

猪里脊肉油传热过程中品质变化动力学研究

Study on the kinetics of quality changes of pork loin during the heat transfer process of oil frying

余冰妍¹ 邓力¹ 李文馨² 程芬¹ 徐嘉¹

YU Bing-yan¹ DENG Li¹ LI Wen-xin² CHENG Fen¹ XU Jia¹

(1. 贵州大学酿酒与食品工程学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 贵州省农业科学院, 贵州 贵阳 550025)

(1. School of Liquor and Food Engineering, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China;

2. Academy of Agricultural Sciences of Guizhou, Guiyang, Guizhou 550025, China)

摘要:油传热烹饪是中式烹饪的典型方式,采用油浴模拟油传热过程,结合动力学方法对猪里脊肉在油传热过程中成熟品质因子(颜色、剪切力)和过热品质因子(蒸煮损失)的变化进行测定与分析。结果表明:油传热过程中,猪里脊肉的颜色和剪切力变化遵循一级动力学,蒸煮损失变化遵循零级动力学;亮度、红度值和白度值的 z 值分别为 33.1, 26.1, 41.0 °C, E_a 值分别为 68.6, 86.8, 55.4 kJ/mol;剪切力 z 值为 17.9 °C, E_a 值为 127.1 kJ/mol;蒸煮损失 E_a 值为 28.9 kJ/mol, z 值在一级动力学下为 32 °C, 大于红度值和剪切力的 z 值,满足烹饪成熟值理论提出的优化前提,证明了烹饪过程存在优化空间,为猪肉油传热烹饪和中式烹饪品质优化研究提供动力学参数。

关键词:猪里脊肉;油传热;品质变化;动力学

Abstract: Oil heat-transfer cooking is a typical cooking way of Chinese cuisine, so an oil bath was chose to simulate the oil frying and combined with the kinetics means to determine and analyze the maturity quality changes including color and shear force and the over-heated quality changes including cooking loss of pork loin. The results showed that the changes of color and shear force followed first-order kinetics model and cooking loss followed zero-order model during oil fried treatment. Meanwhile, the z -value of brightness, redness, whiteness and shear force were 33.1, 26.1, 41.0 and

17.9 °C, whose corresponding E_a -value were 68.6, 86.8, 55.4 and 127.1 kJ/mol. Moreover, the E_a -value of cooking loss was 28.9 kJ/mol and the z -value of cooking loss was 32 °C under first-order kinetics reaction which was greater than the redness and shear force. The conclusion was consistent with the culinary optimization preconditions proposed by the mature maturity value theory, which proved the existence of optimal space during oil heat transfer process. Further, kinetic parameters were obtained for the quality optimization of Chinese cuisine and the further study on oil frying of pork.

Keywords: pork loin; oil heat transfer; quality changes; kinetics

中国是猪肉生产大国,猪肉消费在中国居民肉类消费中占主体地位^[1],中式烹饪是处理肉类食品的主要方式。当前,烹饪产业化快速发展,如何在标准化、自动化烹饪中取得最优品质,是需要解决的关键问题。

在前期研究中,本课题组已构建了基于烹饪优化原理的成熟值理论^[2-3],认为烹饪品质由加热温度决定,温度的变化趋势累积可得到动力学值,动力学值又可表征烹饪的品质^[4];同时,研究^[5]证明针对烹饪油温等烹饪参数条件,存在烹饪品质的优化空间。烹饪优化的先决条件是表征烹饪成熟的品质因子和表征烹饪加热后品质劣化的过热品质因子的 z 值存在差异且后者 z 值大于前者的。因此,获得品质动力学参数是烹饪热处理的工艺分析、评价和优化所必须的基础条件^[6]。

目前,关于猪肉在受热过程中综合品质变化的动力学研究较少,谢雯雯^[7]、瞿明勇^[8]等曾针对猪排骨汤在贮藏过程中营养变化趋势构建了动力学模型,但其加热方式是水传热,而在中式烹饪中,爆炒是猪肉烹饪的主要手段,也是最具中国特色的烹饪方式。近期,于磊等^[9]探究了猪肉在滑油过程中的品质变化动力学规律,但只测定了 V_{B1} 的变化而不涉及其他品质因子。目前尚不能确定油传热和水传热烹饪的

基金项目:国家自然科学基金地区科学基金项目(编号:31660449);贵州省重大科技专项计划项目(编号:黔科合重大专项字[2015]6004);贵州省科技计划项目(编号:黔科合农 G 字[2013]4016 号);贵阳市科学计划项目(编号:生物重大专项[2010]筑农合同字第 8-1 号);研究生卓越人才项目(编号:黔教研合 ZYRC 字[2014]003);贵州省研究生工作站项目(编号:黔教研合 JYSZ 字[2015]009)

作者简介:余冰妍,女,贵州大学在读硕士研究生。

通信作者:邓力(1966—),男,贵州大学教授,硕士生导师,博士。

E-mail: denglifood@sohu.com

收稿日期:2017-12-27

品质形成具有相同动力学规律,因此在研究猪肉油传热烹饪时,需要开展油传热条件下的动力学值测定。本课题组^[10]前期已将动力学和感官评价相结合,构建了成熟值及其 z 值的测定方法,测定了猪里脊肉终点成熟值相应的 z 值。

从另一个角度看,由于爆炒等油传热方式烹饪时间极短,具有非稳态特征,品质在不同时间-空间变化剧烈,几乎不可能定时、定位取样,导致传统理化分析方法无法全局分析和描述食品品质变化。而传热学-动力学模型可描述不同时间、空间位置上的烹饪品质,能对烹饪整体品质变化进行分析和控制。因此,油传热烹饪更需采用传热学-动力学模型来开展模拟研究。在烹饪数值模拟方面,前期积累了一定的研究基础^[11],但动力学参数是烹饪数值模拟的必要条件,应该针对性地进行测定。

猪肉加热品质变化动力学的参数测定还存在品质因子选择的问题。文献[5]指出肉类在加热过程中的品质因子有微生物、色泽、风味、质构等,其中猪肉的成熟品质表现为:色泽上猪肉发生适度褐变,质构上因蛋白质变性引起的嫩度形成,微生物上致病微生物受热死亡;过热品质表现在因水分损失导致的质构劣化,焦糊味的产生等。刘媛等^[12]指出嫩度、多汁性和肉色是影响猪肉食用品质的重要因素,且嫩度和肉色直接影响消费者对猪肉品质的评判。Lawrie^[13]指出肉类在烹饪前后,消费者对食用品质中的颜色,持水力和气味变化更为敏感。Rodbotten等^[14]以肉的不同食用品质为指标,经测定比较得出了肉类颜色的重要性。因此,颜色、嫩度、蒸煮损失等均为表征猪肉品质的重要品质因子且以颜色、嫩度为猪肉成熟品质因子,以蒸煮损失为猪肉过热品质因子。

综上,目前针对猪肉油传热过程中主要食用品质的相关动力学研究尚未见报道。本试验以猪里脊肉为对象,测定其品质因子(颜色、剪切力和蒸煮损失)在油传热过程中的变化趋势并确定动力学模型,得到相应的动力学参数,为中式烹饪工艺优化和猪肉热处理研究提供基础参数。

1 理论依据、试验材料及方法

1.1 理论依据

反应级数体现了浓度对反应速度快慢的影响程度,级数的选择与确定是动力学研究的基础,其主要方法有积分法、微分法、半衰期法等。当反应级数是整数时一般采用积分法^[15],式(1)为积分式:

$$\ln\left(-\frac{dc_A}{dt}\right) = \ln k + n \ln c_A, \quad (1)$$

式中:

c_A ——反应物浓度,单位视情况而定;

t ——处理时间,s;

k ——反应速度常数,单位视情况而定;

n ——反应级数。

$k-Ea$ 模型和 z 值模型具有相同的理论意义和相似计算结果,它们的联用可用于相应动力学参数的计算^[16]。

由 z 值模型可知^[17]:

$$\ln A = \ln A_0 - kt, \quad (2)$$

式中:

A ——处理 t s时的品质状态,单位视情况而定;

A_0 ——初始品质状态,单位视情况而定。

由 $k-Ea$ 模型可知:

$$\ln k = -\frac{Ea}{RT} + \ln k_0, \quad (3)$$

式中:

R ——8.314 J/(mol·K);

T ——温度,K;

k_0 ——频率因子,无量纲;

Ea ——活化能,kJ/mol。

速率常数 k 和 D 值的关系为^[18]:

$$D = \frac{2.303}{k \times 60}, \quad (4)$$

式中:

D ——以食品品质在恒定温度下变化一个对数周期为指示的加热时间,min;

k ——反应速度常数,s⁻¹。

z 值计算式为:

$$z = \frac{T_2 - T_1}{\lg D_1 - \lg D_2}, \quad (5)$$

式中:

z —— D 值变化一个对数周期所需要的温度,℃。

1.2 试验材料

猪里脊肉:市售,与文献[3,10]中同源;

食用调和油:市售。

1.3 仪器与设备

切片机:BL658型,深圳市博莱电子电器有限公司;

超级恒温油浴槽:CY-20型,上海博迅实业有限公司;

数显式肌肉嫩度仪:C-LM3B型,东北农业大学工程学院;

测色色差计:WSC-S型,上海精密科学仪器有限公司。

1.4 方法

1.4.1 原材料处理 将肉样适当切分并冷冻成型,再按5 cm×10 cm×0.1 cm(用于颜色和剪切力测定)及2 cm×5 cm×0.1 cm(用于蒸煮损失测定)的标准进行切割,待肉片温度升至室温时即可用于各品质因子的测定。

1.4.2 颜色测定 参照Rubio等^[19]的方法,将肉片放入温度为67.5,70.0,72.5,75.0℃的油浴锅中,均匀搅动,加热40 s,每隔5 s取样用测色色差仪进行颜色测定。白度值按式(6)计算,各温度条件下取样3次进行测定并求平均值^[20]。

$$W = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}}, \quad (6)$$

式中:

W ——白度值;

L^* ——亮度;

a^* ——红绿度;

b^* ——黄蓝度。

1.4.3 蒸煮损失测定 对于蒸煮损失的测定,Wattanachant

等^[21]提出可根据未处理时肉的重与处理 t 时刻后肉重量的差异进行计算。肉片处理方式与 1.4.2 中相同,加热 48 s,每隔 6 s 取样测其重量并求平均值,每个温度条件做 3 组平行试验。

$$CL_t = \frac{m_0 - m_t}{m_0} \times 100\%, \quad (7)$$

式中:

CL_t ——蒸煮损失,%;

m_0 ——初始肉样质量,g;

m_t —— t 时刻肉样质量,g。

1.4.4 剪切力测定 将与 1.4.2 相同处理的肉样加热 48 s,每隔 6 s 取样且顺肌纤维切割为 $4.0 \text{ cm} \times 2.0 \text{ cm} \times 0.1 \text{ cm}$ 。将 C-LM3B 型数显式肌肉嫩度仪置于水平台上,打开开关后调零,按仪器上升键升起活动剪切力架,放置样品,按下降键使活动剪切力架剪切试样(剪切方向与肌纤维方向垂直)直至显示窗上数值不再增加,记录剪切力值。各温度条件下取样 3 次测定并求平均值^[22]。

1.4.5 数据分析 试验数据通过 Excel 进行拟合,得到对应的相关系数,确定反应级数和反应速率常数(k);再根据相应公式求得不同的动力学参数值。

2 结果与分析

2.1 颜色变化

颜色是表征猪肉烹饪成熟的品质因子,在加热过程中会经历白化阶段和褐变阶段,白化主要由血红蛋白和肌红蛋白的变性以及类胡萝卜素的氧化引起,褐变主要由美拉德反应产物的积累引发^[23]。本试验选取的温度范围为 $67.5 \sim 75 \text{ }^\circ\text{C}$,与血红蛋白、肌红蛋白的变性温度范围基本一致,猪里脊肉在加热过程中的颜色变化与加热时间的关系见图 1。由图 1 可知:随加热时间的延长, L^* 和 W 增大, a^* 减小。

采用最小二乘法对猪里脊肉颜色变化进行拟合并对其 $\ln k \cdot T^{-1}$ 、 $\lg D \cdot T$ 进行线性回归分析,结合公式得到动力学模型及参数,见表 1 和图 2、3。

由图 2、3 和表 1 可知:猪里脊肉颜色变化零级动力学的相关系数低于一级动力学的相关系数,表明其变化属于一级动力学,且猪里脊肉 L^* 、 a^* 和 W 变化的活化能分别为 68.6, 86.8, 55.4 kJ/mol, z 值分别为 33.1, 26.1, 41.0 $^\circ\text{C}$ 。Ohlsson^[24]曾以猪肝泥和鱼糕为研究对象测定得到其亮度 z 值分别为 21, 25 $^\circ\text{C}$,结果与本试验较为接近,表明肉类亮度变化与对温度的敏感性接近。然而,课题组前期通过对同来源猪里脊肉的颜色权重达 0.36 的感官评定得到其油传热加热综合品质变化的 z_M 为 10 $^\circ\text{C}$ ^[10],与本试验得到的颜色变化 z 值有较大差异,说明人眼中的色泽变化和色差仪中的颜色变化规律存在区别。蛋白质加热变性的 z 值为 $5 \sim 10 \text{ }^\circ\text{C}$ ^[2],变性后蛋白质结构变化等导致光漫射和反射,从而使颜色变白,可能人眼中的色泽变化更多地反映了蛋白质变性的光线变化,而色差仪的结果则表征了加热化学反应变化。这一问题内在的光学、加热品质动力学原理较为复杂,而色泽是烹饪成熟的主要感官判据,值得进一步分析研究。

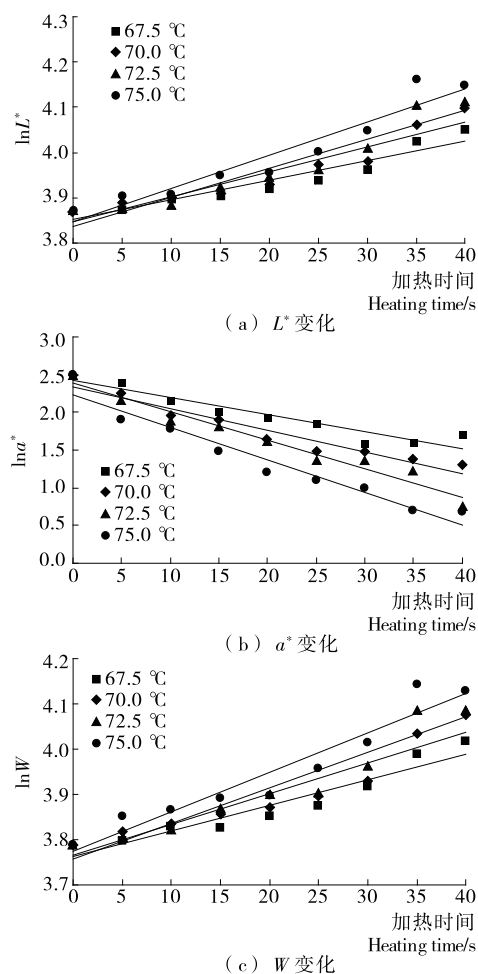


图 1 猪里脊肉油传热过程中的颜色变化
Figure 1 Changes of colour of pork loin after oil heat treatment

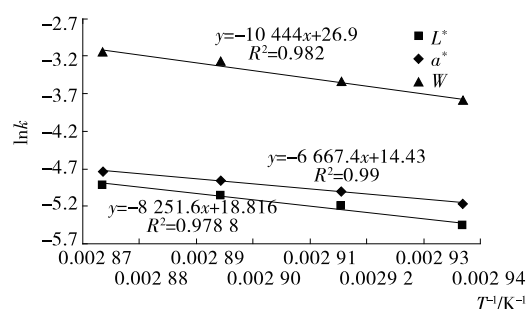


图 2 猪里脊肉颜色变化 Arrhenius 图
Figure 2 Arrhenius plot for changes of colour in pork loin

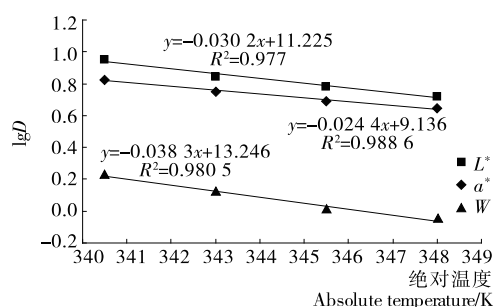


图 3 猪里脊肉颜色变化 z 值
Figure 3 Curves of z values of changes of colour in pork loin

表 1 不同加热条件下猪里脊肉颜色变化反应动力学参数[†]

Table 1 Kinetic parameters for colour changes of pork loin in different temperature

颜色	T/℃	零级			一级		
		k/min ⁻¹	相关系数	D 值/min	k/min ⁻¹	相关系数	D 值/min
L *	67.5	13.608	0.898 8	—	0.258	0.910 6	8.926 4
	70.0	17.550	0.891 1	—	0.330	0.906 9	6.978 8
	72.5	20.718	0.897 6	—	0.384	0.913 2	5.997 4
	75.0	24.456	0.899 5	—	0.438	0.918 2	5.258 0
a *	67.5	10.584	0.872 9	—	1.350	0.905 6	1.705 9
	70.0	11.562	0.844 7	—	1.734	0.937 0	1.328 1
	72.5	12.738	0.877 0	—	2.262	0.961 5	1.018 1
	75.0	12.660	0.776 9	—	2.574	0.946 7	0.894 7
W	67.5	16.770	0.898 7	—	0.342	0.913 2	6.733 9
	70.0	20.652	0.882 7	—	0.408	0.905 2	5.644 6
	72.5	24.132	0.899 1	—	0.468	0.919 9	4.920 9
	75.0	27.606	0.899 8	—	0.522	0.920 7	4.411 9

[†] “—”表示无数据。

2.2 蒸煮损失变化

蒸煮损失与肉类的嫩度、保水性等密切相关,蛋白质受热变性和肌原纤维收缩使肉的保水性下降^[25],水分流失伴随着脂肪和蛋白质的溶解与流失,肉类品质下降,因此,在烹饪成熟过程中,蒸煮损失不是有益变化,是用于表征烹饪过度加热的品质因子。

猪肉为低酸性肉类,一般情况下蒸煮损失开始于 30 ℃左右,且在 50~70 ℃时损失最大^[26],猪里脊肉在加热过程中的蒸煮损失变化见图 4。由图 4 可知:蒸煮损失随加热进行而增大,且温度升高损失增大,这是由与猪肉保水性相关的肌原纤维蛋白随加热温度上升而加剧变性所导致。

对蒸煮损失变化进行最小二乘法拟合和 $\ln k-T^{-1}$ 、 $\lg D-T$ 线性回归分析,再结合公式得到动力学参数,见表 2、图 5。

由图 5、表 2 可知:猪里脊肉蒸煮损失变化更符合零级动力学,但与一级动力学的相关系数差别不大,且猪里脊肉蒸煮损失变化的活化能为 28.9 kJ/mol。部分肉类蒸煮损失动力学研究结果见表 3。由表 3 可知:本试验所得到的蒸煮损失 E_a 值与文献差别不大,但本试验选取零级动力学对烹饪中猪里脊肉的蒸煮损失进行分析,若采用一级动力学分析则

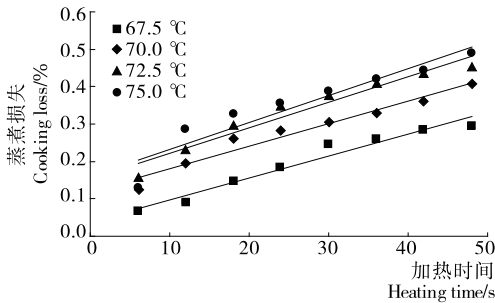


图 4 猪里脊肉油传热过程中的蒸煮损失变化

Figure 4 Changes of cooking loss of pork loin after oil heat treatment

表 2 不同加热条件下蒸煮损失变化反应动力学参数[†]

Table 2 Kinetic parameters for cooking loss changes of pork loin in different temperature

T/℃	零级			一级		
	k/min ⁻¹	相关系数	D 值/min	k/min ⁻¹	相关系数	D 值/min
67.5	0.352 2	0.961 8	—	2.682	0.836 1	0.858 7
70.0	0.361 2	0.957 7	—	1.488	0.881 5	1.547 7
72.5	0.409 8	0.948 4	—	1.422	0.866 4	1.619 5
75.0	0.431 4	0.890 5	—	1.482	0.737 3	1.554 0

[†] “—”表示无数据。

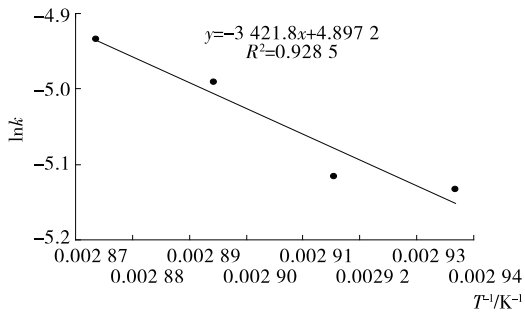


图 5 猪里脊肉蒸煮损失 Arrhenius 图

Figure 5 Arrhenius plots for changes of cooking loss in pork loin

活化能为 72.27 kJ/mol, z 值为 32 ℃,与一般食品蒸煮过程的总体品质劣化 z 值取值 33 ℃^[27]接近。与文献[28~30]结果相比,其动力学模型及参数的差异可能是因原料种类、传热介质与加热条件等的不同所导致,而它们与动力学模型及参数的具体相关性还需更多试验来探明。

2.3 剪切力变化

剪切力是表征猪肉烹饪成熟的品质因子,肉类中肌原纤维蛋白的变性、聚集等将导致肉质变硬,而胶原蛋白的溶解、

表 3 肉类不同处理后蒸煮损失动力学参数[†]

Table 3 Kinetic parameter of cooking loss of meat after different treatment

肉类	传热介质	$T/^{\circ}\text{C}$	n	$Ea/(\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1})$	z 值/ $^{\circ}\text{C}$	参考文献
牛肉	水	50~90	1	18~19	118~125	[28]
牛肉	水	60~90	1	54.93	41	[29]
鲑鱼	油	100.0~131.1	1	36.98	60	[30]
猪里脊肉	油	67.5~75.0	0	28.90	—	本研究
			1	72.27	32	

[†] “—”表示无数据。

凝胶化等使肉质变嫩^[31];再者,蒸煮水分损失的加剧流失也会增加猪肉的韧性^[26],即肉品的最终嫩度是多种蛋白质变性和水分含量变化的结果。猪里脊肉在加热过程中的剪切力变化情况见图 6。由图 6 可知:剪切力值随时间的延长而增大,且温度越高增加越快。

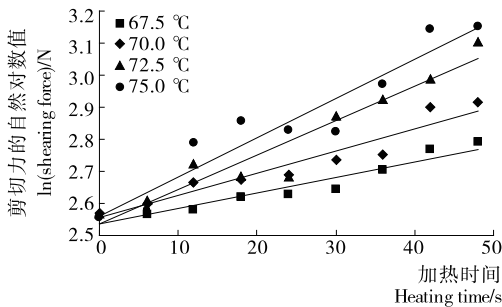


图 6 猪里脊肉油传热过程中剪切力变化

Figure 6 Changes of shearing force of pork loin after oil heat treatment

对剪切力值变化进行最小二乘法拟合和 $\ln k-T^{-1}$ 、 $\lg D-T$ 线性回归分析,再结合公式得到动力学参数,见表 4 和图 7、8。

由图 7、8 和表 4 可得:猪里脊肉剪切力变化属于一级反应动力学,且剪切力变化的活化能为 127.1 kJ/mol, z 值为 17.9 $^{\circ}\text{C}$ 。剪切力 Ea 值低于蛋白质变性活化能(200~600 kJ/mol)^[32], z 值大于蛋白质加热变性 z 值,表明引发剪切力值改变的因素并不只为蛋白质状态。因此,本试验得到的剪切力变化 z 值与前期经口感权重为 0.36 的感官评价所

表 4 不同加热条件下猪里脊肉剪切力变化反应动力学参数[†]

Table 4 Kinetic parameters for shearing force changes of pork loin in different temperature

温度/ $^{\circ}\text{C}$	零级			一级		
	k/min^{-1}	R^2	D 值/min	k/min^{-1}	R^2	D 值/min
67.5	4.128	0.884 4	—	0.288	0.911 9	7.996 5
70.0	6.450	0.896 0	—	0.420	0.919 8	5.483 3
72.5	10.782	0.897 4	—	0.642	0.919 0	3.587 2
75.0	12.846	0.899 0	—	0.732	0.910 7	3.146 2

[†] “—”表示无数据。

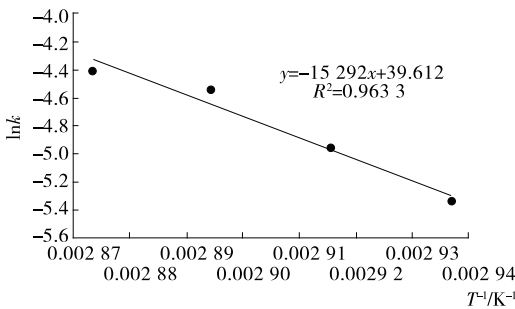


图 7 猪里脊肉剪切力变化 Arrhenius 图

Figure 7 Arrhenius plots for changes of shearing force in pork loin

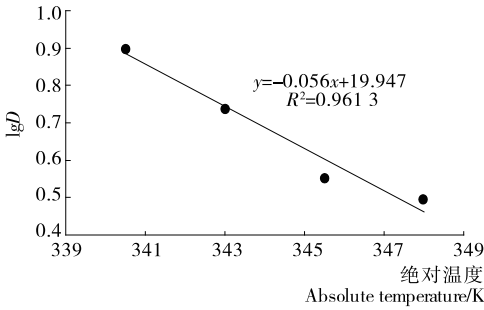


图 8 猪里脊肉剪切力变化 z 值

Figure 8 Curves of z values of changes of shearing force in pork loin

得到的综合品质 z 值(10 $^{\circ}\text{C}$)^[10]有所差异是可以理解的。同时,剪切力变化 z 值小于蒸煮损失 z 值,满足烹饪优化所需的先决条件—— $z_{\text{过热}} > z_{\text{成熟}}$,证明了猪里脊肉油传热烹饪过程存在参数优化的可能性。

3 结论

在油传热烹饪过程中,猪里脊肉各品质因子随着加热时间和加热温度的变化发生改变,其中,表征烹饪成熟的品质因子(色泽、剪切力)的变化趋势采用一级动力学能良好描述,表征过热的品质因子(蒸煮损失)的变化规律在零级动力学下拟合精度更高,但也可近似认为其变化符合一级动力学反应。

同时,试验结果表明,亮度、红度值和白度值的 z 值分别为 33.1,26.1,41.0 $^{\circ}\text{C}$, Ea 值分别为 68.6,86.8,55.4 kJ/mol;剪切力 z 值为 17.9 $^{\circ}\text{C}$, Ea 值为 127.1 kJ/mol;蒸煮损失 Ea

值为 28.9 kJ/mol, z 值在一级动力学下为 32 °C, 大于表征猪里脊肉成熟品质的剪切力 z 值及红度值 z 值, 证明了油传热烹饪优化空间存在的可能性, 为中式烹饪的优化研究提供依据。

猪里脊肉油传热烹饪过程中品质变化的动力学研究, 是关于加热方式对猪肉综合品质影响方面研究的补充, 各品质因子相关动力学模型和参数的获得为猪肉烹饪热处理整体品质变化的分析与研究提供基础数据。再者, 研究结果表明经感官评定与仪器测定得到的动力学参数具有差异, 但引起差异的具体原理及影响因素还有待深入探讨, 以完善动力学参数应用的理论支撑。

参考文献

- [1] 刘合光, 孙东升. 中国猪肉消费现状与展望[J]. 农业展望, 2010, 6(1): 35-38.
- [2] 邓力. 烹饪过程动力学函数、优化模型及火候定义[J]. 农业工程学报, 2013, 29(4): 278-284.
- [3] LI Jing-peng, DENG Li, JIN Zheng-yu, et al. Modelling the cooking doneness via integrating sensory evaluation and kinetics[J]. Food Research International, 2017, 92: 1-8.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] VAN BOEKEL M A J S. Kinetic modeling of food quality: a critical review[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2008, 7(1): 144-158.
- [7] 谢雯雯, 胡坚, 熊善柏, 等. 排骨汤的贮藏特性和动力学研究[J]. 食品科学, 2011, 32(22): 148-151.
- [8] 瞿明勇. 排骨汤和鸡汤的烹制工艺及营养特性[D]. 武汉: 华中农业大学, 2008: 49-51.
- [9] 于磊, 李文钊, 钟莉, 等. 猪肉滑油过程中 VB1 含量变化规律[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(15): 32-35, 88.
- [10] 闫勇, 邓力, 何腊平, 等. 猪里脊肉烹饪终点成熟值的测定[J]. 农业工程学报, 2014, 30(12): 284-292.
- [11] 崔俊. 爆炒烹饪的 CFD 数值模拟及功率测定研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2017: 19-36.
- [12] 刘媛, 王健, 李春红. 猪肉品质及其营养调控[J]. 农产品加工, 2007(8): 54-57.
- [13] LAWRIE R A. Lawrie's meat science[M]. 7th ed. New York: Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, 2006: 279-280.
- [14] RØDBOTTEN M, KUBBERØD E, LEA P, et al. A sensory map of the meat universe. Sensory profile of meat from 15 species[J]. Meat Science, 2004, 68(1): 137-144.
- [15] 卢新生, 苟如虎, 张海玲, 等. 确定化学反应级数和速率常数方法的研究及应用[J]. 牡丹江师范学院学报: 自然科学版, 2010(1): 29-31.
- [16] 田玮, 徐尧润. Arrhenius 模型与 Z 值模型的关系及推广[J]. 天津轻工业学院学报, 2000(4): 1-6.
- [17] 刁恩杰, 李向阳, 丁晓雯. 脱水菠菜贮藏过程中颜色变化动力学[J]. 农业工程学报, 2010, 26(8): 350-355.
- [18] 田玮, 徐尧润. 食品品质损失动力学模型[J]. 食品科学, 2000, 21(9): 14-18.
- [19] RUBIO B, MARTINEZ B, GARCIA-CACHAN M D, et al. Effect of the packaging method and the storage time on lipid oxidation and colour stability on dry fermented sausage salchichón manufactured with raw material with a high level of mono and polyunsaturated fatty acids[J]. Meat Science, 2008, 80(4): 1182-1187.
- [20] RAMIREZ-SUAREZ J C, MORRISSEY M T. Effect of high pressure processing (HPP) on shelf life of albacore tuna (*Thunnus alalunga*) minced muscle [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2006, 7(1/2): 19-27.
- [21] WATTANACHANT S, BENJAKUL S, LEDWARD D A. Effect of heat treatment on changes in texture, structure and properties of Thai indigenous chicken muscle[J]. Food Chemistry, 2005, 93(2): 337-348.
- [22] 夏建新, 王海滨, 徐群英. 肌肉嫩度仪与质构仪对燕麦复合火腿肠测定的比较研究[J]. 食品科学, 2010, 31(3): 145-149.
- [23] YOUNG O A. West science and application[M]. New York: Marcel Dekker Inc., 2001: 39-66.
- [24] ÖHLSSON T. Temperature dependence on sensory quality changes during thermal processing[J]. Journal of Food Science, 1980, 45(4): 836-839.
- [25] 吴亮亮, 罗瑞明, 孔丰, 等. 蒸煮时间对滩羊肉蒸煮损失、嫩度及水分分布的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(4): 19-23.
- [26] PATHARE P B, ROSKILLY A P. Quality and energy evaluation in meat cooking[J]. Food Engineering Reviews, 2016, 8(4): 435-447.
- [27] RAO M A, RIZVI S S H. Engineering Property of Foods[M]. New York: Marcel Dekker Press, 1986: 61-70.
- [28] KONDOJOYAN A, OILLIC S, PORTANGUEN S, et al. Combined heat transfer and kinetic models to predict cooking loss during heat treatment of beef meat[J]. Meat Science, 2013, 95(2): 336-344.
- [29] BERTOLA N C, BEVILACQUA A E, ZARITZKY N E. Heat treatment effect on texture changes and thermal denaturation of proteins in beef muscle[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 1994, 18(1): 31-46.
- [30] KONG F, TANG J, RASCO B, et al. Kinetics of salmon quality changes during thermal processing[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 83(4): 510-520.
- [31] 孙红霞, 黄峰, 张春江, 等. 肉品嫩度的影响因素以及传统炖煮方式对肉制品嫩度的影响[J]. 食品科技, 2016(11): 94-98.
- [32] OVISSIPOUR A, RASCO B, SABLANI S S, et al. Kinetics of quality changes in whole blue mussel (*Mytilus edulis*) during pasteurization[J]. Food Research International, 2013, 53(1): 141-148.