

液态食品通电加热速度与电导率的关系*

殷涌光¹ 周亚军¹ 玄哲浩² 刘 微¹ 王国华²

1(吉林大学生物与农业工程学院,长春,130022) 2(吉林大学汽车工程学院,长春,130022)

摘 要 通过对液态食品(液体食品、亲水性胶体食品和含颗粒液态食品)通电加热速度与电导率的试验研究,得出食品物料的电导率是影响加热速度的主要因素,电导率越大,通电加热速度越快,食品的pH值对加热速度也有一定的影响,pH值越小,酸性越强,电导率越大,加热速度越快。

关键词 液态食品 通电加热速度 电导率

通电加热是一种新型的加热杀菌和加工技术,特别是对于电导率较高、粘度较高或带颗粒(直径小于25 mm)的液态食品可以进行连续地加热杀菌和加工的一种新方法^[1~3]。对适合通电加热的液态食品物料,种类不同,电导率不同,其电加工特性不同,因而加热速度也不同。在食品通电加热过程中,由于食品物料的电阻会发生变化,这时如何按物料的阻抗调节通电条件,控制加热速度,成为目前该技术实用化的难关之一。因此,液态食品通电加热速度与电导率关系研究是十分必要的,只有弄清二者的关系,控制好加热速度,才能更好地研究食品的电热特性,开发出高品质食品。

1 材料与方法

1.1 试验材料与仪器设备

NaCl、柠檬酸(分析纯)、海藻酸钠、CMC-Na、马铃薯淀粉、豆浆、鲜牛奶、巨峰葡萄、橘子、猕猴桃、西瓜、桃子、水晶梨、黄元帅苹果、苹果梨,pH为4、6.86、9.23的缓冲液、蒸馏水。

MV200 多点温度记录仪,自制通电加热装置,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,万用表, LB801 型超级恒温器,PHS-2C 数字酸度计,

二等标准水银温度计(0~20℃),1/10 刻度水银温度计(0~50℃和50~100℃),电节点温度计,广口冰瓶,热电偶(内径0.3 mm 镍铬-镍硅、端部涂有绝缘浸漆、外部包聚四氟乙烯绝缘套管),电炉,天平,量筒等玻璃仪器。

1.2 试验装置

本试验采用的通电加热装置系统是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(管长200 mm、内径75 mm、单侧壁厚7.5 mm)、6根热电偶(使用前应进行温度标定)和计算机组成,其结构如图1所示。

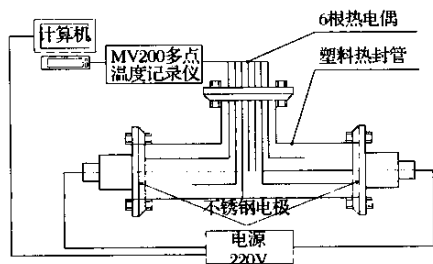


图1 食品通电加热装置结构示意图

1.3 试验的理论依据

1.3.1 电导率

电导率的定义式为: $\sigma = L/AR$ 。式中: L ,长度(m); A ,截面积(m^2); R ,电阻(Ω)。

第一作者:博士,教授。

* 吉林大学青年教师基金项目资助(No. 200167)

收稿时间 2003-10-22 改回时间 2003-11-26

由此式可知 σ 与电阻 R 成反比。若食品为多相时,该式中不同相的电导率将不同。在典型的通电加热条件下,电导率 σ 和温度存在如下关系^[4]: $\sigma_T = \sigma_{ref} [1 + m(T - T_{ref})]$, σ_T , 任意温度 T 时的电导率(S/m); σ_{ref} , 参考温度 T_{ref} 时的电导率(S/m); m , 温度系数。由此可知,在通电加热中,食品的温度越高,其电导率越高。

1.3.2 发热量

在确定的电位场中电流通过被加热食品的单位体积、单位时间的发热量 \dot{u} 为:

$\dot{u} = \nabla(\sigma \nabla V) = \sigma |\nabla V|^2$, 式中 \dot{u} , 热量产生的速率(W/m^3); ∇V , 任一点处的电位梯度(V/m); σ , 电导率(S/m)。由此式可知,在电压不变的情况下,发热量与食品的电导率成正比。

1.3.3 加热速度

一般食品或食品原料都含有较多的水分及各种电解质,所以电阻抗较小,电导率较大,在通电加热过程中食品各部分的加热速度公式^[5]为:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{(\text{grad } V)^2}{RC_p \rho}$$

其中 $\text{grad } V$, 电位梯度(V/m); C_p , 各部分材料比热容($J/kg \cdot K$); ρ , 密度; R , 电阻(Ω)。

由此式可看出:当 R 较小即 σ 较大时,通电后发热效率较大,温度梯度较大,温度升高快。

1.4 试验方法

本文主要对各种液体食品、不同含盐量亲水性胶体溶液和含颗粒液态食品的电导率、pH 值和通电加热时间进行测试和研究,得出食品物料的电导率与加热速度关系。用热电偶来测定颗粒中心和液态食品中点的温度,用 MV200 多点温度记录仪记录时间每间隔 2 s 的温度数值和温度随加热时间变化曲线,苹果颗粒的电导率用带有小颗粒苹果泥的电导率来代替。

2 结果分析

2.1 影响液态食品通电加热速度的因素分析

2.1.1 电导率和 pH 值对液体食品通电加热速度的影响

各种纯果汁、不同浓度的 NaCl 溶液、高蛋白液体食品(鲜牛奶和豆浆)和不同浓度柠檬酸溶液的 pH 值、电导率和通电加热时间如表 1 所示。由表 1 可以看出,电导率大,加热时间短,加热速度快;食品的 pH 值越小,电导率越大,通电加热至 95℃ 时所用时间越少,通电加热速度越快;食品的 pH 值越大,电导率越小,通电加热至 95℃ 时所用时间越长,通电加热速度越慢;各种果汁饮料、含盐较高的液体食品、牛奶和豆浆等含蛋白质较高的液体食品和含酸较高的液体食品都适合用通电加热方法来进行加工,并且加热速度都很快。

表 1 液体食品的 pH 值、电导率和通电加热时间

类 别	液体食品种类	pH 值	电导率/ $\mu S \cdot cm^{-1}$	加热至 95℃ 时所用时间/s
纯水果汁	西瓜汁	4.99	56.7	207
	桃 汁	4.6	52.7	130
	猕猴桃汁	3.02	110.8	120
	葡萄汁(巨峰)	3.36	99.6	150
	水晶梨汁	4.40	57.8	217
	橘 汁	3.38	96.9	153
	苹果汁(黄元帅)	3.63	48.5	240
	苹果梨汁	4.25	49.8	240

续表 1

类 别	液体食品种类	pH 值	电导率/ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	加热至 95℃ 时所用时间/s
氯化钠溶液	质量分数 0.1% NaCl 水溶液	7.0	245	195
	质量分数 0.2% NaCl 水溶液	7.0	340	118
	质量分数 0.5% NaCl 水溶液	7.0	536	58
	质量分数 1% NaCl 水溶液	7.0	830	25
	质量分数 2% NaCl 水溶液	7.0	1 330	15
高蛋白液体食品	鲜牛奶	6.12	330	95
	豆 浆	7.2	198	242
柠檬酸溶液	质量分数 0.1% 柠檬酸溶液	2.77	139	930
	质量分数 0.2% 柠檬酸溶液	2.51	176	575
	质量分数 0.5% 柠檬酸溶液	2.33	205	400
	质量分数 1% 柠檬酸溶液	2.14	245	275
	质量分数 2% 柠檬酸溶液	1.90	275	197

2.1.2 电导率对亲水性胶体溶液通电加热速度的影响

不同含盐量的质量分数 5% 马铃薯淀粉、质量分数 2% 海藻酸钠和质量分数 2% CMC-Na 胶体溶液的电导率和通电加热时间

如表 2 所示。由表 2 可知,3 种亲水胶体溶液随着含盐量增加,其电导率值逐渐增大,通电加热至 95℃ 时所用时间越短,通电加热速度越快,相反所用时间越长,通电加热速度越慢。

表 2 亲水性胶体溶液的电导率和通电加热时间

种 类	NaCl 含量/%	电导率/ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	加热至 95℃ 时所用时间/s
质量分数 5% 马铃薯淀粉胶体溶液	0.1	1 269	80
	0.2	1 459	58
	0.5	2 420	47
	1	3 620	35
质量分数 2% 海藻酸钠胶体溶液	0	1 580	107
	0.1	1 970	91
	0.2	2 020	70
质量分数 2% CMC-Na 胶体溶液	0	1 430	130
	0.1	1 904	94

2.2 电导率对含颗粒液态食品通电加热速度的影响

2.2.1 对含颗粒果汁通电加热速度的影响

将 3 个 1 cm^3 的苹果颗粒置于由该苹果制成果汁中一起进行通电加热,其温度随加热时间的变化曲线如图 2 所示。苹果汁的电导率为 $48.5\text{ }\mu\text{S}/\text{cm}$,而苹果颗粒的电导率为 $43.6\text{ }\mu\text{S}/\text{cm}$ 。由曲线可以看出,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,颗粒中心点的温度稍稍低于果汁的温度;加热到 95℃ 时的时间,颗粒中心点稍滞后于果汁中的其他点;果汁在通电加热过程中,某一时刻各点的温度稍有差异(电极板附近明显偏高),总体上可以看成无明显差异,随着加热温度逐渐升高,曲线

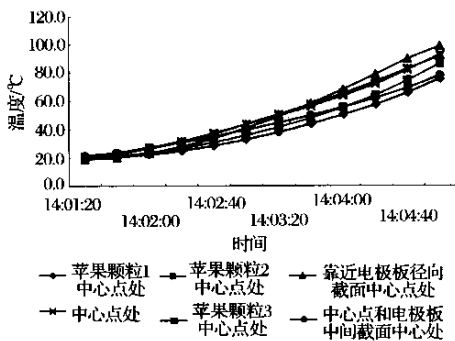


图 2 含苹果颗粒苹果汁通电加热温度变化曲线

逐渐变陡,温升增加,加热速度变快。因此,颗粒内外的温度差异主要是由于苹果汁和苹果颗粒的电导率差异所形成,果汁的加热速度稍快于苹果颗粒;电导率随温度的升高而

变大,加热速度也逐渐变快。

2.2.2 对含颗粒亲水性胶体通电加热速度的影响

果冻类食品中的颗粒在介质中处于悬浮状态,含颗粒液态食品通电加热也是一样,应该选择粘度高、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。将3个 1 cm^3 苹果颗粒置于(含盐0.1%)5%马铃薯淀粉胶体溶液中进行通电加热,其温度随时间变化曲线如图3所示。由图3可知,苹果颗粒的电导率为

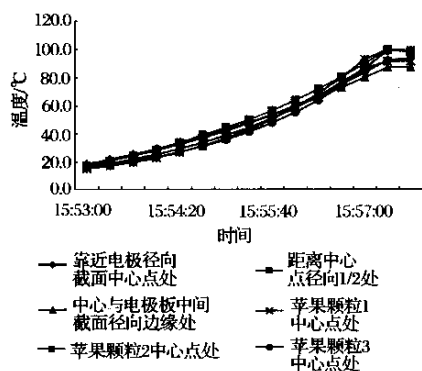


图3 含苹果颗粒质量分数5%马铃薯淀粉胶体溶液(含0.1% NaCl)通电加热温度变化曲线

$43.6\ \mu\text{S}/\text{cm}$ (含盐0.1%)质量分数5%马铃薯淀粉胶体溶液电导率为 $1269\ \mu\text{S}/\text{cm}$,后者电导率远远大于前者,但对某一时刻的加热温度,胶体溶液只是稍微高于每个颗粒中心

点,温度差别不明显,这就是胶体溶液作用的结果。随着加热温度逐渐升高,曲线逐渐变陡,温升增加,颗粒和胶体溶液的电导率随温度的升高而变大,加热速度也逐渐加快。胶体溶液和每个颗粒中心点的时刻温度接近相等,加热到 95°C 所需时间,胶体溶液比颗粒中心稍微短一点,胶体溶液的加热速度比颗粒中心稍微快一点,这一点与电导率大则加热速度快也相吻合。

3 结论

(1)电导率是影响食品通电加热速度的主要因素,电导率大,加热速度快,温度升高,电导率随之增大,加热速度也随之加快。

(2)pH值也影响加热速度,pH值小,酸性强,电导率大,加热速度快。

(3)电导率对含苹果颗粒(含0.1% NaCl)质量分数5%马铃薯淀粉胶体溶液的通电加热速度影响不显著,但也与电导率大则加热速度快相一致。

参考文献

- 1 杨炳辉. 食品工业(台湾),1999,31(2):1~7
- 2 Khalaf W G, Sastry S K. J Food Eng, 1996, 27(2):145~158
- 3 Wang H S, James S B W. Lssne of April, 1999, 1(2):154~161
- 4 Sudhir K. Food Technology, 1992(12):64~67
- 5 植村邦彦. 食品工业,1993,36(20):57~53

Study on Relationship between Ohmic Heating Rate and Conductivity for Liquor Food

Yin Yongguang¹ Zhou Yajun¹

Xuan Zhehao² Liu Wei¹ Wang Guohua²

¹(College of Biological and Agricultural Engineering, Jilin University, Changchun 130022)

²(College of Automotive Engineering, Jilin University, Changchun 130022)

ABSTRACT This paper focused on the relationship of ohmic heating rate and conductivity for liquor food (liquid food, hydrophilic colloid and liquor food containing particles). The conductivity of food material is the main factor that influences the heating rate. The higher the conductivity, the quicker is the ohmic heating. The effect of pH value is reflected in its ability in increasing the acidity, therefore increasing the conductivity of liquid food. This study contributes to studying electric heating properties of food and developing food products of higher quality.

Key words liquor food, ohmic heating rate, conductivity