

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2019.07.008

# 西式火腿煮制过程中品质变化动力学研究

## Study on the dynamics of quality changes in the process of western-style ham cooking

石宇 邓力 谢乐 余冰妍 廖小梅 苏婕妤

SHI Yu DENG Li XIE Le YU Bing-yan LIAO Xiao-mei SU Jie-yu

(贵州大学酿酒与食品工程学院, 贵州 贵阳 550025)

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

**摘要:**结合动力学方法对西式火腿煮制过程中成熟品质因子(颜色、剪切力)和过热品质因子(水分含量)变化进行反应动力学测定和分析。结果表明:煮制过程中,西式火腿颜色、水分含量和剪切力的变化均遵循一级反应动力学。亮度值和红度值的  $z$  值分别为 49.69, 41.85 °C,  $E_a$  值分别为 46.73, 55.27 kJ/mol; 剪切力的  $z$  值为 34.81 °C,  $E_a$  值为 66.69 kJ/mol; 水分含量的  $E_a$  值为 52.22 kJ/mol,  $z$  值为 44.45 °C, 大于剪切力和红度值的  $z$  值。成熟品质因子的  $z$  值小于过热品质因子  $z$  值, 符合烹饪操作优化的要求, 证明西式火腿煮制过程存在优化空间。

**关键词:**西式火腿; 煮制; 品质变化; 动力学

**Abstract:** The stability and reliability of kinetic parameters can help enterprises to better predict food quality and use resources efficiently. In this study, the changes of mature quality factors (color and shear-force) and overheating quality factors (moisture and content) in the process of western-style ham cooking were measured and analyzed by kinetic methods. The results showed that in the process of cooking, the changes of color, the moisture content and shear-force of western-style ham followed the first-order reaction kinetics. The  $z$ -values of the luminance value and the redness value were 49.69 °C and 41.85 °C, respectively, and the  $E_a$ -values were 46.73 kJ/mol and 55.27 kJ/mol, respectively; the  $z$ -value of the shear-force was 34.81 °C, and the  $E_a$ -value was 66.69 kJ/mol; the  $E_a$ -value of the moisture content was

**基金项目:**国家重点研发项目(编号:2018YFD0401200); 国家自然科学基金项目(编号:31660449, 31860443); 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, 黔科合支撑[2017]2707 号, 黔科合平台人才[2018]5781 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)

**作者简介:**石宇, 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:**2019-03-08

52.22 kJ/mol, and the  $z$ -value was 44.45 °C, which was greater than the  $z$ -value of the shear force and the redness. Moreover, the  $z$ -value of the mature quality factor required for the optimization of the cooking operation was less than the condition of the superheat quality factor  $z$ -value, which proved that the western-style ham was cooked. Therefore, the cooking process of western-style ham could be optimized to provide basic data for promoting the industrial production of western-style ham.

**Keywords:** western-style ham; cooking; quality changes; kinetics

西式火腿作为低温肉制品火腿类主要代表, 集西式低温肉制加工特性与中式肉制品风味于一体, 具有广阔的市场<sup>[1]9-10</sup>, 其在国外尤其欧美等国家肉制品行业占主导地位, 但在中国发展相对较晚, 整体技术水平较低, 产品品质不稳定。

目前, 对西式火腿研究主要集中在配方、添加物对其品质的影响<sup>[1]27-45[2-5]</sup>和加工过程中工艺优化<sup>[6-8]</sup>, 且加工工艺研究多集中在肉滚揉和腌制阶段, 煮制阶段研究较少。冯宪超等<sup>[9]</sup>研究了射频加热和煮制加热对西式火腿品质和肌原纤维蛋白特性的影响, 并未提出如何优化传统低温煮制工艺。文献<sup>[10-11]</sup>研究表明, 煮制时间和温度对肉样剪切力有显著影响, 但目前对西式火腿低温煮制时间和温度并没有科学的指导和理论的支持, 工业加工主要停留在经验阶段, 文献资料<sup>[12-14]</sup>基本以煮制温度为 70~80 °C 下保持 2~3 h 为煮制终点。烹饪时间、温度和烹饪方法是影响烹饪品质最主要的因素<sup>[15]</sup>, 不科学的加工工艺制得的西式火腿品质不稳定, 重复性不高, 无法指导工业化生产, 为进一步提高品质降低成本, 有必要对西式火腿煮制过程进行工艺优化。

Cox 等<sup>[16]</sup>经过大量感官评价试验得出牛排烹饪过度比烹饪不足对顾客满意度影响更大, Yeung 等<sup>[17]</sup>在豇豆烹饪特性的研究中提出相同观点, 但对烹饪成熟与不足并未涉及科学合理的定位。随后, 邓力提出了成熟值和过热值概念<sup>[18]</sup>, 为食品成熟与品质控制提供了一种较为

理想的评定方法,并指出过程传递—反应动力学—食品品质变化是烹饪的核心原理<sup>[19]</sup>。就热力学而言,食品是不稳定的。而根据食品品质建立动力学模型,能很好地反映食品在加热过程中发生的变化,已有研究<sup>[20]</sup>表明,零级或一级动力学可用于描述食品品质,测定得到动力学参数也可以应用于食品加工过程工艺分析、评价和优化。目前已有肉类(猪肉、鱼肉、鸡肉)、蔬菜类(蒜薹、菠菜、竹笋)和水产类(虾仁)等食品烹饪过程中品质变化动力学研究<sup>[21-25]</sup>。但针对西式火腿这种技术发展较晚的再制生食研究为空白,且因其组成成分和结构的特殊性,煮制过程中西式火腿品质变化是否符合动力学规律未知,肉类加热过程品质变化动力学参数无法直接引用。而西式火腿品质,就消费者而言,烹饪肉品颜色为满意度评定重要因素,肉的嫩度是要考虑的主要质量标准之一<sup>[26]</sup>。就企业而言,保证产品质量的条件下提高含水率可极大的提高产品产出率。

本试验拟以西式熏煮火腿为对象,测定其品质因子(颜色、剪切力和水分含量)在不同温度煮制不同时间的变化趋势,得到相应的动力学参数,为西式熏煮火腿工业化生产提供理论指导。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与仪器

#### 1.1.1 材料

西式火腿:主配料均购于贵阳花溪合力超市,参考文献<sup>[13]</sup>制作,主要经历原料修整切块、腌制、斩拌、灌制等过程。

#### 1.1.2 主要仪器设备

电热恒温水浴锅:DK-92-II 型,天津市泰斯特仪器有限公司;

便携式色差仪:HOPG2132 型,深圳汉谱光彩科技有限公司;

数显式肌肉嫩度仪:C-LM3B 型,东北农业大学工程学院;

水分测定仪:MB90 型,奥豪斯仪器(常州)有限公司。

### 1.2 方 法

1.2.1 原材料处理 西式火腿制作过程保证低温,以不影响肉品质。将西式火腿最终样品放置于 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱中冷冻储存,煮制前统一置于 $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱解冻 8 h。煮制条件分别为 70, 73, 76, 80  $^{\circ}\text{C}$  恒温水浴;样品颜色、水分含量、剪切力测定均从加热开始的第 15 min 取样,每隔 10 min 取样 1 次,直至 105 min 截止;样品取出置于 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰水快速降温以阻止西式火腿内部传热形成的品质变化。

1.2.2 颜色测定 参照 Rubio 等<sup>[27]</sup>的方法,样品从冰水取出擦干,恢复至室温后切片,使用便携式色差仪选取 3 处表面颜色均匀无黑点部位进行颜色测定。 $L^*$  表示亮度值; $a^*$  在此处表示红度值,选用标准白板为背景减少试验误差。

1.2.3 剪切力测定 采用数显式肌肉嫩度仪进行西式火腿肉片嫩度测定。取颜色测定后西式火腿切片,取表面均匀平整的火腿片切割成 $1.5\text{ cm}\times 1.5\text{ cm}\times 0.5\text{ cm}$ 长方体状,放置于载样处,测量并记录显示的剪切力值<sup>[28]</sup>,各个时间点测定 3 次取均值。

1.2.4 水分含量测定 样品的水分含量选用卤素快速水分测定仪测定,各个时间点测定 3 次取均值,该指标测定试验均采用同一仪器、相同质量样品以减小误差。

## 1.3 数据处 理

1.3.1 反应级数确定 反应级数是推测反应机理的必要依据,主要确定方法有多种。本研究采用食品领域常用的积分法进行计算。其中零级反应动力学积分式为:

$$C_A = C_{A_0} - kt, \quad (1)$$

式中:

$C_A$ ——反应物 A 的浓度,具体单位根据实际测量物质确定;

$t$ ——反应时间, min;

$k$ ——反应速度常数,具体单位根据实际测量物质确定。

一级反应动力学积分式为:

$$\ln C_A = \ln C_{A_0} - kt. \quad (2)$$

1.3.2 动力学参数计算 Arrhenius 模型和  $z$  值模型为食品热处理领域两种常见模型。本文采用这两个模型计算西式火腿煮制过程中品质变化的动力学参数: $D$  值、 $z$  值、反应速率  $k$  及反应活化能  $E_a$  值。西式火腿煮制过程中品质变化属于一级动力学反应时,通过式(2)求出反应速度常数  $k$ ,并通过式(3)求出  $D$  值。

$$D = \frac{2.303}{k \times 60}, \quad (3)$$

式中:

$D$ ——在特定温度下,食品品质变化一个对数周期所需要的时间, min。

$z$  值的计算公式为:

$$z = \frac{T_2 - T_1}{\lg D_1 - \lg D_2}, \quad (4)$$

式中:

$z$ —— $D$  值变化一个对数周期所需要的温度,  $^{\circ}\text{C}$ 。

Arrhenius 模型中,  $E_a$  值的计算公式为:

$$\ln k = -\frac{E_a}{RT} + \ln k_0, \quad (5)$$

式中:

$R$ ——理想气体常数,  $8.314\text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ ;

$T$ ——温度, K;

$k_0$ ——指数前置因子;

$E_a$ ——活化能,  $\text{kJ}/\text{mol}$ 。

1.3.3 数据分析 测定结果的分析主要采用 Excel 软件,方法为最小二乘法,对西式火腿各品质指标的变化进行线性和非线性拟合,分别得到相关系数  $R^2$ ,各指标变化

对一级反应拟合的平均系数大于相对应的零级反应  $R^2$  时,根据式(3)计算出各指标不同温度下的  $D$  值。根据式(4)、(5)进行线性回归分析求出相应  $z$  值和  $Ea$  值。

## 2 结果与分析

### 2.1 颜色变化

烹饪肉类产品的颜色不仅可以反映食品成熟程度,而且可以提供食品质量属性的可靠信息,是消费者对食品的第一印象,极大影响消费者满意度。由图 1 可知,随煮制时间的延长,西式火腿  $L^*$ 、 $a^*$  增加。 $L^*$  值随煮制时间延长而增加主要是煮制过程汁液在肉表面的累积造成光反射的增强,而  $a^*$  的变化与传统猪里脊肉油浴过程变化趋势相反,主要原因是西式火腿作为一种再制生食,为了增加销量,提高感官品质,在加工过程中会添加发色剂、护色剂等。

采用最小二乘法拟合西式火腿颜色变化。由表 1 可知,西式火腿在煮制过程中  $L^*$  和  $a^*$  的变化对一级反应拟合的平均系数均大于相对应的零级反应,表明其变化属于一级反应动力学,并根据式(3)求出对应  $D$  值。对其  $\lg D-T$  进行线性回归,结合式(4)求得动力学模型参数  $z$  值如图 2,得出西式火腿煮制过程中  $L^*$  变化的  $z$  值为  $49.69\text{ }^\circ\text{C}$ ,相关系数为  $0.894\ 6$ ;  $a^*$  变化的  $z$  值为  $41.85\text{ }^\circ\text{C}$ ,相关系数为  $0.951\ 0$ 。并对其  $\ln k-T^{-1}$  进行线

性回归,结合式(5)求得动力学模型参数  $Ea$  如图 3,得出西式火腿煮制过程中  $L^*$  变化的  $Ea$  值为  $46.73\text{ kJ/mol}$ ,  $a^*$  变化的  $Ea$  值为  $55.27\text{ kJ/mol}$ ,相关系数为  $0.947\ 5$ 。

### 2.2 水分含量变化

水分作为肉制品重要组成部分,其存在形式和状态直接影响肉制品嫩度<sup>[1]</sup>。煮制作为一种特殊烹饪方式有利于肉制品水分含量提高,达到更高产品产出率,是工业生产考虑的重要因素之一。但水分含量过高会导致微生物增长加剧,不利于后期储存,因此在西式火腿煮制过程中,水分含量作为表征过热的品质因子。由图 4 可知,随煮制时间的延长,西式火腿水分含量增加,且  $73, 76, 80\text{ }^\circ\text{C}$  最终水分含量基本相同,  $70\text{ }^\circ\text{C}$  最终水分含量较高。

采用最小二乘法拟合西式火腿水分含量变化。由表 2 可知,西式火腿在煮制过程中水分含量的变化对一级反应拟合的平均系数均大于相对应的零级反应,表明该变化属于一级反应动力学,并根据式(3)求出其  $D$  值。对其  $\lg D-T$  进行线性回归,结合式(4)求得动力学模型参数  $z$  值如图 5,得出西式火腿煮制过程中水分含量的变化的  $z$  值为  $44.45\text{ }^\circ\text{C}$ ,相关系数为  $0.966\ 3$ 。并对其  $\ln k-T^{-1}$  进行线性回归,结合式(5)求得动力学模型参数  $Ea$  如图 6,得出西式火腿煮制过程中水分含量变化  $Ea$  值为  $52.22\text{ kJ/mol}$ ,相关系数为  $0.968\ 8$ 。

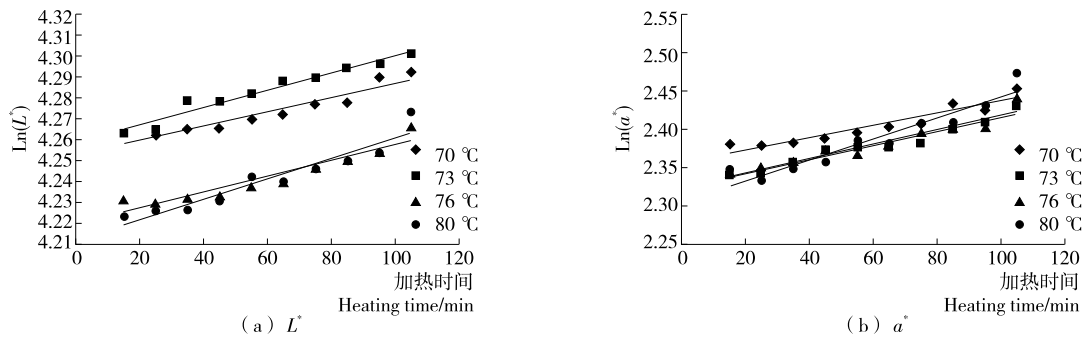


图 1 西式火腿煮制过程颜色变化

Figure 1 Changes of color during the cooking process of western-style ham

表 1 不同温度煮制西式火腿  $L^*$  和  $a^*$  变化反应动力学参数

Table 1 Kinetic parameters of  $L^*$  and  $a^*$  changes of western-style ham cooked at different temperatures

颜色	温度/ $^\circ\text{C}$	零级			一级			$D$ 值/min
		速率常数 $k/\text{min}^{-1}$	$R^2$	平均相关系数	速率常数 $k/\text{min}^{-1}$	$R^2$	平均相关系数	
$L^*$	70	0.024 3	0.903 5	0.914 8	0.000 3	0.905 5	127.94	
	73	0.030 1	0.958 1		0.000 4	0.956 4	95.96	
	76	0.026 3	0.898 4		0.000 4	0.900 8	95.96	
	80	0.033 9	0.899 2		0.000 5	0.903 4	76.77	
$a^*$	70	0.008 9	0.897 8	0.911 6	0.000 8	0.900 5	47.98	
	73	0.009 8	0.947 0		0.000 9	0.951 0	42.65	
	76	0.010 4	0.901 6		0.001 0	0.908 3	38.38	
	80	0.015 0	0.899 9		0.001 4	0.908 0	27.42	

表 2 不同温度煮制西式火腿水分含量变化反应动力学参数

Table 2 Kinetic parameters of moisture content changes of western-style ham cooked at different temperatures

温度/℃	零级			一级			
	速率常数 $k/\text{min}^{-1}$	$R^2$	平均相关系数	速率常数 $k/\text{min}^{-1}$	$R^2$	平均相关系数	D 值/min
70	0.038 4	0.898 9	0.926 0	0.000 7	0.901 5	0.926 5	54.83
73	0.048 3	0.923 9		0.000 9	0.924 1		42.65
76	0.050 4	0.918 1		0.001 0	0.914 3		38.38
80	0.061 3	0.963 1		0.001 2	0.965 9		31.99

2.3 剪切力变化

长时间炖煮有助于溶解肌肉结缔组织,从而改善肉品嫩度<sup>[29]</sup>。剪切力作为一种客观测量肉类柔软度的方法,能更精确地反映食品品质变化<sup>[30]</sup>。因此,将剪切力作

为西式火腿煮制过程中表征成熟的品质因子。由图 7 可知,西式火腿煮制过程中,随煮制时间的延长剪切力不断增加,且煮制一定时间后,70,73℃剪切力明显低于 76,80℃,与肉低温长时烹饪更有效改善其嫩度结论一致。

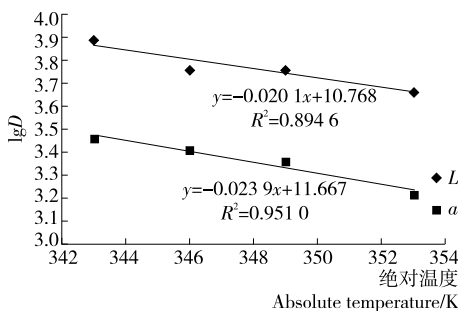


图 2 西式火腿  $L^*$  和  $a^*$  变化的  $z$  值

Figure 2 Curves of  $z$  values of changes of  $L^*$  and  $a^*$  in western-style ham

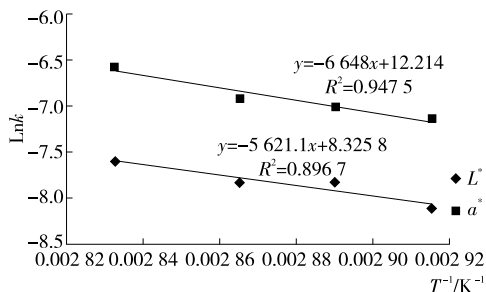


图 3 西式火腿  $L^*$  和  $a^*$  变化的 Arrhenius 图

Figure 3 Arrhenius diagram of changes of  $L^*$  and  $a^*$  in western-style ham

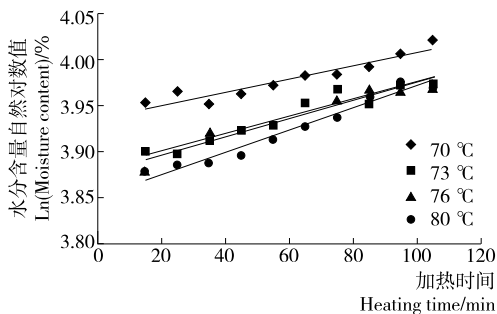


图 4 西式火腿煮制过程水分含量的变化

Figure 4 Changes of moisture content during the cooking process of western-style ham

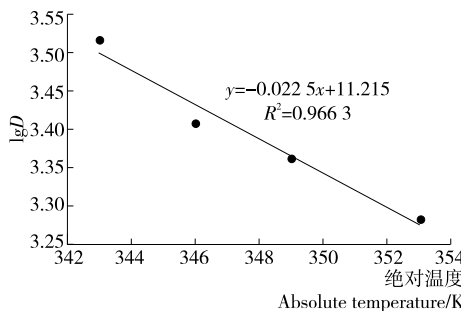


图 5 西式火腿水分含量变化的  $z$  值

Figure 5 Curves of  $z$  values of changes of water content in western-style ham

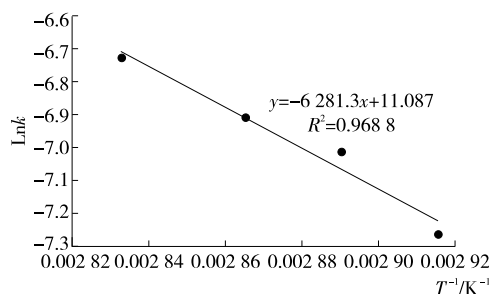


图 6 西式火腿水分含量变化的 Arrhenius 图

Figure 6 Arrhenius diagram of changes of moisture content in western-style ham

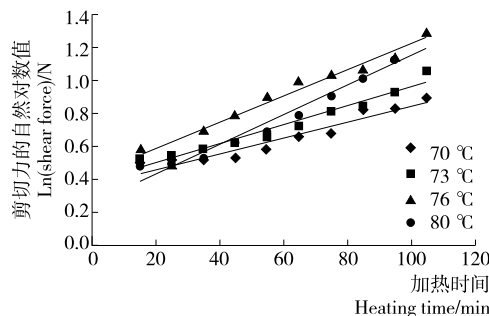


图 7 西式火腿煮制过程剪切力的变化

Figure 7 Changes of shear force during the cooking process of western-style ham

猪里脊肉在烹饪过程中,剪切力变化趋势与此基本一致,但西式火腿煮制过程剪切力明显低于猪里脊肉油浴过程中剪切力,主要原因是西式火腿属于再制生食,其组成成分与原生肉结构有很大区别<sup>[23]</sup>。

采用最小二乘法拟合西式火腿剪切力变化。由表 3 可知,西式火腿在煮制过程中剪切力的变化对一级反应拟合的平均系数均大于相对应的零级反应,表明该变化

属于一级反应动力学,同理,可求出其对应  $D$  值。对其  $\lg D-T$  进行线性回归,结合式(4)求得动力学模型参数  $z$  值如图 8,得出西式火腿煮制过程中剪切力变化的  $z$  值为  $34.81\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,相关系数为  $0.9537$ 。并对其  $\ln k-T^{-1}$  进行线性回归,结合式(5)求得动力学模型参数  $Ea$  如图 9,得出西式火腿煮制过程中剪切力变化  $Ea$  值为  $66.69\text{ kJ/mol}$ ,相关系数为  $0.9558$ 。

表 3 不同温度煮制西式火腿剪切力变化反应动力学参数

Table 3 Kinetic parameters of shear force changes of western-style ham cooked at different temperatures

温度/ $^{\circ}\text{C}$	零级			一级			
	速率常数 $k/\text{min}^{-1}$	$R^2$	平均相关系数	速率常数 $k/\text{min}^{-1}$	$R^2$	平均相关系数	$D$ 值/ $\text{min}$
70	0.009 5	0.924 6	0.934 9	0.004 8	0.941 3	0.959 1	8.00
73	0.012 3	0.920 7		0.005 7	0.955 8		6.73
76	0.019 8	0.968 5		0.007 9	0.972 3		4.86
80	0.021 1	0.925 8		0.009 0	0.967 1		4.26

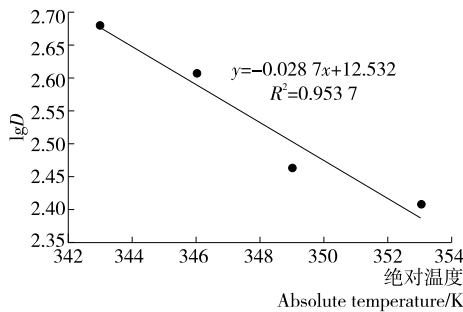


图 8 西式火腿剪切力变化的  $z$  值

Figure 8 Curves of  $z$  values of changes of shear force in western-style ham

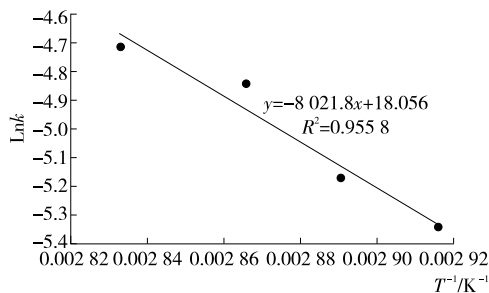


图 9 西式火腿剪切力变化的 Arrhenius 图

Figure 9 Arrhenius diagram of changes of shear force in western-style ham

### 3 结论

西式火腿煮制过程中亮度值、红度值、水分含量和剪切力的变化均属于一级反应动力学。试验结果表明,煮制过程中,表征西式火腿成熟的品质因子(颜色、剪切力)和表征过热的品质因子(水分含量)的变化均遵循一级反应动力学。且亮度值和红度值的  $z$  值分别为  $49.69, 41.85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $Ea$  值分别为  $46.73, 55.27\text{ kJ/mol}$ ;剪切力的

$z$  值为  $34.81\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $Ea$  值为  $66.69\text{ kJ/mol}$ ;水分含量的  $Ea$  值为  $52.22\text{ kJ/mol}$ ,  $z$  值为  $44.45\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 大于剪切力和红度值的  $z$  值。成熟品质因子的  $z$  值小于过热品质因子  $z$  值,符合烹饪操作优化的要求,证明在西式火腿煮制过程中存在优化空间,可通过调整加工工艺改善西式火腿品质。

动力学参数的准确测定,可以更好地预测食品加热过程中品质变化,有利于企业更科学的设计热源供应,降低生产成本,提高产品品质。本研究对西式火腿煮制过程中亮度、红度、水分含量和剪切力 4 个指标的动力学参数进行测定,为推进西式火腿产业化生产提供基础数据,后续将在此基础上针对西式火腿煮制条件不统一和品质不稳定等问题进行工艺优化。

### 参考文献

- [1] 蒋丽施. 西式火腿类低温肉制品品质变化研究[D]. 重庆: 西南大学, 2012.
- [2] 明建, 袁艺珈, 杨婧, 等. 添加膳食纤维对西式火腿质构特性和色度的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(23): 180-184.
- [3] 周坤. 西式火腿配方设计原则及调配方法[J]. 中外食品工业, 2003(6): 17-18.
- [4] 胡冠蓝, 邓绍林, 刘婷, 等. 正交实验优化西式火腿食用品质[J]. 食品工业科技, 2014, 35(10): 215-219.
- [5] 徐雯雅. 西式盐水火腿低钠腌制剂的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012: 37-59.
- [6] 钱灵燕, 郇延军, 刘成林. 不同滚揉腌制工艺处理对猪肉腌制过程中色泽的影响[J]. 食品工业科技, 2010, 31(4): 125-128.
- [7] 杨勇胜, 彭增起. 滚揉和腌制液成分对肉块类西式火腿质构的影响[J]. 食品工业科技, 2012, 32(12): 262-266.
- [8] 杨勇胜. 滚揉腌制条件对肉块类西式火腿品质影响研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2009: 15-55.
- [9] 冯宪超, 白云, 贾旭, 等. 射频加热和蒸煮加热对西式火腿

- 品质和肌原纤维蛋白特性的影响[J]. 南京农业大学学报, 2017, 40(2): 346-351.
- [10] 魏心如, 韩敏义, 王鹏, 等. 热处理对鸡胸肉剪切力与蒸煮损失的影响[J]. 江苏农业学报, 2014, 30(3): 629-633.
- [11] 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.
- [12] 涂黎明. 西式火腿加工方法[J]. 江西畜牧兽医杂志, 1991(2): 40-42.
- [13] 余德敏. 西式火腿加工工艺及其质量控制[J]. 肉类工业, 2007(2): 7-9.
- [14] 李增利. 西式火腿蒸煮温度和时间的确定[J]. 肉类工业, 1988(6): 20-22.
- [15] HUANG Feng, HUANG Ming, XU Xing-lian, et al. Influence of heat on protein degradation, ultrastructure and eating quality indicators of pork[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2011, 91(3): 443-448.
- [16] COX R J, THOMPSON J M, CUNIAL C M, et al. The effect of degree of doneness of beef steaks on consumer acceptability of meals in restaurants[J]. Meat Science, 1997, 45(1): 75-85.
- [17] YEUNG H, EHLERS J D, WANISKA R D, et al. Rapid screening methods to evaluate cowpea cooking characteristics[J]. Field Crops Research, 2009, 112(2/3): 245-252.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] BOEKEL M A V. Kinetic modeling of food quality: A critical review[J]. Comprehensive Reviews in Food Science & Food Safety, 2010, 7(1): 144-158.
- [21] 黄万有, 刘书成, 吉宏武, 等. 超高压处理条件下的虾仁品质变化动力学[J]. 食品工业科技, 2013, 34(22): 100-105.
- [22] 柴春祥, 杜利农. 动力学模型在鱼肉品质变化中的应用[J]. 食品工业科技, 2006, 27(1): 75-76.
- [23] 余冰妍, 邓力, 李文馨, 等. 猪里脊肉油传热过程中品质变化动力学研究[J]. 食品与机械, 2018, 34(4): 48-53.
- [24] 周厚源, 李汴生, 阮征, 等. 热处理过程鸡翅品质变化的动力学模型[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(8): 68-75.
- [25] 钟金锋, 覃小丽, 郑炯. 竹笋热烫处理过程中颜色变化的动力学模型[J]. 食品科学, 2014, 35(19): 101-105.
- [26] CHRISTENSEN L, ERTBJERG P, AASLYNG M D, et al. Effect of prolonged heat treatment from 48 °C to 63 °C on toughness, cooking loss and color of pork[J]. Meat Science, 2011, 88(2): 280-285.
- [27] RUBIO B, MARTÍNEZ B, GARCÍA-CACHÁN 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): 1 182-1 187.
- [28] 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.
- [29] PURSLOW P P, ARCHILE-CONTRERAS A C, CHA M C. Meat science and muscle biology symposium: Manipulating meat tenderness by increasing the turnover of intramuscular connective tissue[J]. Journal of Animal Science, 2012, 90(3): 950-959.
- [30] HOPKINS D L, HEGARTY R S, WALKER P J, et al. Relationship between animal age, intramuscular fat, cooking loss, pH, shear force and eating quality of aged meat from sheep[J]. Australian Journal of Experimental Agriculture, 2006, 46(7): 879-884.
- (上接第 30 页)
- [13] 计成, 赵丽红. 黄曲霉毒素生物降解的研究及前景展望[J]. 动物营养学报, 2010(2): 241-245.
- [14] 计成, 贾如, 赵丽红. 基因工程技术在黄曲霉毒素生物降解中的应用[J]. 中国农业科学, 2017(17): 3 422-3 428.
- [15] 温思霞, 管敏, 周涛, 等. 假蜜环菌黄曲霉毒素氧化酶的基因克隆、表达、纯化及酶学性质分析(英文)[J]. 微生物学报, 2011(9): 1 212-1 221.
- [16] 李俊霞, 梁志宏, 关舒, 等. 黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 降解菌株的筛选及鉴定[J]. 中国农业科学, 2008(5): 1 459-1 463.
- [17] 郝爱平, 魏继承, 国会艳. 菌液浓度对 PCR 扩增的影响[J]. 北方园艺, 2012(3): 127-129.
- [18] 黄茜, 黄璐, 潘道东, 等. 重组融合蛋白 MBP-BSH 在大肠杆菌中的表达及其纯化、功能鉴定[J]. 食品科学, 2012(7): 198-203.
- [19] DIPPEL R, BOOS W. The maltodextrin system of *Escherichia coli*: Metabolism and transport[J]. Journal of Bacteriology, 2005, 187(24): 8 322-8 331.
- [20] RIGGS P. Expression and purification of recombinant proteins by fusion to maltose-binding protein[J]. Molecular Biotechnology, 2000, 15(1): 51-63.
- [21] LIU Da-ling, YAO Dong-sheng, LIANG Ren, et al. Detoxification of aflatoxin B<sub>1</sub> by enzymes isolated from *Armillariella tabescens*[J]. Food and Chemical Toxicology, 1998, 36(7): 563-574.
- [22] 左振宇, 刘大岭, 胡亚冬, 等. 密码子优化的重组黄曲霉毒素解毒酶(rADTZ)在毕氏酵母中组成型分泌表达的研究[J]. 中国农业科技导报, 2007(5): 87-94.
- [23] 胡熔, 刘大岭, 谢春芳, 等. 黄曲霉毒素解毒酶在大肠杆菌中的可溶性表达、纯化及其圆二色谱分析[J]. 中国生物工程杂志, 2011(4): 71-76.
- [24] 孙玲玉, 李超, 郝海玉, 等. 泰山枯草芽孢杆菌的分离鉴定及其对黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 的降解研究[J]. 中国畜牧兽医, 2014(8): 246-250.
- [25] FARZANEH M, SHI Z Q, GHASSEMPOUR A, et al. Aflatoxin B<sub>1</sub> degradation by *Bacillus subtilis* UTBSP1 isolated from pistachio nuts of Iran[J]. Food Control, 2012, 23(1): 100-106.