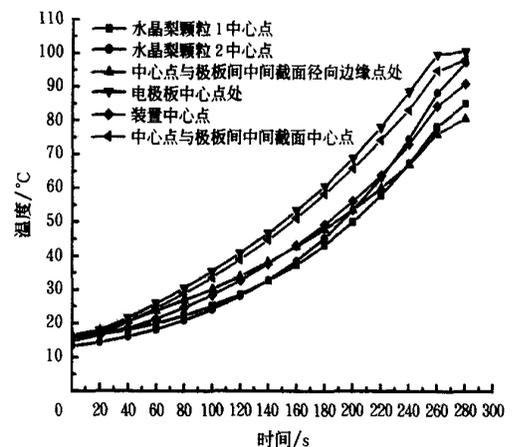


图 2 含 20% 边长 1 cm 立方体水晶梨颗粒含 2% CMC-Na 胶体溶液通电加热温度变化曲线

Fig 2 Temperature-time changing curves of 2% CMC-Na colloid solution with 20% cubic pear granules (granule dimension is 1 cm) during Ohmic heating

2.2.2 含水晶梨颗粒马铃薯淀粉胶体溶液

含 20% 边长 1 cm 立方体水晶梨颗粒 (含 1% 柠檬酸) 5% 马铃薯淀粉胶体溶液通电加热温度变化曲线如图 3 所示。由图 3 和表 1 可知: 在曲线的前半段, 颗粒的温度低于胶体溶液温度, 随着温度升高, 颗粒温度逐渐接近或赶上胶体溶液温度, 这一变化主要是由于固液两相的电导率变化不同所致; 随着加热温度升高, 曲线逐渐变陡, 颗粒和胶体溶液的电导率随温度升高而增大, 加热速度也增大; 电极板附近温度自始至终偏高, 装置管壁与中心点的温度因其散热而略偏低。含水晶梨颗粒马铃薯淀粉胶体溶液通电加热温度分布属于非均匀温度场。

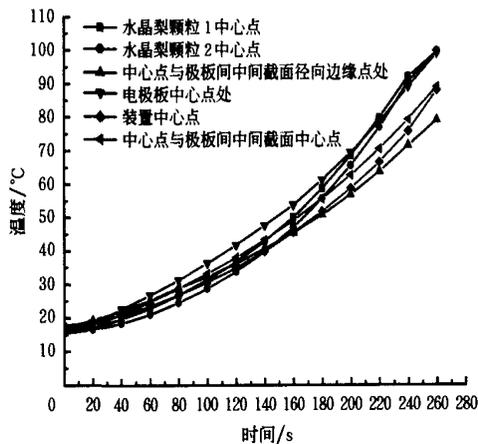


图 3 含 20% 边长 1 cm 立方体水晶梨颗粒含 1% 柠檬酸和 5% 马铃薯淀粉胶体溶液通电加热温度变化曲线

Fig. 3 Temperature-time changing curves of 5% potato starch colloid solution with 1% citric acid and 20% cubic pear granule (granule dimension is 1 cm) in Ohmic heating

2.3 含水果颗粒果汁通电加热温度场

2.3.1 含苹果颗粒苹果汁

含 20% 边长 1 cm 立方体苹果颗粒苹果汁通电加热温度变化曲线如图 4 所示。由图 4 的曲线和表 1 可得出: 在同一时刻, 3 个颗粒中心点温度比较接近, 果汁中的 3 个点温度比较接近, 颗粒中心点的温度自始至终稍低于果汁的温度, 这是由于苹果汁和苹果颗粒的电导率及其加热中变化不同所致; 随着加热温度逐渐升高, 曲线逐渐变陡, 电导率增大, 加热速度增大; 电极板附近温度略微偏高。因此, 含苹果颗粒苹果汁通电加热中的温度分布接近于均匀温度场。

2.3.2 含水晶梨颗粒水晶梨汁

含 20% 边长 1 cm 立方体水晶梨颗粒水晶梨汁通电加热温度变化曲线如图 5 所示。由图 5 的曲线和表 1 可以得出: 在曲线开始及前半段, 水晶梨颗粒的温度略低于水晶梨汁的温度, 随着温度升高, 水晶梨颗粒的温度逐渐赶上甚至超过水晶梨汁的温度, 这是由于水晶梨汁和水晶梨颗粒的电导率及其加热中变化不同所致; 在同一时刻, 2 个水果颗粒中心点温度和果汁中 4 个指定点温度较接近, 颗粒中心点温度稍低于果汁中 3 个点温度, 而略高于装置管壁处温度; 随着加热温度升高, 曲线

逐渐变陡, 加热速度增大; 电极板附近因封闭而温度稍偏高, 管壁因散热而温度略偏低。因此, 含水晶梨颗粒水晶梨汁通电加热中的温度分布接近于均匀温度场。

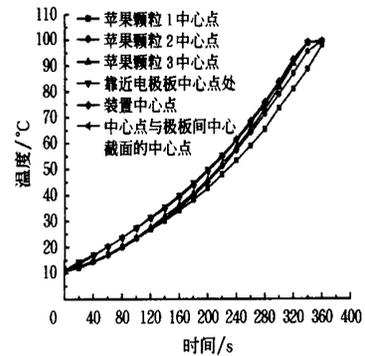


图 4 含 20% 边长 1 cm 立方体苹果颗粒苹果汁通电加热温度随时间变化曲线

Fig. 4 Temperature-time changing curves of apple juice with 20% cubic apple granule (granule dimension is 1 cm) during Ohmic heating

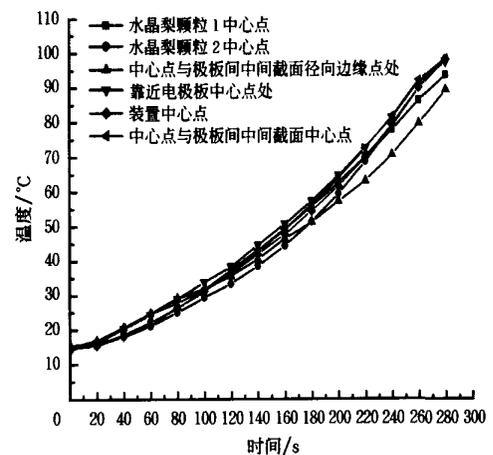


图 5 含 20% 边长 1 cm 立方体水晶梨颗粒水晶梨汁通电加热温度随时间变化曲线

Fig. 5 Temperature-time changing curves of pear juice with 20% cubic pear granule (granule dimension is 1 cm) during Ohmic heating

3 结论

1) 电导率是影响固液混合食品物料通电加热时间与加热速度的主要因素, 电导率大, 加热速度快; 电导率随着温度升高而增大, 加热速度也随之增大。

2) 含水果颗粒液态食品物料中固液两相的电导率及其加热中电导率变化不同是其产生非均匀温度场的主要原因, 加热装置的管壁和入料口散热、电极板附近局部过热对物料加热过程中温度分布也有一定影响。

3) 电导率对含水果颗粒亲水性胶体溶液中固液两相的通电加热速度和温度变化曲线影响显著, 这是因为固液两相的电导率及其加热中的变化差异较大所致。

4) 含水果颗粒胶体溶液通电加热中的温度分布属于非均匀温度场; 含水果颗粒果汁通电加热中的温度分

布接近于均匀温度场。

[参 考 文 献]

- [1] Sudhir K Sastry, Q iong Li Modeling the ohmic heating of foods[J]. Food Technology, 1996, 50(5): 246- 248
- [2] David L. Parrot Use of ohmic heating for aseptic processing of food particulate [J]. Food Technology, 1992, 46(12): 68- 72
- [3] Khalaf W G, Sastry S K. Effect of fluid viscosity on the ohmic heating rates of liquid-particle mixtures[J]. Food Eng, 1996, 27(2): 145- 158
- [4] Wang H S, James S B W. Ohmic heating of fluid containing apple particulates[J]. L ssne of April, 1999, 1(2): 154 - 161.
- [5] Sudhir K Sastry, Sevugan Palaniappan Ohmic heating of liquid-Particle mixture [J]. Food Technology, 1992, 46 (12): 64- 67.
- [6] Marybeth hima Sudhir K. Sastry. The effects of ohmic heating frequency on hot-air drying rate and juice yield [J]. Journal of Food Engineering 1999, 41(7): 115- 119.
- [7] Francois zuber, Adeline Goullieux Processing and stablization of cauliflow er by ohmic heating technology innovative[J]. Food Science & Emerging Technologies, 2001, 2 (4): 279- 287.
- [8] A. A. P. DE A kwis, P. J. Fryer A finite—element analysis of heat generation and transfer during ohmic heating of food [J]. Engineering Science, 1990, 45 (6): 1547- 1559
- [9] Yongsawatdigu1 J, Park J W, Kolbe E. Electrical conductivity of pacific whiting surim i paste during ohmic heating [J]. Journal of Food Science, 1995, 60(5): 922- 926
- [10] De A kwis, A. A. P. , Fryer, P. J. A finite element analysis of heat generation and transfer during ohmic heating of food[J]. Chem Eng Sci, 1990, 45(6): 1547- 1559
- [11] 柴真 ジェール热を利用したスケトウダラの低温加熱ゲルの品质[J]. N ippon Suisan Gakkaishi, 1993, 59(4): 697 - 703
- [12] 植村邦彦 交流高電界杀菌装置の開発[J]. 食品工業, 2003, 46(2): 73- 79
- [13] 李修渠, 李里特, 辰巳 英三 豆浆的电导率[J]. 中国农业大学学报, 1999, 4(2): 103- 106
- [14] 李法德 食品物料通电加热及高压电场节能干燥的应用研究[D]. 北京: 中国农业大学博士学位论文, 2002, 6
- [15] 李修渠 食品物料的电特性及其应用研究[D]. 北京: 中国农业大学博士学位论文, 1999, 7.

Ohmic heating temperature field of liquid food materials with fruit granule

Zhou Yajun, Yan Linna, Yin Yongguang, Wu Yanli

(College of Biological and Agricultural Engineering, Jilin University, Changchun 130025, China)

Abstract: Temperatures and electric conductivities of granule center and liquid phase of liquid food materials with fruit granule were examined, respectively, with a self-designed testing system. Temperature changing laws of various solid-liquid mixing food materials, during Ohmic heating, were concluded, as well as corresponding electric conductivities of their liquid phases and solid phases. Electric conductivities of liquid phase and solid phase of materials and their different alterations, in the procedure of heating, are major causes for the development of non-uniform temperature field. While food material is heated in the apparatus, its temperature distribution is also influenced to some degree by tube walls of heating apparatus, heat diffusion of in-feed and partial over-heat near electrode plates. These experimental results can provide valuable information for deeper researches on Ohmic heating properties of liquid food with granule as well as developing practical Ohmic heating apparatus and high quality food with granule.

Key words: liquid food; Ohmic heating; fruit granule; temperature field; electric conductivity