

烹饪传热学及动力学数据采集分析系统的研制

周杰, 邓力^{*}, 闫勇, 李慧超

(贵州大学酿酒与食品工程学院, 贵阳 550025)

摘要: 针对现有热处理验证设备不能满足烹饪过程动力学函数成熟值 M 和过热值 O 测定需求, 因而研制了一种能在计算机上实现多路自动采集烹饪温度、积分计算 M/O 值的数据采集分析系统。该系统采用超细铠装热电偶作为温度传感器, 使得系统温度采集精确度达到 $\pm 0.05^\circ\text{C}$; 系统采用辛普森法积分计算 M/O 值并具备智能实时显示、记录并存储数据的功能。系统应用实例中测定了样品的表面和中心温度、表面和中心成熟值、表面和中心过热值, 其中 M/O 值测量误差分别为 $\pm 1.16\%$ 和 $\pm 0.58\%$ 。应用表明, 所研系统满足了成熟值理论的验证与分析、烹饪试验传热学和动力学试验以及烹饪过程的数值模拟试验等研究的设备需求。

关键词: 动力学, 传热, 数据采集, 烹饪

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.23.033

中图分类号: TS201.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-23-0241-06

周杰, 邓力, 闫勇, 等. 烹饪传热学及动力学数据采集分析系统的研制[J]. 农业工程学报, 2013, 29(23): 241—246.

Zhou Jie, Deng Li, Yan Yong, et al. Development of system on data acquisition and analysis of heat transfer and kinetics for Chinese cuisine[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(23): 241—246. (in Chinese with English abstract)

0 引言

中式传统烹饪在中国国民的食物消费中占据主导地位, 现代化、标准化、工业化是其发展的必然趋势^[1-4]。因此须在理论和实验的基础上开展烹饪研究。

文献^[5]通过对烹饪过程解析, 认为典型中式烹饪是开放容器中流体一颗粒食品的传热、传质、相对运动和品质变化过程, 进而认为过程传递-反应动力学-食品品质变化是烹饪的核心原理。文献^[6]提出了以动力学为基础的烹饪过程理论——成熟值理论, 即基于等效加热时间 (equivalence heated time) 概念提出和定义了新的动力学函数——针对特定品质因子的成熟值 M (maturity value) 和过热值 O (overheated value), 以及新的烹饪参数——终点成熟值 M_T (terminal maturity value) 和成熟时间 t_M

(maturity time)。文献^[5]通过热质平衡建立了烹饪过程中热质传递的代表性控制方程组, 可以理论计算烹饪过程中物料的温度历史; 文献^[7]对作为中式烹饪的代表性工艺——炒, 进行了数值模拟与优化, 分析了炒的技术特征和操作参数。上述有关烹饪研究均为理论分析和数值模拟并未得到实际试验验证^[5-7]。而理论和数值研究的验证, 以及烹饪过程的操作参数、关键烹饪品质的分析研究, 都需要传热学和动力学的试验研究, 进而需要研制适合上述烹饪研究的试验设备。

食品领域的传热学和动力学试验设备称为热处理验证设备^[8-9], 现有设备, 如 Ellab 的 $E\text{-Val Flex}$ 热力温度验证系统^[10]、嘉仪仪器公司 $CAN\text{-}F\text{-}125$ 杀菌温度记录仪^[11]都能够进行温度采集和动力学参数实时计算。由于存在以下问题不能应用于烹饪研究: 1) 采用的触壳型铠装热电偶的直径达到 2~3 mm, 热响应时间 (达到目标温度 50% 的时间) 为 0.4~0.6 s^[12], 会导致严重测量误差, 较高的温度滞后导致数据失实, 不能够满足研究需要; 2) 其计算的动力学参数为 F 值和 C 值, 与烹饪研究中的 M 值和 O 值有不同的参数设置; 3) 采样频率最小 1 样/s, 不能满足 M 值和 O 值积分精度需要。

因此, 研制了一种能在计算机上实现多路自动采集并实时显示烹饪食品温度、积分计算 M/O 值等动力学参数的烹饪传热学和动力学数据采集及分析系统。

收稿日期: 2013-04-07 修订日期: 2013-10-22

基金项目: 国家科技支撑计划重大项目 (2012BAD37B02), 贵州省科学技术基金 (黔科合 J 字 [2009]2238 号), 贵州大学引进人才科研项目 (贵大人基合字 (2009) 27 号)。

作者简介: 周杰 (1979—), 男, 江苏扬州人, 主要从事自动烹饪、现代杀菌技术研究。贵阳 贵州大学酿酒与食品工程学院, 550025。

Email: zhouyifei_dan@sina.cn

*通信作者: 邓力 (1966—), 男, 江苏南京人, 副教授, 主要从事研究方向为自动烹饪、复杂食品加工过程的数值分析、现代杀菌技术及挤压技术。贵阳 贵州大学酿酒与食品工程学院, 550025。

Email: denglifood@foxmail.com

1 烹饪研究对采集分析系统的需求

1.1 温度采集的需求

1.1.1 采集点数和热电偶尺寸的需求

首先,在典型烹饪过程中,传热方向是热源→容器→液体→食品颗粒,多数情况下我们关心的是颗粒的品质,而烹饪过程中颗粒内部的温度是非稳态的,即从颗粒的几何中心到表面存在温度梯度。因而,为掌握烹饪原料液体-颗粒温度分布,应进行多点温度测量^[5]。其次,通常中式烹饪中原料颗粒较小,如肉片烹饪的较佳尺寸是 2~4 mm^[7],为了获得准确空间位置的温度历史,温度采集应尽量集中在一个点上,因此要求热电偶的直径尽量小。最后,由于一些烹饪过程,如爆炒,短促激烈,仅持续数秒到数十秒。而热电偶直径越大,则时间滞后越大。因此,应采用直径尽量小的热电偶。其他温度测量手段,如热电阻,虽测量准确度更高,但体积较大,不宜使用。

1.1.2 精度需求

由于采集温度用于动力学计算,由文献^[13]中原理, M 值和 O 值的误差与温度测量误差的关系

$$R_M = (10^{\frac{E}{Z_M}} - 1) \times 100 \quad (1)$$

$$R_O = (10^{\frac{E}{Z_O}} - 1) \times 100 \quad (2)$$

式中, R_M 和 R_O 分别为 M 值、 O 值由温度测量误差引起的相对误差,无量纲; E 为温度测量绝对误差,无量纲; Z 为烹饪成熟或过热品质因子的 D 值变化一个对数周期所需要的温度,℃,而 D 值为特定温度下烹饪品质因子变化一个对数周期所需要的时间;下标 M 代表成熟值,是烹饪成熟品质因子相对参考温度的等效加热时间,下标 O 代表过热值,为烹饪过热品质因子相对参考温度的等效加热时间。

由于 M 值或 O 值误差与温度测量误差是指数关系,要求热电偶有尽量高的测量精度。

1.1.3 强度需求

由于烹饪过程颗粒通常处于运动状态,要求热电偶有一定的柔韧性和强度。

1.2 烹饪动力学研究的需求

1.2.1 主要烹饪动力学函数

M 值的物理定义为:某一表征成熟的烹饪品质因子相对参考温度的等效加热时间(min),是定量表达烹饪成熟程度的函数^[6],其表达式为

$$M = \int_0^t 10^{\left(\frac{T-T_{ref}}{Z_M}\right)} dt \quad (3)$$

式中, Z_M 为表征烹饪成熟的质量因子 Z 值,为烹饪成熟品质因子的 D 值变化一个对数周期所需要的

温度,℃; T_{ref} 为参考温度,℃; T 为颗粒空间中某一位置温度,℃, t 为加热时间,min。

O 值的物理定义为:某一表征过热的烹饪品质因子相对参考温度的等效加热时间 min,是定量表达烹饪过热程度的函数,其表达式为

$$O = \int_0^t 10^{\left(\frac{T-T_{ref}}{Z_O}\right)} dt \quad (4)$$

式中, Z_O 为表征烹饪成熟的质量因子 Z 值,为烹饪过热品质因子的 D 值变化一个对数周期所需要的温度,℃; T_{ref} 为参考温度,℃; T 为颗粒空间中某一位置温度,℃, t 为加热时间,min。

1.2.2 动力学函数实时计算采集的必要性

烹饪研究中需要开展相同成熟值下不同烹饪操作条件对烹饪品质的影响,需要在固定成熟值下终止烹饪加热,因此,必须进行烹饪动力学函数,例如 M 值的实时计算采集。

1.2.3 动力学函数的积分计算方法

文献^[13]指出在 F 值/ C 值实时采集中,采样间隔小于 1 s 时,辛普森法^[14]可以满足数值积分计算的精度要求。而 M 值/ O 值实时采集情况与之类似,可以采用上述结论。

2 系统硬件及工作原理

2.1 硬件

本系统硬件包括热电偶、温度采集模块、信号标准转换模块、串口联接线、计算机、电源及机箱。其系统构成如图 1 所示,实物如图 2 所示。



图 1 烹饪温度采集显示系统示意图

Fig.1 Schematic diagram of system for data acquisition and displaying for Chinese cuisine



图 2 烹饪传热学及动力学数据采集分析系统的实物

Fig.2 Device of system of acquisition data of heat transfer and dynamics for cuisine

2.1.1 热电偶

采用偶丝直径 0.1 mm、不锈钢套管径 0.5 mm 的超细铠装型铠装热电偶, 电偶为 K 型和 T 型, 精度 I 级。铠装热电偶热惰性小, 响应速度快, 挠性好、机械强度高、寿命长, 适用于测量热容量小的物体温度^[15-16]。 K 型和 T 型电偶具有线性度好, 热电动势大, 灵敏度高, 稳定性和均匀性较好等特点。其中 K 型电偶使用温度范围 $-40\sim 1200^{\circ}\text{C}$, 具有更好的柔韧性, 精度略差, 用于预备试验和低精度采集^[17]。 T 型热电偶使用温度范围 $-40\sim 350^{\circ}\text{C}$, 精度和稳定性更好。在烹饪研究的关键使用温度 $75\sim 100^{\circ}\text{C}$ 范围, 配合软件在恒温油浴槽中采用标准温度计进行校正后, T 型热电偶可保证测量准确度低于 $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ 。

系统热电偶的响应时间计算式为^[17]

$$\tau_m \approx 0.7T_c = 0.7 \times \frac{\tau_2 - \tau_1}{\ln \vartheta_1 - \ln \vartheta_2} \quad (5)$$

式中, τ_m 为响应时间, s; T_c 为时间常数, s; τ 为时间, s; ϑ 为 τ 时刻介质温度与感温器温度的差值, $^{\circ}\text{C}$ 。

通过在油浴锅中对铠装热电偶响应时间校正, 由 (5) 式计算本系统的热电偶动态响应时间为 0.029 s。

外径 0.5 mm 超细铠装热电偶实物如图 3 所示。

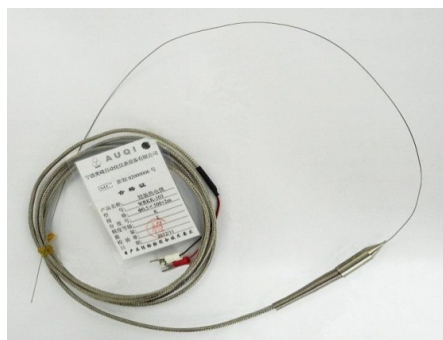


图 3 K 型超细铠装热电偶

Fig.3 K type superfine armored thermocouple

2.1.2 采集模块

系统中温度采集模块采用泓格公司的 $ICPCON-7011P$ 模块。其主要技术参数为: 8 个数据通道, 采集精度为 $\pm 0.05\%$, 最大输入频率为 50 Hz, 最小脉宽为 1 ms, 采样频率达到 10 个/s。其自带软件可以对各热电偶分别进行数据校正。

2.1.3 转换模块

系统中数据采集信号转换模块采用泓格的 $RS485/RS232$ 信号标准转换模块 $ICPCON PA-7520$ 。具体技术参数为: 通讯速率 300~115 200 B/s, 传输距离 400 m 内速率达到 115.2 kB/s。

2.1.4 计算机

计算机配置为 CPU N455 1.66 GHz/1G 内存

/250G 硬盘, WindowsXP 系统。

2.2 系统工作原理

热电偶在测量对象中获得的热电势信号被 $ICPCON-7011P$ 模块采集识别后, 热电势信号模拟量转换为数字信号 $RS485$, 即时通过 $ICPCON-7520$ 转换模块转换为 $RS232$ 信号后, 通过串口接线输入计算机, 最后由 $VB6.0$ 软件通过 $MScomm$ 控件来对 $RS232$ 串口编程后连接, 实现硬件间通讯, 最终完成温度数据实时采集。

3 烹饪动力学函数实时计算显示

3.1 数值积分方法

采用辛普森法进行数值积分计算: 积分步长采用采样频率时长, 利用采集到的温度时间值, 计算被积函数, 再乘以步长, 逐步累加, 递进计算, 最后获得实时积分值。

3.2 M 值/ O 值误差

本系统的测量误差为 $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$, 由式 (1)~式 (2) 计算可得相应的 M 值误差为 $\pm 1.16\%$ ($Z_M=10^{\circ}\text{C}$), O 值误差为 $\pm 0.58\%$ ($Z_O=20^{\circ}\text{C}$)。而 $ICPCON-7011P$ 模块采样频率达到 10 个/s, 采用辛普森法积分, 可以满足精度需要^[13]。

4 软件的实现

4.1 软件的流程与功能

系统软件流程如图 4 所示。

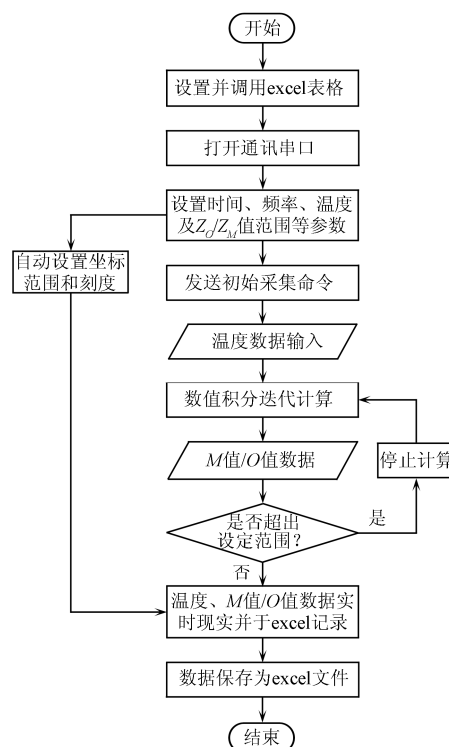


图 4 系统主程序流程图

Fig.4 Flow chart of main program of system

系统控制界面如图 5 所示,其主要功能有:1) 设置温度实时采集参数:温度范围、时间间隔、时间总长;2) 设置烹饪动力学参数 Z_M 、 Z_O 及设置 M 值、 O 值计算最大限值;3) 实时显示 2 点温度、时间和温度采集点的 M 值、 O 值。

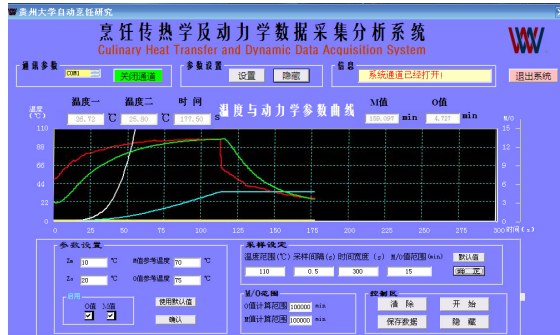


图 5 采集系统软件界面及应用实例

Fig.5 Interface of software of acquisition and displaying system and examples of application

4.2 智能数据显示和记录

由于 M 值、 O 值数据对温度之间是指数关系,易出现积分数值过大,导致系统过载,且过大的 M 值、 O 值对烹饪研究无实际意义,故系统软件中可以设置数值积分计算上限,一旦超过该上限值,系统积分计算立即停止并自动警报提示。

显示界面在设置温度范围、采样时间间隔、采样时间总长范围后自动调整温度曲线图坐标标注。为方便处理和应用数据,设置 Excel 数据格式为外部程序数据记录形式,每次在系统软件所在目录下的 data 文件中自动形成对应的 Excel 文件,并生成相应记录时间的文件名。

5 结果与讨论

5.1 应用实例

100 °C 恒温油槽中,利用热电偶测定 $\varnothing 6.98 \text{ mm} \times 50.00 \text{ mm}$ 圆柱形胡萝卜试样中心和表面温度,试样中心温度达到最高温度后迅速用冷水冷却。数据采集过程中胡萝卜样品由于受到恒温油槽中油泵的作用而处于随油小幅度、小范围运动状态。系统实时采集的温度、时间和 M 值/ O 值曲线结果见图 5,采集得到数据见图 6。

本次应用实例中动力学参数设置为: $Z_M=10^\circ\text{C}$, $Z_O=20^\circ\text{C}$, 成熟值参考温度 70°C , 过热值参考温度 75°C 。样品加热终止时间为 112.5 s。由图可见,采集获得了胡萝卜试样的表面和中心温度、表面和中心成熟值、表面和中心过热值的变化曲线。当温度明显低于参考温度后,成熟值不再变化,其最终值即该次烹饪操作的终点成熟值,在实际烹饪中可以

测定终点成熟值。由式 (1) 和式 (2) 可知, M 值误差为 $\pm 1.16\%$, O 值误差为 $\pm 0.58\%$ 。

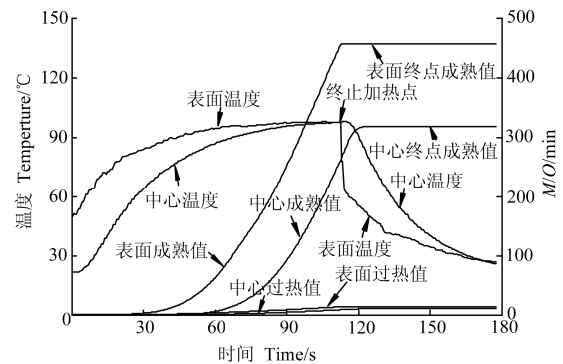


图 6 系统采集计算结果

Fig.6 Result of acquisition and calculation via system

5.2 讨论

5.2.1 M 值/ O 值误差控制

M 值/ O 值误差产生的因素包括:温度测量、数值积分。具体地讲,温度测量引起的误差来源有两种:其一为热电偶的测量误差,由式 (1) 和式 (2) 容易计算,当热电偶的测量误差为 0.05°C , Z 为 10°C 时,引起的相对误差为 1.16% ,该误差较小且可控;其二为热电偶的位置误差,导致所测温度失实,这种情况在测温前通过 X 光透视定位或测温后剖断样品定位获得热电偶准确的测量位置来解决。其次数值积分引起的误差来源也有 2 种:其一为积分步长,表现为采集系统的采样频率会受到一定设备限制;其二为积分方法,如复化梯形公式具有 1 次代数精度,而复化辛普森公式具有 3 次代数精度^[18]。目前,国际主要热处理验证设备生产商均未给出动力学参数的精度范围。文献[13]首次对食品热处理动力学参数的计算机实时采集精度进行了数值分析。按该文献的结论推断出本系统采用的辛普森法数值积分,采样频率达到 10 个/s 时,即积分步长可达 0.1 s,产生的误差远小于温度测量导致的误差,可以忽略不计。

5.2.2 使用限制及补充手段

实际应用中,热电偶须固定于烹饪原料上,故系统只能应用于热电偶柔韧性可接受的小幅度、小范围运动状态下。对于剧烈运动的烹饪操作,如爆炒,本系统的使用会受到限制。由于移动颗粒的内部温度的准确测量是一个世界性难题^[19]。这时,TTI (time-temperature integrators) 技术^[20-24]就成为烹饪传热学及动力学研究的必要补充手段。作为烹饪热处理验证的 TTI 装置通过使用和烹饪原料类似的外形并结合数学模型来推算颗粒的温度历史以及计算 M 值/ O 值。为此还专门研究了烹饪专用的 TTI

装置^[25]。而本采集系统显然比 TTI 装置更可靠和准确, 可用于验证 TTIs 装置及数学模型的可靠性及准确性。

5.2.3 系统的应用

在烹饪研究中, 本系统可应用于以下方面: 传热学上, 其较高精度的多点温度采集功能, 使之可以作为烹饪过程传热研究的基础设备, 用于获得烹饪过程中食品体系不同空间位置的温度历史, 以及验证烹饪的热质传递数学模型^[5]; 动力学上, 能够实时计算采集和显示烹饪 M 值/ O 值, 可用于分析、评价烹饪过程特征及烹饪品质, 还可测定实际烹饪过程中的原料的成熟值、不同烹饪品质因子的 D 值和 Z 值; 烹饪工艺研究上, 可由实时采集显示的烹饪动力学函数值来控制烹饪操作, 比较分析不同烹饪操作条件对烹饪品质的影响。例如比较研究水、油和汽作为烹饪传热介质烹饪原料达到相同的成熟值时的烹饪品质。

6 结 论

研制的烹饪传热学及动力学数据采集分析系统采用超细铠装热电偶多点采集烹饪温度, 以辛普森法实时数值积分计算烹饪成熟值和过热值。其温度测量采集的动态响应时间仅 0.029 s, 精度达到 $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$, 采样频率达到 10 个/s。该系统的动力学采集精度能够满足烹饪研究需求。系统便于携带, 适合在烹饪现场的数据采集。该系统仅适用于烹饪原料为静态或小范围移动的烹饪研究, 可以与烹饪专用 TTI 装置配合使用, 后者适用于原料任意运动状态的烹饪传热学动力学研究。该系统为国内自主研发的第一款烹饪数据记录与验证系统, 满足中式烹饪过程中传热学及动力学研究需求, 还可作为动力学参数采集、烹饪过程数值模拟以及烹饪技术规律研究的基础装备。

【参 考 文 献】

- [1] 徐宝成, 黄桂东, 刘建学, 等. 中国传统菜肴工业化可行性分析[J]. 中国食品工业, 2006, 10(10): 34—36. Xu Baocheng, Huang Guidong, Liu Jianxue, et al. Feasibility analysis of industrialized Chinese traditional cooked food[J]. Food and Beverage Industry, 2006, 10(10): 34—36. (in Chinese with English abstract)
- [2] 杨铭铎, 张良胤. 中国快餐业发展的阶段性分析[J]. 商业时代, 2010(1): 28—29. Yang Mingduo, Zhang Liangyin. Periodic analysis of development situation of China's fast food industry[J]. Commercial Economy, 2010(1): 28—29. (in Chinese with English abstract)
- [3] 李里特. 要把餐桌主食品作为食品工业发展的主流[J]. 食品工业科技, 2000, 21(3): 5—7. Li Lite. Chef-like food should be developed into the main current of Chinese food industry[J]. Science and Technology of Food Industry, 2000, 21(3): 5—7. (in Chinese with English abstract)
- [4] 杨铭铎, 曲敏. 传统食品及工业化的涵义与意义[J]. 食品科学, 2002, 23(2): 145—147. Yang Mingduo, Qu Min. The implication and significance of traditional food and its industrialization[J]. Food Science, 2002, 23(2): 145—147. (in Chinese with English abstract)
- [5] 邓力. 中式烹饪热/质传递过程数学模型的构建[J]. 农业工程学报, 2013, 29(3): 285—292. Deng Li. Construction of mathematical model for heat and mass transfer process of Chinese cooking[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(3): 285—292. (in Chinese with English abstract)
- [6] 邓力. 烹饪过程动力学、优化模型及火候定义[J]. 农业工程学报, 2013, 29(4): 278—286. Deng Li. Kinetic functions, optimization model and definition of “Huohou” for Chinese cooking[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(4): 278—286. (in Chinese with English abstract)
- [7] 邓力. 炒的烹饪过程数值模拟与优化及其技术特征和参数的分析[J]. 农业工程学报, 2013, 29(5): 282—292. Deng Li. Numerical simulation, optimization, study of technical features and operational parameters for Chinese cuisine[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(5): 282—292.
- [8] Hendrickx M, Maesmans G, De Cordt S, et al. Evaluation of the integrated time-temperature effect in thermal processing of foods[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 1995, 35(3): 231—262.
- [9] Kevin P Nott, Laurance D. Hall. Advances in temperature validation of foods[J]. Trends in Food Science and Technology, 1999, 10(11): 366—374.
- [10] Ellab A/S 有限公司[Z]. <http://www.ellab.com>.
- [11] Ellab A/S Ltd. [Z]. <http://www.ellab.com>.
- [12] 嘉仪仪器有限公司 [Z]. <http://www.canneed.com/cn/default.asp>.
- [13] Canneed Instrument Ltd. [Z]. <http://www.canneed.com/cn/default.asp>.
- [14] 斯库利 J.F. 科学和工业中温度的测量与控制(下册)[M]. 北京: 中国计量出版社, 1985.
- [15] 邓力, 金征宇. F 值/C 值计算机实时采集精度分析与控制[J]. 江苏大学学报: 自然科学版, 2006, 27(2): 95—99. Deng Li, Jin Zhengyu. Study and control of accuracy of F/C-value for computer-base real-time acquisition[J]. Journal of Jiangsu university: Natural Science Edition, 2006, 27(2): 95—99. (in Chinese with English abstract)
- [16] 张光澄, 张雷. 实用数值分析[M]. 成都: 四川大学出版社, 2009.
- [17] 张锦霞. 热电偶使用、维修与检定技术问答[M]. 北京: 中国计量出版社, 2000.
- [18] 王魁汉. 温度测量技术[M]. 沈阳: 东北工学院出版社, 1991.
- [19] 游伯坤, 江兆章. 温度测量与仪表——热电偶和热电阻[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1990.
- [20] 徐萃薇, 孙绳武. 计算方法引论[M]. 北京: 北京高等教育出版社, 2003.
- [21] 邓力, 金征宇. 液体-颗粒食品无菌工艺的研究进展[J]. 农业工程学报, 2004, 20(5): 12—21. Deng Li, Jin Zhengyu. Research advances in aseptic

- processing of liquid/particle foods[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(5): 12—21. (in Chinese with English abstract)
- [22] 邓力. 基于时间温度积分器将手工烹饪转变为自动烹饪的方法[J]. 农业工程学报, 2013, 29(6): 287—292. Deng Li. Method to convert manual cuisine into automatic operations based on time-temperature integrators[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(6): 287—292. (in Chinese with English abstract)
- [23] Van Loey A, Hendrickx M, De Cordt S, et al. Quantitative evaluation of thermal processes using time temperature integrators[J]. Trends in Food Science and Technology January, 1996, 7(1): 16—26.
- [24] Yann P Guiavarc'h, Edward Dintwa, Ann M Van Loey, et al. Validation and use of an enzymic time-temperature integrator to monitor thermal impacts inside a solid/liquid model food[J]. Biotechnol Prog, 2002, 18(5): 1087—1094.
- [25] Wang Jinpeng, Deng Li, Li Yin, et al. Konjac Glucomannan as a Carrier Material for Time-Temperature Integrator[J]. Food Science and Technology, 2010, 16(2): 127—134.
- [26] 高毅, 邓力, 金征宇. 魔芋葡甘聚糖凝胶: 一种新型食品模拟物的研究[J]. 食品工业科技, 2007, 28(5): 107—109. Gao Yi, Deng Li, Jin Zhengyu. Study of konjac glucomannan—a new food model system[J]. Science and Technology of Food Industry, 2007, 28(5): 107—109. (in Chinese with English abstract)
- [27] 周杰. 中式烹饪 TTI 系统的研制[D]. 贵阳: 贵州大学, 2013. Zhou Jie. Research and Development of the Particulate System of Time-temperature Integrators for Chinese Cuisine[D]. Guiyang: Guizhou University, 2013. (in Chinese with English abstract)

Development of system on data acquisition and analysis of heat transfer and kinetics for Chinese cuisine

Zhou Jie, Deng Li^{*}, Yan Yong, Li Huichao

(College of Liquor Making and Food Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: The process characteristics of typical Chinese cuisine were analyzed into heat transfer, mass transfer, relative motion, and quality changes of fluid-particulate system in an open container, which showed that a temperature change of the heat transfer process played a crucial role in food quality. The current research object is to study the relationship between heat transfer and food quality of a fluid-particulate system by kinetics that is the bond of them. Based on aforementioned analysis, the primary purpose of cuisine is to make food materials mature and control heating which is the key to minimize food quality degradation while materials of cuisine are heated until done. In order to exactly express the degree of maturing in variations of temperature, Chinese cuisine maturity theory puts forward the novel kinetics functions in which maturity value (M value) and overheated value (O value) quantitatively expresses the degree of maturing and quality deterioration of foods respectively. Each of them was physically defined based on the equivalent heating time to reference temperature for respective quality factors. Validation and analysis of Chinese cuisine maturity theory, experiments of heat transfer and kinetics research on cuisine, and numerical simulation of the cuisine process all require basic test equipments to acquire data of heat transfer and kinetics of experiment. The existing instruments for validation of thermal process don't meet the requirements of the research of Chinese cuisine.

Consequently, a system of data acquisition and analysis of heat transfer and kinetics for Chinese cuisine which automatically acquires temperature data in the process of heat transfer by multi-channels temperature acquisition module and simultaneously displays time-temperature profile, M value and O value of the integral computation of Simpson method that was programmed by *Visual Basic* software on the computer was developed.

In the process of typical Chinese cuisine such as stir-frying, mixtures of fluid-particulate system are heated intensively in an extremely short time, and their temperatures change rapidly in a great range. Therefore, it is necessary that the temperature sensors of the system have high sensitivity and short response time. Eventually, superfine armored thermocouples with high precision and good stabilization were taken as the temperature sensors that verified that the measurement accuracy of temperature reached to $\pm 0.05^\circ\text{C}$ and the response time was within 0.029 s. The numerical integration method affects the accuracy of the M/O value. The Simpson's integration method can meet the requirements of the accuracy of M/O value acquisition when the sampling interval is less than 1 sec. The system was applied to practical Chinese cuisine for the research on kinetics data of heat transfer and food qualities changes, which the sampling interval and kinetic parameters Z_M/Z_O were set at 0.5 s, 10 and 20°C respectively, the errors of the Simpson method that was used in numerical integration of kinetics functions were $\pm 1.16\%$ (M value) and $\pm 0.58\%$ (O value). All of the data of the acquisition and integral operation could be displayed on screen in real time, intelligently recorded, and saved on the computer. The result of the acquisition and numerical integration data proved that the system was applicable to data acquisition and analysis of the heat transfer and kinetics for Chinese cuisine. Further on, it could be used for validation and analysis of the theory of maturity value, applied to numerical simulation of the process of cooking and research on the principal Chinese cuisine techniques until it finds the optimization points for the heat transfer and kinetics of Chinese cuisine.

Key words: kinetics, heat transfer, data acquisition, Chinese cuisine

(责任编辑: 刘丽英)