

# 含颗粒液态食品通电加热研究动态

周亚军, 殷涌光, 刘 微, 姚 婷

(吉林大学生物与农业工程学院, 长春 130022)

**摘 要:** 通过对国内外含颗粒液态食品通电加热研究分析, 介绍了含颗粒液态食品通电加热的原理和加工特性, 总结出影响通电加热食品品质的因素, 概述了通电加热技术在含颗粒食品中的研究动态, 阐述了含颗粒食品通电加热中数学模型的应用现状, 指出含颗粒液态食品通电加热研究中存在的问题, 为今后研究及发展趋势提出了建议。对进一步深入研究含颗粒液态食品通电加热的加工特性、影响因子及其应用具有参考价值 and 指导意义。

**关键词:** 通电加热; 含颗粒液态食品; 加工特性; 影响因素; 研究动态

中图分类号: TS205.9

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2004)01-0026-04

## 0 引言

通电加热是一种新型的加热杀菌和加工技术, 特别是对于黏度较高或带颗粒(直径小于 25 mm)的食品可以进行连续地加热杀菌的一种新方法<sup>[1]</sup>。通电加热技术与传统杀菌及加工技术有本质的区别<sup>[2]</sup>。常规的加热杀菌及加工方法是依靠施加热能通过对流、传导或辐射等方式使食品加热, 并达到烹调、杀菌和加工的目的。在加热过程中, 要使颗粒物料的中心达到所要求的杀菌温度, 必须要较长时间的加热, 这样不但会加剧食品营养成分的损失, 而且由于颗粒周围液体的过度加热, 又会导致颗粒食品外表的煮烂而影响颗粒的完整性, 使产品的商业价值和品质下降。若采用通电加热, 则能很好地克服上述的缺陷, 因为这种加热方法可以使颗粒的加热速率与液体的加热速率基本上相接近, 并可以较快的速率(约 1~2 /s)同时使液体和颗粒加热, 因而既缩短加热时间, 又可获得高质量的制品。对粘稠含颗粒的食品而言, 颗粒的大小、形状、密度、固体和液体比例以及流体的黏度等因素都会影响颗粒的流动状况和其表面传热系数<sup>[3]</sup>。这些因素都增加了含颗粒食品无菌加工技术的难度。通电加热与传统无菌加工技术不同, 它是利用食品本身所具有的电不良传导性所产生的电阻来加热食品, 使食品不分液体、固体均可受热一致, 更能保持食品颗粒的完整性, 是目前用来加工含颗粒液态食品最为看好的技术之一, 其未来应用发展潜力很大<sup>[4]</sup>。

## 1 食品通电加热技术的原理

如图 1 所示, 在电路中把物料作为一段导体, 利用它本身在导电时所产生的热加热<sup>[3]</sup>。通电加热是利用食品物料的电导特性来加工食品的技术, 是依靠离子的定向移动导电, 如电解质溶液或熔融的电解质等。当溶液温度升高时, 由于溶液的黏度降低, 离子运动速度加快, 水溶液中离子水化作用减弱等原因, 其导电能力增强。由于大多数食品含有可电离的酸和盐, 当在食品物料的两端施加电场时, 电流通过食品物料在其内部产生热量而达到加热的目的。对不导电的物料和极低水分、干燥状态的食品, 此方法不适用。通电加热具有传统加热方式无法比拟的加工特性<sup>[3, 5-7]</sup>: 通电加热是快速的体积加热, 不需要热交换表面, 不存在温度梯度, 加热均匀; 对产品的机械损伤小, 颗粒非常完整, 最适合于对剪切力敏感的食品; 加工范围广, 成本投资回收快; 与无菌包装技术结合可生产出高附加值的产品; 加热速度快, 产品品质高; 温升高, 有杀菌效果, 产品货架寿命长; 能效高, 耗能低, 渗透性强; 成本低, 无污染。

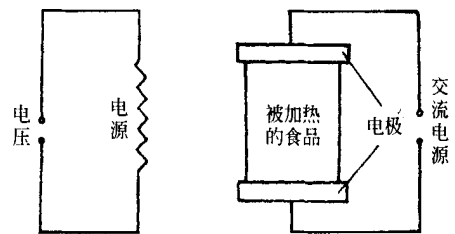


图 1 通电加热(静态结构图)

Fig 1 Static structural diagram of ohmic heating for liquid food

## 2 含颗粒食品通电加热研究状况

### 2.1 影响通电加热食品品质的因素

通电加热技术能解决含颗粒食品在无菌加工过程中存在的受热不均、品质不一致的问题, 但颗粒的大小、形状、密度和浓度; 食品的组成成分、电导率、热容量和预处理; 加热温度、电解质浓度和介质的黏度等均影响通电加热食品的品质。分别阐述其对食品品质的影响<sup>[8-14]</sup>。

#### 2.1.1 颗粒的大小、形状、密度、浓度

采用通电加热处理的含颗粒食品, 颗粒大小一般应小于 1 立方英寸。当颗粒增大时, 比表面积减小, 这会影 响加热效能。颗粒形状对通电加热工艺的影响已有人作过详尽探讨。通电加热技术可用于加工正方体、长方体、球状、碟状、棒状等各种食品。密度大的颗粒在低黏度的载体介质中易沉淀。相反很轻的颗粒在低黏度或高黏度载体介质中可能会浮起。如果出现颗粒沉淀或浮起, 加热时间就难把握, 且难保障加热效果。通电加热加工的

收稿日期: 2002-11-19

作者简介: 周亚军(1966-), 男, 副教授, 博士生, 研究方向: 食品加工与贮藏理论与新技术。长春市 吉林大学生物与农业工程学院, 130022



食品颗粒浓度一般在 20% ~ 70% 之间, 浓度太高或太低, 就要对颗粒的大小、形状、结构作特别考虑, 以使食品在加工中保持其成分的最佳稳定性。食品中颗粒浓度高时, 载体介质的粘性就很低。相反, 当颗粒浓度较低时, 载体介质的粘性应该较大。如果粘性不足, 颗粒就会沉淀, 或是介质可能只流过颗粒而不能使之悬浮。这会造成明显的加热不均。因此, 在加工时应将食物颗粒的大小、形状、密度及介质浓度等基本因素作最佳的正确组合, 才能使颗粒均匀加热, 达到优良的质地和口感。

### 2.1.2 液体的黏度(介质的黏度)

介质即载流液体的物理作用有两个: 一是使颗粒在加工过程中能够悬浮, 二是赋予食品以特有的风味。在通电加热过程中, 如果液体黏度过小, 颗粒会沉淀在加热器底部, 而液体的汤汁则直接流经电极, 从而导致液相、固相严重的受热不均; 如果液体黏度过大, 颗粒之间、颗粒与加热器管壁之间的相互磨损会破坏颗粒的结构完整。当成分中颗粒浓度高时, 介质黏度要低; 反之, 当颗粒浓度低时, 介质黏度就高。加工过程中黏度的变化, 如介质中淀粉的胶凝或颗粒中水分的析出会引起加热不均。故加热前应采取措施防止黏度的变化。

### 2.1.3 食品的组成成分

食品中如含有象脂肪、油、空气、乙醇、骨、冰等非导电物质时, 因这些物质不被欧姆加热, 通过热传导获得热量, 很容易发生局部过热。富含油脂食品的电导率与加热速率均容易发生不规则的变化, 淀粉的糊化对电导率也有决定性影响, 同时淀粉糊化会提高液体的黏度, 因此这一因素的影响也是多重的。所以, 我们在选择原料时尽量使非导电性成分减少。

### 2.1.4 食品的电导率

影响通电加热的关键因素是食品的电导率, 而任何影响通电加热的因素均直接影响电导率。电导率是食品结构和温度的函数。食品物料在通电加热时将发生许多物理的、生化的和化学的变化, 如脱水、细胞裂解、组织收缩、气泡破裂、膜渗透的变化、淀粉的糊化、果胶的溶解、蛋白质的变性、糖的焦化、酯化、美拉德反应等变化都将引起电导率的变化。对颗粒食品来说, 颗粒含量越多越小, 电导率越低。食品物料含有象脂肪、油、空气、乙醇、骨、冰等非导电物质时, 电导率低; 而牛奶、水果和果汁、蔬菜、腌制食品、加添加剂的肉制品、油橄榄、汤、蛋白和蛋黄、明胶等食品物料电导率较高。所以食品的电导率取决于以下因素: 温度、食品的组成成分、材料的微观结构、电解质浓度、颗粒的大小、种类、多少、场强等。在恒定的电压下, 温度越高, 电导率也越大, 导电性越好, 热效率也越高。但对液体与颗粒的混合物通电加热时, 由于二者温度系数的差异, 室温下导电性较差的固体, 在高温下反而比液体更易导电, 对加热速率影响大。而液体的导电性随浓度的增加而减小。

### 2.1.5 热容量

当食品颗粒与液体的导电性比较接近时, 物料温度的升高将依赖于产品的特定热容量。颗粒中的水分含量比液体中的水分含量低得多, 由于水分的热容较小, 所

以即使在固、液体电导率相同的情况下, 颗粒的受热升温速度要高于液体的受热升温速度。

### 2.1.6 产品的预处理

产品的预处理一般包括热处理、酶处理和化学处理。其目的是为了使其导电性更加均衡, 提高其加热均匀的程度, 还可以软化组织, 并增加其风味。热处理主要是指为使导电性更均衡而对颗粒进行预热。其他的热处理包括: 加热使淀粉提前胶凝、融化和驱除颗粒中的脂肪, 软化过硬的颗粒; 烫漂以排除颗粒中的空气; 为使产品外观更加诱人而对某些肉制品进行轻微油炸等。酶处理常用酶液浸渍的方法使肉组织软化, 并增加风味。化学处理常将物料在盐或酸溶液中浸渍以调节颗粒的导电性, 提高加热的均一性。有时也用其它的一些方法, 如添加硬化剂和固定剂来维护颗粒适当的质地和颜色。

### 2.1.7 温度

对于绝大多数固体物料而言, 通过传统加热方式加热到 60 左右, 由于细胞壁物质的分解, 电导率随着温度的升高而急剧增加。在通电加热过程中, 食品的温度越高, 其电导率越高, 进而其加热速率越大, 同时随着电势梯度增高加热速率也渐增。

### 2.1.8 电解质浓度

研究发现, 电解质浓度高的颗粒, 其电导率也高, 其加热速率也增高。

## 2.2 含颗粒食品通电加热的研究进展

国内外很多学者相继对含颗粒食品进行了研究。Schade 用 15 kV、0.25 MHz 的电流去烫漂浸在电解液中的脱皮土豆<sup>[15]</sup>, 使土豆在 3 min 内温度升高到 80 ; Mizrahi 把玉米穗浸在电解液中通以 380 V 的电流<sup>[15]</sup>, 所有的过氧化酶在不到 3 min 就失去活性, 而用沸水烫漂需要 17 min。Roslonski, Danilesko and Theimer 等研制出加热装置<sup>[16-20]</sup>, 用于肉丸子、鱼丸子、胡萝卜、土豆、青豆、蘑菇片、整杨梅、苹果丁等固体颗粒食品的加工。1984 年英国 APV Baker 公司研制出连续通电加热装置 (ohmic heater), 主要应用于含颗粒流体食品的加热杀菌<sup>[21, 22]</sup>。1991 年, Pala-niappan<sup>[23]</sup>研究了橙汁和西红柿的电导率随温度的升高而升高, 但随固形物含量的增加而减少, 而胡萝卜酱的电导率则随颗粒的增大而减小。日本植村邦彦博士 1996 年研究了日本白萝卜的通电加热加工<sup>[24]</sup>并用有限元法分析通电加热中的温度分布及测定热传导率<sup>[25-27]</sup>, 1998 年利用高压通电加热技术研制各种食用米饭<sup>[28]</sup>。1996 年今井哲哉<sup>[12]</sup>研究了植物组织在各种频率下的通电加热, 测得低频时植物组织阻抗低, 加热速度快; 并对植物细胞组织预煮或超高压处理后, 证明了电压梯度和热加工对植物细胞产生了破坏作用。Hun-shi Wang 和 James Swi 1999 年研究了含苹果颗粒流体的通电加热<sup>[6]</sup>。2001 年 Francois zuber 等人<sup>[29]</sup>用通电加热对花椰菜颗粒进行了加工和灭菌研究。1999 年, Roger 等<sup>[7]</sup>研制出了一种测定杀菌致死率的通电加热装置, 利用了质子共振频率 (PRF) 技术可以迅速准确地绘制颗粒食品物料的温度图谱。自 1996 年, 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<sup>[30]</sup>,目前已成功地将该技术应用到了豆浆加热<sup>[31,32]</sup>、豆腐制作、淀粉糊化<sup>[33]</sup>、肉解冻<sup>[10,34,35]</sup>等领域,效果良好。

### 2.3 含颗粒食品通电加热中数学模型的应用现状

Sastry<sup>[36]</sup>对颗粒食品的杀菌处理建立模型,该模型是用有限元分析来确定受时间变化边界条件影响的颗粒食物的温度分布。模型受颗粒尺寸、停留时间分布和对流换热系数估计值的影响,对有规则和无规则形状的球状颗粒都适用。但大颗粒的杀菌力存在问题。Alwis<sup>[37]</sup>对球形和圆柱形的固体颗粒在液体中通电加热时建立了简单的数学模型,但该模型未考虑物料的电特性和其它物理特性随温度的变化,也未考虑固体的导热和液体的对流换热。Alwis和Fryer<sup>[38]</sup>用二维有限元模型来预测间歇加热器中单个长方形颗粒的温度,表明薄颗粒的方向对加热具有很大的影响。Sastry<sup>[39]</sup>用回路模拟的原理,把固液混合物看成由一系列电阻组成的混联电路,用来预测间歇通电加热系统的温度情况。在磷酸二氢钠溶液中加入立方体土豆颗粒进行通电加热实验,发现影响颗粒和液体相对加热速率的关键因素是两部分的电导率和颗粒的含量。在低固体含量下,颗粒电导率低于液体时,加热速率滞后于液体;但在高颗粒含量下,加热速率却快于液体,认为是颗粒含量增高,通过液体的电流受到阻碍,强迫大部分电流通过颗粒,导致颗粒升温加快。Sastry<sup>[40]</sup>采用模拟回路的原理,对连续通电加热系统的温度情况进行了预测,对于高固体含量的混合物,当固体和液体具有相同的电导率和停留时间时,颗粒的加热速率快于液体;若所有颗粒的电导率都远低于液体时,颗粒的加热速率仍高于液体,但整个系统的加热速率却降低了。Zhang<sup>[41]</sup>在作了一些假设的基础上,利用单元代替整个系统的方法,对固液混合物建立了双组分模型,用来确定物料中最快和最慢加热点。但模型没有考虑除电导率和黏度以外的其它物性随温度的变化。当黏度较低时,颗粒沉降,破坏了混合物的均匀性,模型不再适用。如果固体和液体的电导率随温度的变化不一致,也将影响到模型的精度。Zhang<sup>[42]</sup>还比较了单元和模拟回路两个模型对固液混合物温度预测的精度,在较高颗粒含量时,二者都具有较高的精度,但用拉普拉斯方程求解的单元法比回路模拟更复杂。然而,回路模拟对低固形物含量的温度预测,具有很大误差。Sastry和Dutta<sup>[43]</sup>建立悬浮颗粒在保温管流中速度分布模型,来判断流经典型保温管中受流速影响的悬浮颗粒食品的平均速度、载流体的流动特性和颗粒浓度;并通过该模型达到对根本现象的定性理解。

随研究的深入,人们对通电加热过程本身及相关数学模型与计算机模拟和自动化控制体系认识加深,数学模型将在含颗粒食品通电加热中发挥重要作用。

### 3 今后研究的几点建议

含颗粒食品通电加热技术具有很大发展潜力,但也有许多问题需要进一步研究:1)加热速度的控制是食品通电加热技术实用化的难关之一;2)非均质复杂食物

质(尤其是含有细胞结构的食品材料,因细胞壁和细胞内液电导率不同,加热情况复杂)的各部分电阻不同,在通电时内部电流能否均匀地分布,成为影响加工品质的关键等问题有待进一步研究;3)含颗粒调理食品在无菌加工作业中的颗粒杀菌值评估计算问题;4)含颗粒食品在包装系统方面,即颗粒食品的输送、混合及如何平均地充填于每一容器中等技术问题仍有待解决;5)含颗粒食品密度过大或过小对加热效果的影响问题。

## 4 结 语

含颗粒食品通电加热具有物料升温快、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,加工出来的食品能最大限度地保留其色、香、味及营养成分。只有掌握其加工特性,控制好其影响因素并使其达到最佳的组合,才能研制出高品质的食品。食品通电加热技术在我国的研究或产品开发技术应用刚刚起步,需要各行业齐心协力共同研究,来推动其在我国发展与应用。人们对通电加热过程本身及相关计算机模拟和自动化控制体系认识不断增多。并随着生活水平的提高,人们对高质量、高营养产品的需要就会越来越高,电力的发展也将推动通电加热技术的推广应用。随着科学技术的发展和通电加热技术的不断改进和深入研究,开发许多经济实用的通电加热设备,将为明天的食品工业谱写新的篇章。因此,通电加热技术在未来的食品工业中具有广阔的应用前景。

#### [参 考 文 献]

- [1] 杨炳辉 含颗粒流体食品电阻加热制成设计之考量因素[J] 食品工业(台湾),1999,31(2): 1- 7
- [2] 贾原媛,李修伦 欧姆加热在食品加工中的应用[J] 天津轻工业学院学报,2002(2): 13- 17
- [3] Biss C H. 应 军译 欧姆加热法在含颗粒状物料食品连续加热中的开发和应用[J] 农牧与食品机械,1992(4): 31 - 34
- [4] 杨铭铎,邓 云 食品的通电加热技术研究[J] 食品科学,2000(12): 146- 155
- [5] Khalaf W G, Sastry S K. Effect of fluid V iscosity on the ohmic heating rates of liquid-particle mixtures[J]. J Food Eng, 1996, 27(2): 145- 158
- [6] Wang H S, James S B W. Ohmic heating of fluid containing apple particulates[J]. L ssne of April, 1999, 1(2): 154 - 161.
- [7] Speller M N, Litchfield J B. Temperature mapping during ohmic heating using proton resonance frequency magnetic resonance imaging [R]. An ASA E Meeting Presentation Paper No. 99- 6036(26P)
- [8] Taiwan sugar 1997, (1): 26- 27.
- [9] 李里特 食品物性学[M] 北京: 中国农业出版社,1998, 416 - 420
- [10] 李修渠 食物物料的电特性及其应用研究[D] 北京: 中国农业大学,1997.
- [11] 王 锋,等 食品通电加热技术的研究进展[J] 包装与食品机械,2002(6): 12- 13

- [12] 今井哲哉 通电处理による食品の素材发热に関する研究[D] 日本筑波市:筑波大学,1996
- [13] 高福成 现代食品工程高新技术[M] 北京:中国轻工业出版社,1997,317- 331
- [14] 王维麒 电阻加热技术之原理及影响因子[J] 食品工业(台湾),1999,31(2): 8- 14
- [15] Rosłonski D J. Method and apparatus for heating and dispensing individually packaged food products[P] US patent 3651452 1972
- [16] Danilesko S B. Device with electrical contact energy input for the baking industry[Z]. Khlebopekarnaya I fonderiterskaya A Promyshlinnost, 1986, 1, 17.
- [17] Theimer E T, Rosłonski D J. Electrode type cooking package[P] US Patent 3886290 1975
- [18] Mc Xonnel S V, Olsson R P. Wiener ending machine [P] US patent 2139690 1962
- [19] Mc Devitt J. Hot dog vending machine [P] US patent 3548738 1970
- [20] Sierk R H, Sierk R W. Vending machine[P] US patent 2 1988
- [21] Alwis A A, Halden K, Fryer P J. Shape and conductivity effects in the ohmic heating of foods[J] Chemical Engineering Research and Design, 1989 (67): 159- 168
- [22] Palanuappan S, Sastry S K. Electrical conductivity of selected solid foods during ohmic heating[J] Journal of Foods Process Engineering, 1991(14): 221- 236
- [23] Palaniappan Sand, Sastry S K. Electrical conductivity of selected juices: influences of temperature, solid content, applied voltage and partical size[J] J of Food Process Engineering, 1991(14): 247- 260
- [24] 植村邦彦 食品加工における通电加热的利用[J] 食品机械装置, 1996(1): 87- 96
- [25] 植村邦彦 有限要素法による通电加热における温度分布の解析[J] 日本食品科学工学会志, 1996, 43(5): 510- 519
- [26] 植村邦彦 有限要素法による连续通电加热的温度分布の解析[J] 日本食品科学工学会志, 1996, 43(11): 1190- 1196
- [27] 植村邦彦 有限要素法による伝導率測定と温度分布の解析[J] 日食綜研報, 1996(60): 25- 30
- [28] 植村邦彦 高压通电加热による各种食用米の炊飯[J] 日本食品科学工学会志, 1998, 45(9): 533- 538
- [29] Francois Zuber, Adeline Goullieux. Processing and stabilization of cauliflower by ohmic heating technology[J] Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2001, 2(4): 279- 287.
- [30] 李里特, 李法德 通电加热豆腐生产机组研制成功[R] 食品信息, 2000(8): 30
- [31] 李修渠, 李里特 豆浆的电导率[J] 中国农业大学学报, 1999, 4(2): 103- 106
- [32] 李修渠, 李里特 豆浆的通电加热[J] 食品与发酵工业, 1998, 24(5): 37- 39, 42
- [33] 张璐 淀粉的糊化以及测定方式的发展与探讨[J] 粮食与饲料工业, 2001(8): 43- 45
- [34] 李修渠 食品解冻技术[J] 食品科技, 2002(2): 27- 31
- [35] 李修渠, 李里特, 李法德 通电加热解冻的模拟电路模型及实验研究[J] 农业机械学报, 2002, 33(2): 57- 60
- [36] Sastry S K A. Mathematical evaluation of process schedules for aseptic processing of low acid foods containing discrete particulates[J] Journal of Food Science, 1986, 51(5): 1323- 1328, 1332
- [37] Alwis A A, Halden K, Fryer P J. Shape and conductivity effects in the ohmic heating of foods, chemical engineering research and design[J] 1989, 67: 159- 168
- [38] Alwis A A P, Fryer P J. A finite element analysis of heating generation and transfer during ohmic heating[J] Chemical Engineering Science, 1990, 45(6): 1547- 1559
- [39] Sastry S K, Palaniappan S. Mathematical modeling and experiment studies on ohmic heating of solid-liquid mixture in a static heating[J] Journal of Food Process Engineering, 1992(15): 241- 261.
- [40] Sastry S K A. model for heating of liquid-particle mixtures in a continuous flow ohmic heater[J] Journal of Food Process Engineering, 1992, 15: 263- 278
- [41] Zhang L, Fryer P J. Methods for the electrical heating of solid-liquid food mixtures[J] Chemical Engineering Science, 1993, 15: 213- 227.
- [42] Zhang L, Fryer P J. A comparison of alternation formulations for the prediction of electrical heating rates of solid-liquid food materials[J] Journal of Food Process Engineering, 1995, 18: 85- 97.
- [43] Sastry S K, Dutta B. Velocity distributions of food particle suspensions in holding tube flow: experimental and modeling studies on average particle velocities[J] Journal of Food Science, 1990, 55(5): 1448- 1453

## Study trends of ohmic heating for liquor foods containing particles

Zhou Yajun, Yin Yongguang, Liu Wei, Yao Ting

(College of Biological and Agricultural Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China)

**Abstract** This paper introduced the principle and processing properties of ohmic heating for liquor foods containing particles, and the factors that influenced the quality of foods processed by ohmic heating were analyzed. The study trends of ohmic heating technology in foods containing particles were summarized. The present application of mathematic model in ohmic heating for foods was illustrated, and the problems were pointed out. Then the suggestions for the study and development in the future were put forward. All of these contribute to studying the processing properties, influencing factors of ohmic heating for liquor foods containing particles and its applications deeply.

**Key words:** ohmic heating; liquor food containing particles; processing properties; influencing factors; study trend