

荸荠汁欧姆加热特性 及欧姆加热对其澄清度的影响

曾雪¹, 王伟², 李雪瑞^{3,*}, 徐晓云^{1,3}, 王鲁峰^{1,2,*}

(1. 华中农业大学食品科学技术学院, 湖北武汉 430070;

2. 武汉食品化妆品检验所, 湖北武汉 430012;

3. 环境食品学教育部重点实验室, 湖北武汉 430070)

摘要: 荸荠汁是重要的荸荠加工制品, 但其澄清度不佳的问题显著影响了产品品质。本研究使用自制欧姆加热装置处理荸荠汁, 以期获得荸荠汁的欧姆加热特性, 并探索欧姆加热对荸荠汁澄清度的影响。结果表明: 荸荠汁的电导率随着温度和电场频率的增加而增加; 低频低电场强度下荸荠汁的温度随时间呈线性关系, 高频高电场强度下则呈指数关系。同一电场强度下, 荸荠汁的电导率随加热频率的增加而增加, 其中在 200 和 400 Hz 时电导率约为 50 Hz 时的两倍。荸荠汁的容抗值主要是在 $-5 \sim 0 \Omega$ 之间波动, 电场强度对其影响不显著 ($p > 0.05$)。欧姆加热后电位值下降到原值的 50% 左右, 颗粒稳定性下降, 更加易于荸荠汁的澄清。综合来看, 欧姆加热对荸荠汁澄清度有一定改善作用。

关键词: 荸荠汁, 欧姆加热, 加热特性, 澄清度

Ohmic Heating Characteristics of Water Chestnut Juice and the Effect of Ohmic Heating on Its Clarity

ZENG Xue¹, WANG Wei², LI Xue-rui^{3,*}, XU Xiao-yun^{1,3}, WANG Lu-feng^{1,2,*}

(1. College of Food Sciences and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. Wuhan Institute for Food and Cosmetic Control, Wuhan 430012, China;

3. Key Laboratory of Environment Correlative Dietology, Ministry of Education, Wuhan 430070, China)

Abstract: The water chestnut juice was an important processed product of water chestnuts, but its poor clarification had strong negative effect on the quality of products. To obtain the ohmic heating properties of water chestnut juice, the samples were treated using a self-made ohmic heating device, and the effect of ohmic heating on the clarification of the juice was analyzed. The results showed that the conductivity of water chestnut juice increased with the increment of temperature and electric field frequency. The temperature of water chestnut juice had a linear relationship with time under low frequency and low electric field strength, and exponential relationship under high frequency and high electric field strength. On the same electric field intensity, the conductivity of water chestnut juice increased with the increment of heating frequency, and the conductivity under the 200 and 400 Hz were twice as much as it under the 50 Hz. The capacitive reactance value mainly fluctuated between -5 and 0Ω , and the electric field strength had little influence on it ($p > 0.05$). The electric potential value declined a half compared with the primary the electric potential value, the stability of the particles reduced, making it easier to clarify the juice. Above all, ohmic heating had a certain improvement on the clarification of the water chestnut juice.

Key words: water chestnut juice; ohmic heating; heat characteristic; clarity

中图分类号: TS255.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2019)15-0039-07

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2019.15.007

引文格式: 曾雪, 王伟, 李雪瑞, 等. 荸荠汁欧姆加热特性及欧姆加热对其澄清度的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(15): 39-44, 51.

荸荠 (*Heleocharis dulcis* (Burm. f.) Trin.) 又名马蹄, 是一种莎草科多年水生草本植物。荸荠分为野生和栽培两种类型, 食用的主要是栽培型, 此类荸荠

球茎较大, 有的肉质较粗, 渣多, 淀粉含量高, 较耐贮藏; 部分品种味甜, 渣少^[2]。荸荠的营养丰富, 含水量约 68%、淀粉约 18%、蛋白质约 2%、脂肪约 0.19%,

收稿日期: 2018-11-28 + 并列第一作者

作者简介: 曾雪 (1995-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 果蔬加工技术, E-mail: 2413366303@qq.com。

李雪瑞 (1991-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 果蔬贮藏加工, E-mail: 945050939@qq.com。

* 通讯作者: 王鲁峰 (1983-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 果蔬加工技术, E-mail: pipilu001@foxmail.com。

基金项目: 湖北省技术创新专项重大项目 (2017ABA153)。

也含有丰富的矿物质,比如钾(500 mg/100 g)。荸荠熟食,荤素皆宜,能做成多种美味佳肴^[3-4]。一般认为荸荠能降火、消食化痰、补肺凉肝、生津开胃、消食醒酒,可治疗痰热咳嗽、咽喉疼痛、便血等^[5]。

目前荸荠主要用于鲜食,加工制品较少。其中,荸荠汁是最主要的加工产品,分为澄清汁和浑浊汁两种。浑浊汁呈较为明显的浑浊态,商品价值及市场接受程度不及澄清汁。其混浊颗粒主要有淀粉胶粒、果胶-蛋白质胶粒和纤维素-半纤维素胶粒,这些胶粒不仅粒度非常小,而且它的外表带有很多负电荷,自然沉降速率非常慢,阻止胶粒之间凝结成团^[6],致使胶粒表现出很高的悬浮稳定性。因此如何去除部分浑浊颗粒,改善荸荠汁的澄清效果是非常值得研究的课题。

欧姆加热又称为通电加热,它是利用食品物料具有的电导特性来加工食品的技术,比如电解质溶液会发生定向移动从而使物料导电^[1,7]。欧姆加热易操作、无污染、热能利用率高,加工食品质量好,能实现含有颗粒的液固混合食品及固体食品的高温快速杀菌^[8]。Palaniappan等^[9]研究了不同电压和不溶性固体对欧姆加热胡萝卜和番茄汁巴氏杀菌的影响。Martynenko等^[10]做了欧姆加热处理液体食品之后食品品质的评估,指出温度影响了果汁的电导率。Li Fa-de等^[15]对欧姆加热豆浆做了相关特性的研究,发现欧姆加热电场强度对于豆浆中脲酶活性的影响不大,王云阳等^[12]研究指出苹果汁电导率和介电损耗因子的影响因素,为欧姆加热苹果汁提供基础数据支持。但是,目前国内外对欧姆加热荸荠汁相关的研究未见报道。此外,欧姆加热除了热效应外,还有电场作用,有可能作用于荸荠汁中的带电粒子,继而破坏其稳定性,有改善澄清度的潜力。本文采用简易欧姆加热装置,研究荸荠汁的欧姆加热特性,并分析此条件下欧姆加热对改善荸荠汁澄清效果的作用,以初步明确其在荸荠汁加工中的应用价值。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

荸荠 湖北省孝感市本地市场。

图1为自行设计组装的欧姆加热设备示意图,加热槽极板可以根据实验需要进行调节。

紧凑型数字电桥 常州同惠电子股份有限公司;温度控制器 青岛科迪博电子科技有限公司;电力监测仪 深圳市北电仪表有限公司;低速果渣分离榨汁机 北京京东世纪贸易有限公司;离心机 德国贝克曼;冷冻干燥机 武汉德力洋仪器设备有限公司;X-射线衍射仪器 德国BRUKER;激光粒度仪 英国马尔文仪器有限公司;Zetasizer 英国马尔文仪器有限公司。

表1 电场强度和频率实验设计

Table 1 Electric field intensity and frequency experiment design

电场强度(V/cm)	22			27.5			36.7		
频率(Hz)	50	200	400	50	200	400	50	200	400

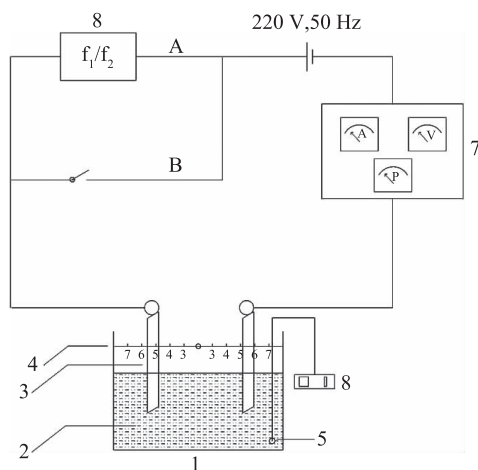


图1 欧姆加热装置示意图

Fig.1 Schematic diagram of ohmic heating device

注:1.加热槽;2.荸荠汁;3.电极板;4.极板调节杆;5.温度探头;6.温控器;7.电力监测仪;8.变频器。

1.2 实验方法

1.2.1 荸荠汁的制备 新鲜荸荠削好皮后迅速转至4℃水中储存备用,实验前将每个样品清洗干净并除去多余的水分,用低速果渣分离榨汁机对荸荠进行榨汁,然后将汁液通过食品级80目滤网进行过滤,去除滤渣^[12]。

1.2.2 欧姆加热处理及普通加热处理 1.1中图1为自行设计组装的欧姆加热设备示意图,其中加热槽极板间距可调,分别在6、8、10 cm处,通入220 V的电流后,根据 $E = U/d$, E -电场强度, U -电压, d -极板之间的距离,可得电场强度分别为22、27.5、36.7 V/cm,其中设置各电场强度对应的频率见表1。

由于荸荠汁的出汁率较低,且浑浊度较高,在荸荠汁实际生产过程中通常需要对其进行稀释处理。因此,本研究取过滤后的汁液250 mL至1 L量筒中,稀释4倍,制备1 L的新鲜荸荠汁样品。然后将荸荠汁汁液放入欧姆加热装置中,通过热电偶实时检测荸荠汁内部温度,当温度升到20℃时,开始计时,直到温度达到90℃时实验结束并冷却至室温。欧姆加热过程中,在20~90℃的温度范围内,每5℃测量荸荠汁的阻抗和相位角,用温控器,电力监测仪等测相关值的变化。

普通加热实验的样品处理同上,具体操作是:让汁液置于同一容器中在1600 W的电磁炉上进行加热,实时监测其温度变化,90℃停止。

1.2.3 温度及电导率、电阻、容抗、感抗的测定 在固定的电压梯度和加热时间下测量荸荠汁的瞬时温度。通电加热过程中,在20~90℃的温度范围内,每5℃测量荸荠汁的阻抗和相位角,记录温度、电压、电流。将电极板和荸荠汁接触的表面看成电容,荸荠汁看成电阻,则整个系统看成一个等效电路。测得

的整个系统的电导率及电极的容抗和荸荠汁的电阻,计算公式如下:

$$\text{电导率为 } \sigma = \frac{L}{AeR} = \frac{LI}{AeU}$$

式中: σ -物料电导率, s/m; L-加热槽内钛电极板之间的距离, m; Ae-极板与物料之间的有效接触面积, m²; R-电阻, Ω ; I-电流, A; U-电压, V。

$$\text{电阻为 } R = |Z| \times \cos\theta$$

式中: R-荸荠汁的电阻值, Ω ; |Z|-荸荠汁阻抗测量值, Ω 。

$$\text{容抗为 } X = |Z| \times \sin\theta$$

式中: X-容抗值, Ω ; |Z|-荸荠汁阻抗测量值, Ω 。

$$\text{感抗为 } X_L = 2\pi fL$$

式中: X_L -感抗, Ω ; L-电感, H; f-频率, Hz。

1.2.4 荸荠汁颗粒粒径的测定 荸荠汁添加蒸馏水配制为质量分数 25% 的稀释汁样品, 然后分别取 5 份 200 mL 样品于 300 mL 三角瓶中, 编号 a、b、c、d、e, 其中 a 号样品在 36.7 V/cm, 50 Hz 条件下欧姆加热, 从室温加热至 90 °C, 置于 4 °C 冰箱中静置; b 号样品在 22 V/cm, 400 Hz 条件下欧姆加热, 从室温加热至 90 °C, 置于 4 °C 冰箱中静置; c 号样品在 36.7 V/cm, 400 Hz 条件下欧姆加热, 从室温加热至 90 °C, 置于 4 °C 冰箱中静置; d 号样品(普通汁)用电磁炉加热, 从室温加热至 90 °C, 置于 4 °C 冰箱中静置; e 号样品(原汁)未经过任何加热处理, 混匀后直接置于 4 °C 冰箱中静置。静置 6 h 后, 将上清液分别倒入另一洁净容器中, 摇匀取样于三角瓶, 超声分散, 进激光粒度仪对上清液和絮状沉淀进行颗粒粒径测定。

1.2.5 荸荠汁沉淀的 X 射线衍射分析 取 1.2.4 静置完毕的样品, 倒掉上清液, 摇匀, 取絮状沉淀样液于冻干机中冻干 48 h, 冻干后将其研磨成细粉, 用 x-射线衍射仪进行分析。采用粉末压片法, 测试条件为: CuK α ($\lambda = 0.15406$ nm) 辐射, 测试电压 40 kV, 测试电流 40 mA, 扫描方式为步进扫描, 扫描速度为 10 °/min, 步长 0.02 °。

1.2.6 Zeta 电位分析 取 1.2.4 静置完毕的样品, 倒掉上清液, 摇匀, 取絮状沉淀样液导入电位仪的电位池中, 测试温度为 25 °C, 用 Zeta 电位分析仪测定其 Zeta 电位值, 3 次平均样的平均值。

1.3 数据分析

试验数据采用 Excel 2007 软件初步整理, 使用 GraphPad Prism 5.0 绘图软件进行图表处理。所有数据均取 3 次测试的平均值并计算标准差。

2 结果与分析

2.1 荸荠汁欧姆加热过程中电导率的变化

由图 2 分析可知, 在三种电场强度和三种电场频率下, 荸荠汁的电导率都随温度呈近似线性增加, 并且随着温度的增加, 频率的影响更显著 ($p < 0.05$)。但是到 80、90 °C 时, 电导率明显降低, 推测主要是因为产生了绝缘性的气泡, 干扰电流的流动而导致整个系统的电导率降低^[14-15]。同时荸荠中含有大量淀

粉, 淀粉糊化, 使得荸荠汁黏度增加, 这些都会降低荸荠汁的电导率。此外, 同一电场强度下, 荸荠汁的电导率随加热频率的增加而增加, 其中在 200 和 400 Hz 时电导率约为 50 Hz 时的两倍。这可能是因为低频时, 由于荸荠汁双电层电容的影响溶液阻抗很大, 电导率偏低; 高频时, 双电层来不及形成, 阻抗主要来源于溶液的电阻, 电导率有所增加^[1]。这也说明荸荠汁不是纯电阻电路。此外, 未发现电场强度对荸荠汁的电导率有显著影响 ($p > 0.05$)。

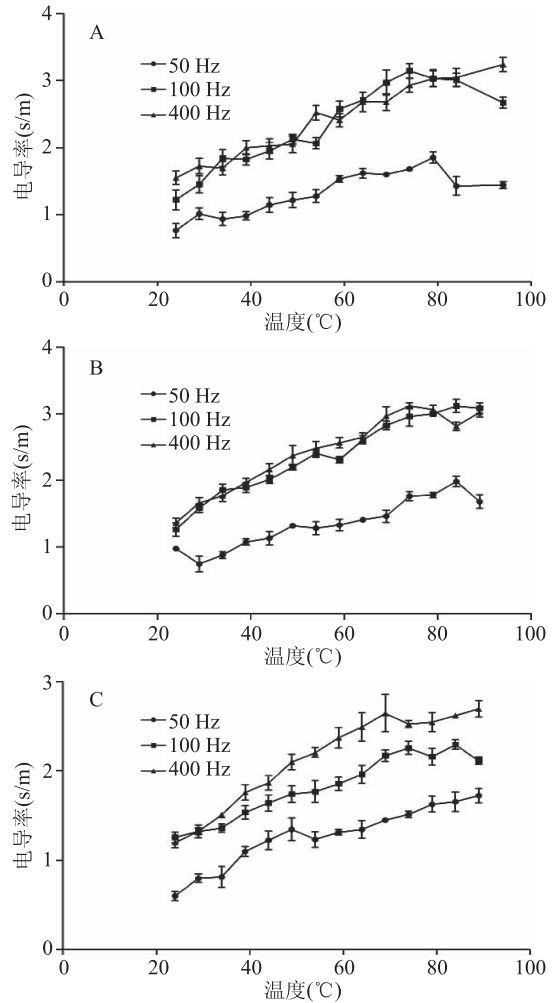


图2 不同欧姆加热条件对荸荠汁电导率的影响

Fig.2 Effects of different ohmic heating conditions on the conductivity of water chestnut juice

注: A: 22 V/cm; B: 27.5 V/cm; C: 36.7 V/cm。

2.2 荸荠汁欧姆加热过程中荸荠汁温度的变化

欧姆加热也是电能转化为溶液热能的过程。但参数设计不同, 加热的速率也不同。由图 3 可知, 随着电场强度的增加, 加热速率也增加, 达到沸腾的温度所用时间就越少。当电场强度为 36.7 V/cm 的时候, 大约需要 4 min, 27.5 V/cm 时, 约需 5 min, 22 V/cm 时, 则需约 6 min, 甚至更长时间。可以近似认为低频低电场强度下荸荠汁的温度随时间呈线性关系, 高频高电场强度下则呈指数关系。指数方程为^[17]: $T = C_1 \times e^{C_2 \times t + C_3} + C_4$, 式中 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 为常数, t 为时间, T 为温度。低频时的线性变化可能是因为加热时间

长,散热多,导致体系温度损失大,指数关系被削弱。高频时这种变化可由单位体积荸荠汁单位时间内产生的热量 $q^{[16]}$: $q = \delta \times E^2$ 分析,其中 q -单位体积荸荠汁单位时间内产生的热量, J_s^{-1} ; δ -荸荠汁的电导率, Sm^{-1} ; E -电场强度, Vm^{-1} 。热量与电场强度的平方成正比,所以电场强度越大,产生的热量就越多,加热速率也就越高。

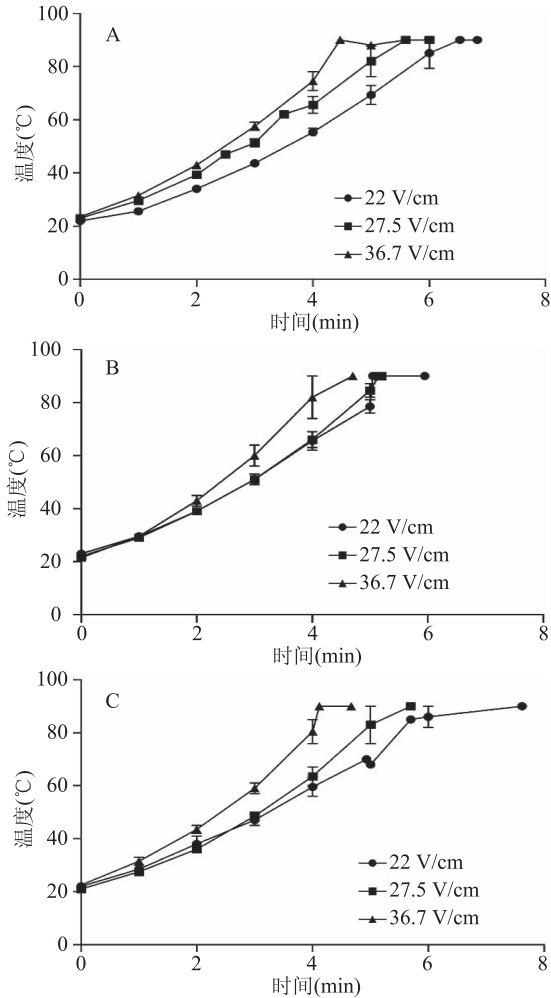


图3 不同欧姆加热条件对荸荠汁加热速率的影响

Fig.3 Effects of different ohmic heating conditions on the heating rate of water chestnut juice

注:A;50 Hz;B;200 Hz;C;400 Hz。

2.3 荸荠汁欧姆加热过程中荸荠汁的电阻值的变化

荸荠汁呈弱酸性,其中的有机酸、金属离子、带电胶粒等提供一定导电性。由图4分析可知,在不同电场强度下,三个频率条件下荸荠汁的电阻值主要在2~10 Ω 间波动。50 $^{\circ}C$ 以上时电阻减小的原因主要有两个方面引起。一是导电离子在水溶液中并不是孤地存在,而是与水分子形成水合物。当温度升高时,离子的水化作用减小了,载流子的迁移率增加,使电阻下降;二是当温度升高时,溶液的粘度降低了,这就减小了离子移动时所受到的阻力,也使离子的迁移率增加。理论上讲,频率不同时电阻应该保持不变,但是图中显示高电场频率时,电阻值有减小的趋势流。这应该是由低电场频率时的极化效应(当电流通过电极时会发生氧化或还原反应从而改变电极附近溶

液的组成产生“极化”现象)引起的^[15]。

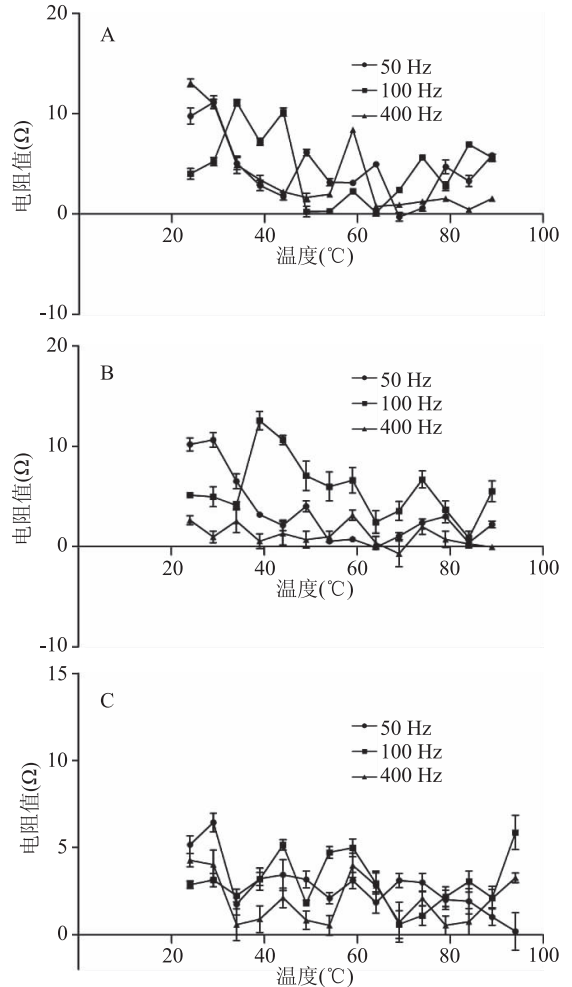


图4 不同欧姆加热条件对荸荠汁电阻的影响

Fig.4 Effects of different ohmic heating conditions on the resistance of water chestnut juice

注:A;22 V/cm;B;27.5 V/cm;C;36.7 V/cm;图5同。

2.4 荸荠汁欧姆加热过程中荸荠汁的容抗值的变化

荸荠汁电极板之间会形成电容,并应具有通高频、阻低频的特点。由图5分析可知:在不同的电场强度和频率条件下,荸荠汁的容抗值主要是在-5~0 Ω 之间波动。电场强度对其的影响不显著($p > 0.05$)。但在同一电场强度时,频率越高容抗越小,这符合交流电体系的基本特征-频率越高体系电容对阻抗的贡献越小。但个别数值出现剧烈波动,可能是因为荸荠汁溶液在温度较高时电学性质不稳定。

2.5 荸荠汁欧姆加热过程中荸荠汁的感抗值的变化

电感具有通直流,阻交流的基本特点,且频率越高这种阻碍作用越大。但由图6分析可知:电场频率从50 Hz升高到400 Hz时,感抗值并未表现规律性变化。这与经典理论有所偏差,说明荸荠汁体系具有一定的感抗,但其感抗特性并不稳定或者在更高频率下电感被部分破坏。这其中的内在原因尚需要进一步研究。

2.6 不同处理方式对荸荠汁上清液和沉淀粒径的影响

由图7发现,上清液的粒径中,原汁的粒径比其

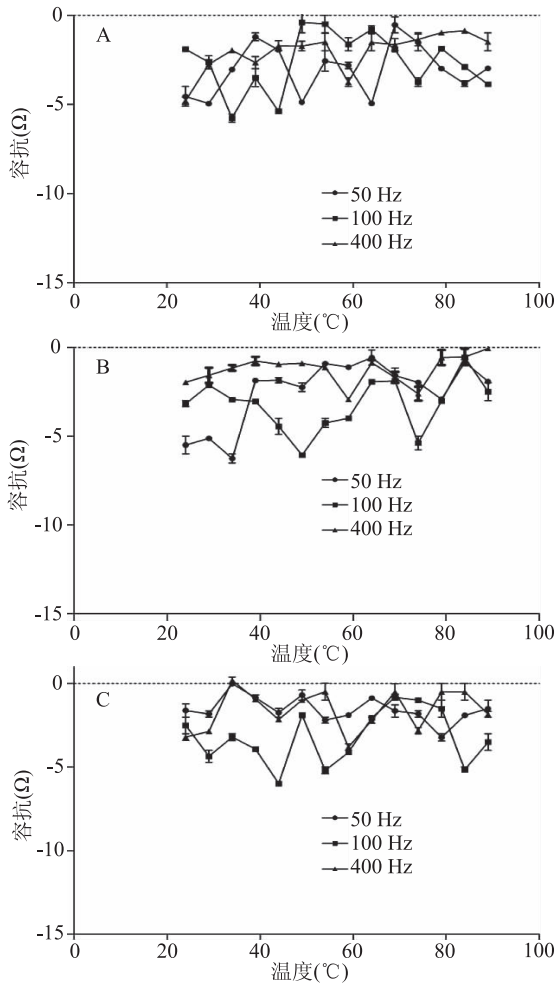


图5 不同欧姆加热条件对荸荠汁容抗的影响
Fig.5 Effects of different ohmic heating conditions on the capacitive reactance of water chestnut juice

他组粒径大。可能是因为原汁胶粒间斥力大于引力,溶胶较稳定。不同加热方式处理后上清液中颗粒粒径均出现了明显下降,但各组之间没有显著性差异(36.7 V/cm 400 Hz 除外)。推测是部分颗粒发生了解体或沉淀,沉淀积累从而使沉淀的粒径有所增加。另外,欧姆加热后沉淀粒径比普通加热处理的小,可能说明欧姆加热条件下的粒径沉淀的较少,部分发生了解体。由 DLVO(胶体颗粒的聚集稳定性)理论^[18]:胶体的稳定性取决于粒子间的范德华力和静电排斥作用。若斥力大于引力,则溶胶稳定,反之,则不稳定。可以推测,欧姆加热改变了原有静电力场的分布,促进了部分颗粒的解体,也可能导致了部分颗粒的重新聚集。

2.7 不同加热方式处理后荸荠汁沉淀的 X 射线衍射分析

荸荠中淀粉含量丰富,在其衍射图谱中表现出明显的结晶结构。加工荸荠汁产生的沉淀也主要由淀粉构成。由图 8 可以看出,只有原汁中出现结晶的衍射图谱,欧姆加热和普通加热处理后均看不到结晶的衍射图谱,说明欧姆加热同样可以使淀粉糊化而变为结晶消失。但不同加热方式引起的淀粉的糊化和老化程度也会有不同,这还需要进一步的

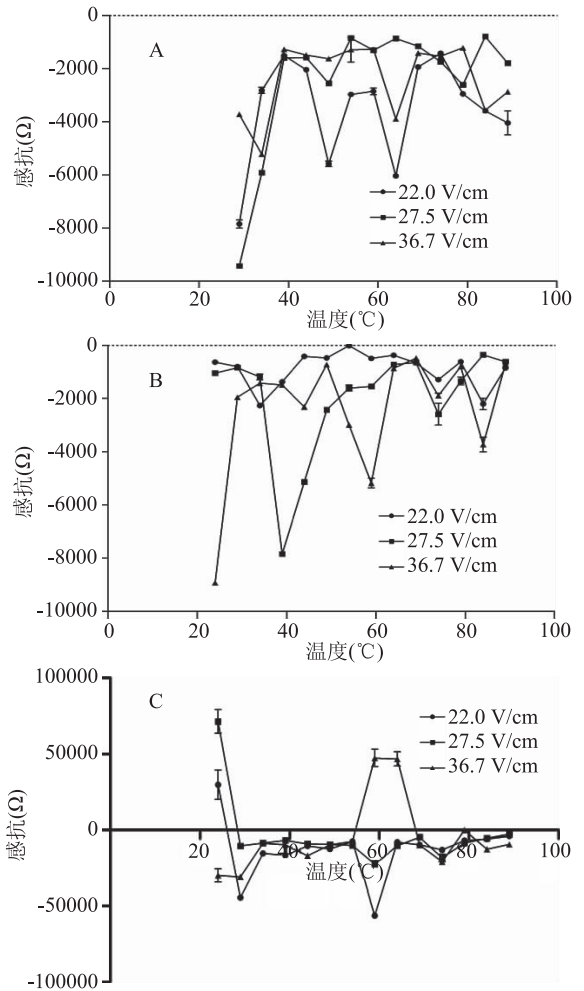


图6 不同欧姆加热条件对荸荠汁感抗的影响
Fig.6 Effects of different ohmic heating conditions on the inductive reactance of water chestnut juice
注:A:50 Hz;B:200 Hz;C:400 Hz。

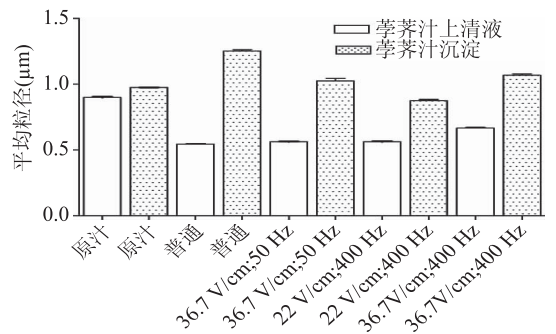


图7 不同处理方式对荸荠汁上清液和沉淀粒径的影响
Fig.7 Effects of different treatments on the supernatant and precipitation particle size of water chestnut juice

2.8 不同加热方式处理后荸荠汁 Zeta 电位的变化

由表 2 数据得出,相比于原汁 Zeta 电位的绝对值大小,加热处理后的荸荠汁 Zeta 电位的绝对值均大幅下降(约为原值的 50%),说明加热处理后其稳定性都降低了。不过需要说明的是,即使原汁的电位绝对值较大,但也属于不稳定区间,容易发生凝集沉淀。我们推测原汁胶粒间的总位能达到最大值,

表2 不同处理方式处理荸荠汁后其 Zeta 电位的变化

Table 2 The changes of Zeta electrical potential after different treatments on Chinese water chestnut juice

组别	原汁	欧姆加热		
		36.7 V/cm, 50 Hz	22 V/cm, 400 Hz	36.7 V/cm, 400 Hz
平均值(mV)	-14.22 ± 0.52 ^a	-8.39 ± 0.35 ^{ab}	-7.01 ± 0.27 ^a	-7.13 ± 0.59 ^a

注:不同小写字母(a,b,c)表示差异显著($p < 0.05$)。

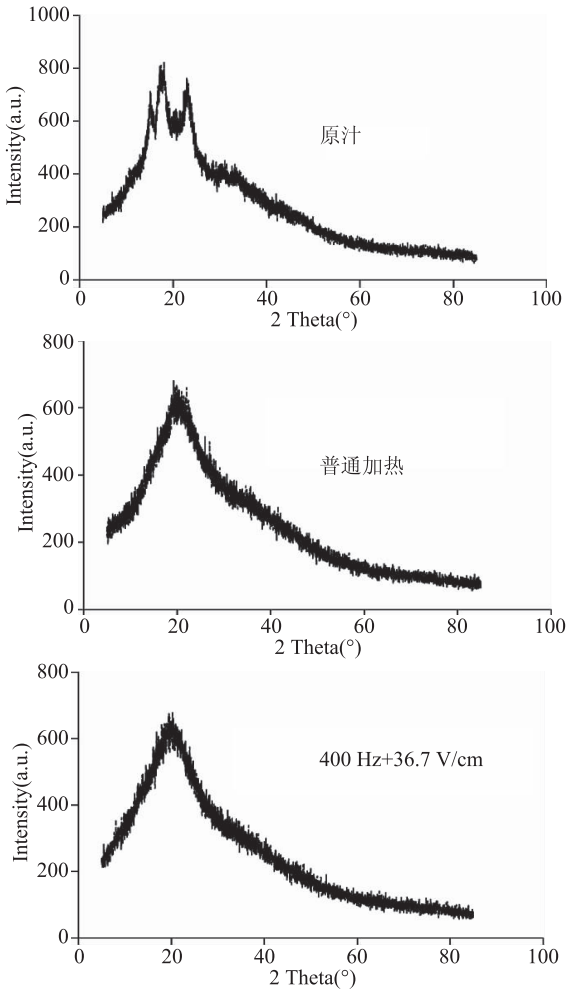


图8 不同处理方式对荸荠汁中有结晶度物质的含量的影响

Fig.8 Effects of different treatments on the content of crystallinity in water chestnut juice

一般胶粒动能远远小于此值而不能通过,此时溶液中微粒之间斥力大于引力^[18-19];加热后,荸荠汁中的淀粉分子内部氢键断裂,结构舒展开,当荸荠汁溶胶中存在个别动能非常大的胶粒相遇时,随着距离的减小,吸引能显著增加,吸引力强于斥力,部分胶粒就在此力作用下自动聚结,并呈现出了聚结不稳定的^[17-18]。欧姆加热的外加电场又改变了体系的电荷分布,进一步破坏了电位平衡。结合前面颗粒粒径变化的情况,或许可以利用欧姆加热配合其他操作加快汁液的澄清,改善产品澄清度。

3 结论

荸荠汁的电导率随着温度的增加而增加,随电场强度变化较小,随频率的增加而显著增加。电场强度和频率越大,电极-荸荠汁体系加热速率越大,

达到沸腾的温度所用时间越少;低频低电场强度下荸荠汁的温度随时间呈线性关系,高频高电场强度下则呈指数关系。固定频率值不变时,50、200 Hz时,电阻值、容抗值、感抗值不断变化。荸荠汁的容抗值主要在-5~0 Ω之间波动,且电场强度对其影响不显著。荸荠汁体系具有一定的感抗,但其感抗特性并不稳定或者在更高频率下电感被部分破坏。荸荠汁不是纯电阻电路,在欧姆加热时需要考虑容抗和感抗的影响。

欧姆加热对荸荠汁澄清度有一定改善作用。相比于普通加热,欧姆加热后荸荠汁沉淀颗粒粒径更小,可能是欧姆加热改变了原有静电力场的分布,促进了部分颗粒的解体。通过对沉淀物进行了X射线衍射分析,发现只有原汁中出现结晶的衍射图谱,欧姆加热和普通加热处理后均看不到结晶的衍射图谱,说明欧姆加热同样可以使淀粉糊化而变为结晶消失。但不同加热方式引起淀粉的糊化和老化程度也会有不同,这还需要进一步的研究。另外欧姆加热后电位值下降,颗粒稳定性下降,更加易于荸荠汁的澄清。此外欧姆加热加热速度快且均匀,对果汁风味和营养价值的影响较小,综合来看具有较好改善荸荠汁品质的潜力。

参考文献

- [1] Li X R, Ye C W, Tian Y, et al. Effect of ohmic heating on fundamental properties of protein in soybean milk [J]. Journal of Food Process Engineering, 2018, 41(3): e12660.
- [2] 柯卫东, 黄新芳, 李建洪, 等. 我国水生蔬菜科研与生产发展概况 [J]. 长江蔬菜, 2015(14): 33-37.
- [3] 张怡, 胡月珍, 李小根. 荸荠营养成分及保健价值的研究 [J]. 科技创业家, 2013(6): 198.
- [4] Lascorz D, Torella E, Lyng J G, et al. The potential of ohmic heating as an alternative to steam for heat processing shrimps [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2016, 37: 329-335.
- [5] 尹志华. 荸荠淀粉的颗粒特性和胶凝作用研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2007.
- [6] Castro I, Macedo B, Teixeira J A, et al. The effect of electric field on important food-processing enzymes: Comparison of inactivation kinetics under conventional and ohmic heating [J]. Journal of Food Science, 2004, 69(9): 6.
- [7] 单长松, 宋华鲁, 刘锦, 等. 欧姆加热对豆浆风味物质的影响 [J]. 食品科学, 2018, 39(22): 195-201.
- [8] 王冉冉, 田富洋, 朱敏, 等. 液体食品连续通电加热装置 [J]. 农业机械学报, 2012, 43(4): 132-136.
- [9] Mizobutsi G P, Finger F L, Ribeiro R A, et al. Effect of pH

(下转第51页)

product enriched with conjugated linoleic acid emulsified by Ultra-High Pressure Homogenization[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2017, 39: 275-283.

[11] 刘波, 唐洁, 向琴, 等. PET 瓶装香蕉牛乳的品质变化及其货架期预测模型建立[J]. 食品科技, 2017(2): 27-33.

[12] Cesa S, Casadei M, Cerreto F, et al. Infant milk formulas: Effect of storage conditions on the stability of powdered products towards autoxidation[J]. Foods, 2015, 4(3): 487-500.

[13] Qian C, McClements D J. Formation of nanoemulsions stabilized by model food-grade emulsifiers using high-pressure homogenization: Factors affecting particle size [J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(5): 1000-1008.

[14] 王凤梅, 梁琪, 文鹏程, 等. 两种乳中脂肪球粒径、脂肪酶活性以及游离脂肪酸的比较分析[J]. 食品工业科技, 2015, 36(19): 95-100.

[15] Waraho T, McClements D J, Decker E A. Impact of free fatty acid concentration and structure on lipid oxidation in oil-in-water emulsions[J]. Food Chemistry, 2011, 129(3): 854-859.

[16] Waraho T, Cardenia V, Rodrigueztrada M T, et al. Prooxidant mechanisms of free fatty acids in stripped soybean oil-in-water emulsions [J]. J Agric Food Chem, 2009, 57(15): 7112-7117.

[17] Gaucher I, Mollé D, Gagnaire V, et al. Effects of storage temperature on physico-chemical characteristics of semi-skimmed UHT milk [J]. Food Hydrocolloids, 2008, 22(1): 130-143.

(上接第 44 页)

and temperature on peroxidase and polyphenoloxidase activities of litchi pericarp[J]. Scientia Agricola, 2010, 67(2): 213-217.

[10] Martynenko A, Chen Y. Degradation kinetics of total anthocyanins and formation of polymeric color in blueberry hydrothermodynamic (HTD) processing [J]. Journal of Food Engineering, 2016, 171: 44-51.

[11] 单长松, 李法德, 王少刚, 等. 欧姆加热技术在食品加工中的应用进展[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(10): 269-276.

[12] 王云阳, 李站龙, 杨绍龙, 等. 苹果汁电导率及介电损耗因子影响因素的研究[J]. 现代食品科技, 2013(12): 2810-2815.

[13] Brochier B, Mercali G D, Marczak L D F. Influence of moderate electric field on inactivation kinetics of peroxidase and polyphenol oxidase and on phenolic compounds of sugarcane juice treated by ohmic heating[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 74: 396-403.

[14] Tian X, Wu W, Yu Q, et al. Quality and proteome changes of

[18] 闫志国. UHT 乳在货架期内理化性质的变化研究[J]. 乳业科学与技术, 2011, 34(1): 36-38.

[19] 任龙梅. 储存环境对 UHT 奶脂氧化程度的影响及货架期模型预测[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2011.

[20] Yu H, Zheng Y, Li Y. Shelf life and storage stability of spray-dried bovine colostrum powders under different storage conditions [J]. Journal of Food Science & Technology, 2015, 52(2): 944-951.

[21] 王晓兰. UHT 乳货架期加速实验方法的研究与应用[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2006.

[22] Durand A, Franks G V, Hosken R W. Particle sizes and stability of UHT bovine, cereal and grain milks [J]. Food Hydrocolloids, 2003, 17(5): 671-678.

[23] Lu C, Wang G, Li Y, et al. Effects of homogenisation pressures on physicochemical changes in different layers of ultra-high temperature whole milk during storage [J]. International Journal of Dairy Technology, 2013, 66(3): 325-332.

[24] 赵正涛. 液态乳体系稳定性机理的初步研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2010.

[25] Boumpa T, Tsioulpas A, Grandison A S, et al. Effects of phosphates and citrates on sediment formation in UHT goats' milk [J]. Journal of Dairy Research, 2008, 75(2): 160-166.

[26] Dalgleish D G, Corredig M. The structure of the casein micelle of milk and its changes during processing [J]. Annual Review of Food Science & Technology, 2012, 3(1): 449.

beef M.longissimus dorsi cooked using a water bath and ohmic heating process [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2016, 34: 259-266.

[15] Li F, Chen C, Ren J, et al. Effect of ohmic heating of soymilk on urease inactivation and kinetic analysis in holding time [J]. Journal of Food Science, 2015, 80(2): e307-e315.

[16] Sakr M, Liu S. A comprehensive review on applications of ohmic heating (OH) [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014, 39(39): 262-269.

[17] 徐巍, 姜欣, 沈五雄, 等. 液态食品连续欧姆加热的数值模拟[J]. 食品科学, 2010, 31(19): 74-78.

[18] 刘明. 几种典型水溶液分散体系的 Zeta 电位及其稳定性研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2010.

[19] 彭昌盛, 张倩, 徐兴永, 等. 团聚-分散行为对悬浮液 Zeta 电位的影响[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2010, 40(10): 121-126.

一套《食品工业科技》在手， 纵观食品工业发展全貌