

# 猪肝油炒过程中品质变化动力学分析

李丽丹, 邓力, 赵庭霞, 魏瑶, 李静鹏, 曾雪峰

(贵州大学酿酒与食品工程学院, 贵州贵阳 550025)

**摘要:** 油炒是中式烹饪的典型方式, 采用油炒模拟装置, 选择从生到熟煮猪肝的关键温度段, 结合动力学方法对猪肝熟品质因子(颜色、剪切力)和过热品质因子(蒸煮损失)进行反应动力学测定和分析。结果表明: 油炒成熟过程中猪肝的颜色、剪切力、蒸煮损失变化均遵循一级反应动力学模型, 亮度  $L^*$ 、红度  $a^*$ 、白度  $W$  变化的  $z$  值分别为 19.53 °C、20.61 °C、20.20 °C,  $E_a$  值分别为 116.67 kJ/mol、110.40 kJ/mol、112.75 kJ/mol; 剪切力变化的  $z$  值为 14.16 °C,  $E_a$  值为 160.77 kJ/mol; 过热品质因子蒸煮损失变化的  $z$  值为 30.12 °C,  $E_a$  值为 75.63 kJ/mol, 大于成熟品质因子  $z$  值, 满足烹饪成熟值理论提出的优化前提, 证明猪肝在烹饪过程中存在优化空间, 为猪肝油炒和品质优化研究提供了必要的动力学参数。

**关键词:** 猪肝; 品质变化; 动力学模型; 参数测定; 油炒

文章编号: 1673-9078(2021)05-153-159

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.5.1191

## Kinetic Analysis of Quality Change of Pork Liver during Stir-frying with Oil

LI Li-dan, DENG Li, ZHAO Ting-xia, WEI Yao, LI Jing-peng, ZENG Xue-feng

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

**Abstract:** Stir-frying with oil is a typical cooking method of Chinese cuisine. Using a stir-frying cooking simulation device, the key temperature range for cooking pork liver from raw to cooked was selected. Combined with the kinetic method, the reaction kinetics of the quality factors of cooked pork liver (color and shear force) and overheated pork liver (cooking loss) were determined and analyzed. The results revealed that the changes of color, shear force and cooking loss of pork liver during stir-frying with oil followed first-order kinetics model. Meanwhile, the  $z$ -values of brightness ( $L^*$ ), redness ( $a^*$ ) and whiteness ( $W$ ) were 19.53 °C, 20.61 °C and 20.20 °C, and the corresponding  $E_a$  values were 116.67 kJ/mol, 110.40 kJ/mol and 112.75 kJ/mol; the  $z$  value of shear force change was 14.16 °C with the  $E_a$  value being 160.77 kJ/mol; the  $z$  value of the overheating quality factor, cooking loss, was 30.12 °C (which was higher than the  $z$  value of cooked liver), with the  $E_a$  being 75.63 kJ/mol. These results meet the optimization prerequisites of the cooking sufficiency theory, which proves that there's room for optimization of the cooking process. This study provides the necessary kinetic parameters for research on the stir-frying pork liver with oil and quality optimization.

**Key words:** pork liver; quality changes; kinetic model; parameter determination; stir-frying

引文格式:

李丽丹, 邓力, 赵庭霞, 等. 猪肝油炒过程中品质变化动力学分析[J]. 现代食品科技, 2021, 37(5): 153-159, +187

LI Li-dan, DENG Li, ZHAO Ting-xia, et al. Kinetic analysis of quality change of pork liver during stir-frying with oil [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(5): 153-159, +187

猪肝是猪屠宰后的主要副产品之一, 约占猪体重的 1.5%~2.5%, 全国规模企业每年屠宰约 2.5 亿头猪, 可得猪肝 0.6~0.8 亿 kg<sup>[1]</sup>。猪肝含有丰富的维生素 A、B 族维生素, 具有补肝、养血、明目等功效<sup>[2]</sup>。猪肝

收稿日期: 2020-12-22

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31860443)

作者简介: 李丽丹 (1995-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品科学与工程  
通讯作者: 邓力 (1966-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 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

渣由于蛋白质含量高、氨基酸平衡, 并且含有高剂量的铁、锌、铜等矿物质, 是新兴的优质蛋白源; 猪肝中含有数百种酶蛋白, 其中用猪肝制造的药物达几十种<sup>[3]</sup>; 西方国家很少食用动物内脏, 因此对猪肝的食用研究相对较少, 基本没有猪肝热处理研究的文献。猪肝在国内主要用于直接烹调, 是一种被广泛接受的烹饪菜肴。随着烹饪产业的快速发展和自动烹饪的兴起, 出现了猪肝油炒品质变化研究的需要。

大量研究表明, 零级或一级动力学模型可以用于

描述食品品质的变化规律<sup>[4]</sup>。烹饪成熟值理论<sup>[5-7]</sup>认为动力学是联系传递过程与烹饪品质的纽带,并且提出了表征烹饪有益品质的动力学函数-成熟值和不良品质的动力学函数-过热值。烹饪工艺优化的前提条件是成熟与过热的品质指标的 $z$ 值不同。对于杀菌工艺,其杀菌温度优化的前提条件是微生物致死和质量因子的 $z$ 值不同。类似地,烹饪工艺优化前提条件就是表征成熟与过热的色泽、质构、风味、营养等品质因子的 $z$ 值不同,并且前者小于后者<sup>[8]</sup>。爆炒等典型中式烹饪方式由于烹饪时间短、非稳态特征显著,食品品质变化剧烈,无法采用传统的理化分析方法进行全局分析和食品品质描述。因此只能参照杀菌工艺优化<sup>[9]</sup>,通过传热学-动力学模型来数值模拟不同时间、空间位置的烹饪品质,以烹饪终点成熟值为限制函数,以烹饪过热值为目标函数来优化油炒烹饪工艺<sup>[8]</sup>。李静鹏<sup>[5]</sup>通过动力学与感官评价相结合的方法开展了猪里脊肉烹饪成熟研究。徐嘉<sup>[10]</sup>以猪里脊肉油炒过程中的品质变化动力学参数为基础对猪里脊肉油炒油温进行了优化,数值模拟结果与实测结果一致,验证了优化模型。汪孝<sup>[11]</sup>测定了蒜薹油炒品质变化动力学参数,并在此基础上对蒜薹油炒油温、刀工进行了优化,数值模拟结果与实测结果一致,证明了热/质传递模型和优化模型的可靠性。在烹饪数值模拟方面,已积累一定的研究基础。得到成熟和过热的动力学参数是烹饪工艺优化的必须条件,因而开展猪肝油炒工艺分析、评价和优化必须获得其油炒热处理的动力学参数。目前针对猪肝油炒过程中主要食用品质的相关动力学研究尚未见报道。

肉类在加热过程中的品质因子包括致病微生物的杀灭、颜色变化、特征风味的形成、嫩度等<sup>[8]</sup>。文献<sup>[12,13]</sup>指出肉的食用品质一般包括颜色、嫩度、风味、多汁性、保水性等。猪肝与肉类在热处理中均以蛋白质变性为热处理主要变化,因此参照选择颜色和嫩度作为猪肝成熟品质因子、蒸煮损失为猪肝过热品质因子进行品质变化动力学研究。

综上,有必要开展猪肝油炒动力学研究。试验以猪肝为对象,测定油炒过程中猪肝成熟及过热品质因子的变化趋势并确定动力学模型,得到相应的动力学参数,为猪肝油炒热处理研究提供基础参数。

## 1 材料与方 法

### 1.1 原料与主要仪器设备

猪肝:购于贵阳市花溪区合力超市;食用调和油:购于广西惠禹粮油工业有限公司。

CY-20 超级恒温油浴槽,上海博迅实业有限公司,

精度为 $\pm 0.1$  °C;烹饪传热学及动力学数据采集分析系统,自主研制;BL658 切片机,深圳市博莱电子电器有限公司;WSC-S 型测色色差仪,上海精密科学仪器有限公司;C-LM3B 型数显式肌肉嫩度仪,东北农业大学工程学院。

## 1.2 方 法

### 1.2.1 动力学测定温度范围的确定

根据文献<sup>[5]</sup>中测定终点成熟值的方法,采用油炒烹饪模拟装置(见图1)测得猪肝在70、80、90 °C油温下加热刚好到达成熟时其终点成熟值为0.01 min( $z$ 值为2 °C),用0.01 min 终点成熟值插值得到成熟时其中心温度为67.8、68.9、68.9 °C,见图2。按照成熟值理论,终点成熟值不受尺寸、形状、加热油温和加热介质等因素影响,仅与原料有关。本文主要目的是研究猪肝在成熟过程中的品质动力学变化,同时后期的品质优化研究也是针对成熟阶段,因此选择猪肝成熟点附近温度范围67~76 °C进行研究。



图1 油炒烹饪模拟装置示意图

Fig.1 Schematic diagram of the stir-frying cooking simulation device

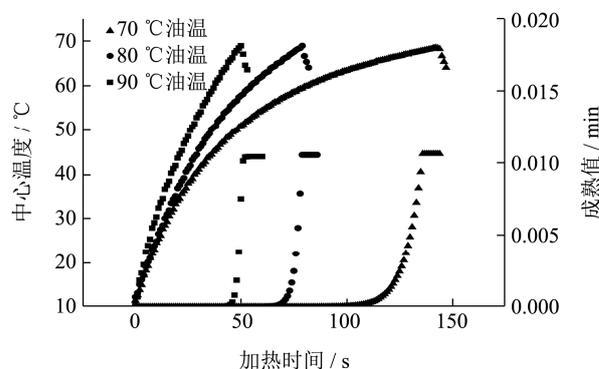


图2 不同油温下猪肝中心温度和成熟温度

Fig.2 Central temperatures and matured temperatures of pork liver under different oil temperatures

### 1.2.2 原材料处理

将猪肝冷冻成型,切割成2 cm×2 cm×0.1 cm,待猪肝温度升至室温时分别放入67、70、73、76 °C的

恒温油浴锅中, 开启油泵形成烹饪原料与油的相对运动, 模拟油炒烹饪过程, 见图 1。根据前期预试验结果, 猪肝颜色变化在相同条件下较剪切力和蒸煮损失更迅速, 因此颜色测定加热 64 s, 每隔 8 s 取一次样, 蒸煮损失、剪切力测定加热 80 s, 每隔 10 s 取一次样, 于 0 °C 水中快速冷却, 取出擦干静置到室温后进行各项测定, 同时进行鲜样的测定。

### 1.2.3 颜色测定

将猪肝从 0 °C 水中取出之后擦干, 选取表面 3 处颜色均匀的部位采用 WSC-S 色差仪进行测定,  $L^*$  表示亮度、 $W$  表示白度,  $a^*$  表示红度, 每个处理条件测定 3 次, 结果以平均值±标准差形式表示。

### 1.2.4 剪切力测定

打开嫩度仪开关后调零, 将猪肝肌纤维方向与剪切方向垂直放置, 测量并记录剪切力值, 每个处理条件测定 3 次, 结果以平均值±标准差形式表示。

### 1.2.5 蒸煮损失测定

按照 Vaskoska 等<sup>[14]</sup>的方法, 根据猪肝处理前的重量与处理  $t$  时刻后重量的差异进行计算。每个处理条件测定 3 次, 结果以平均值±标准差形式表示。

$$CL_t = \frac{m_i - m_0}{m_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中:  $CL_t$ : 蒸煮损失, %;  $m_0$ : 猪肝初始质量, g;  $m_i$ :  $t$  时刻猪肝质量, g。

## 1.3 品质变化动力学模型

### 1.3.1 反应级数确定

动力学模型普遍应用于描述食品体系在热处理过程中品质变化规律, 其积分式如式 (2)<sup>[15]</sup>:

$$\ln \left( -\frac{dC_A}{dt} \right) = \ln k + n \ln C_A \quad (2)$$

式中:  $C_A$ : 反应物浓度, 具体单位根据实际测定物质确定;  $t$ : 反应时间, s;  $k$ : 反应速度常数, 具体单位根据实际测定物质确定;  $n$ : 反应级数。

反应级数体现了浓度对反应速度快慢的影响程度, 反应级数的选择与确定是动力学研究的基础, 零级反应动力学积分式如式 (3):

$$C_A = C_{A0} - kt \quad (3)$$

一级反应动力学积分式如式 (4):

$$\ln C_A = \ln C_{A0} - kt \quad (4)$$

### 1.3.2 动力学参数的计算

Arrhenius 模型和  $z$  值模型具有相同的理论意义和相似的计算结果, 广泛应用于食品热处理领域<sup>[16]</sup>。本

研究采用这两个模型联立计算  $D$  值、 $z$  值、 $k$  以及  $E_a$  值等动力学参数。当食品品质变化属于一级反应动力学时, 根据式 (4) 计算出反应速率  $k$ , 根据式 (5) 计算出品质变化的  $D$  值。

$$D = \frac{2.303}{k \times 60} \quad (5)$$

式中:  $D$ : 在恒定温度下, 食品品质变化一个对数周期所需要的加热时间, min。

$z$  值的计算公式如式 (6)。

$$z = \frac{T_2 - T_1}{\lg D_1 - \lg D_2} \quad (6)$$

式中:  $z$ :  $D$  值变化一个对数周期所需要的加热温度, °C。活化能  $E_a$  值根据式 (7) Arrhenius 模型进行计算。

$$\ln k = -\frac{E_a}{RT} + \ln k_0 \quad (7)$$

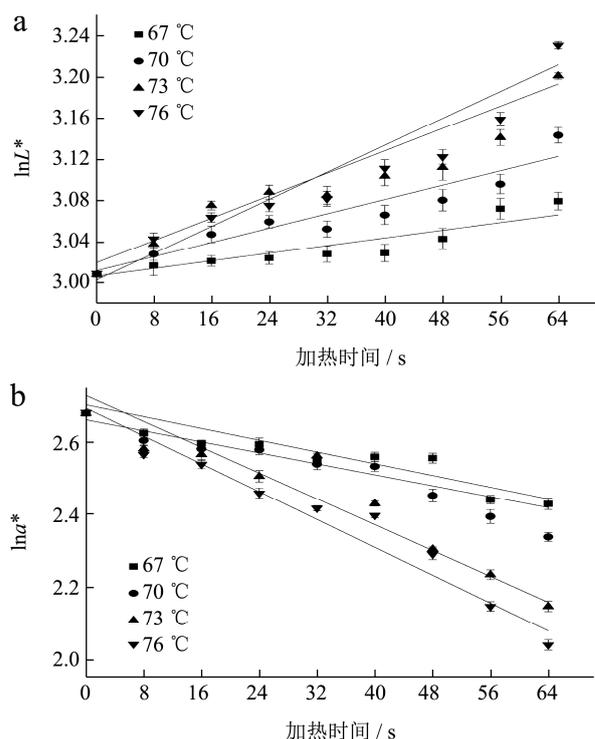
式中:  $R$ : 理想气体常数, 8.314 J/(mol·K);  $T$ : 温度, K;  $k_0$ : 指数前置因子;  $E_a$ : 活化能, kJ/mol。

### 1.3.3 数据分析

采用 origin 8.0 软件对猪肝各个品质指标的数据进行线性和非线性拟合, 得到一级与零级反应动力学的相关系数, 选择相关系数更高的反应级数并得到相应的反应速率常数  $k$ ; 再根据相应的公式计算出  $D$  值、 $z$  值、 $E_a$  值。

## 2 结果与讨论

### 2.1 颜色变化



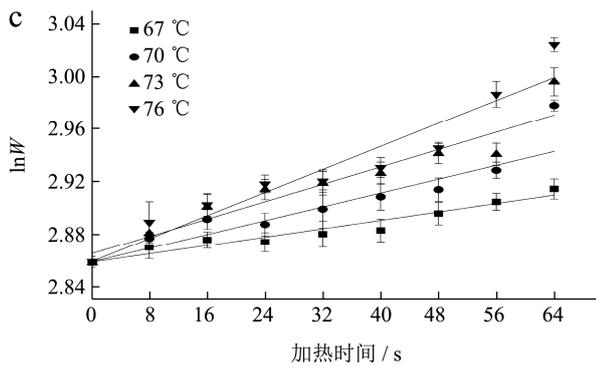


图3 猪肝油炒过程中颜色变化

Fig.3 Changes of color of pork liver in the stir-frying process

注: a:  $L^*$ 变化; b:  $a^*$ 变化; c:  $W$ 变化。

猪肝在加热过程中亮度  $L^*$ 、白度  $W$ 、红度  $a^*$ 变化如图3所示,随着加热时间的延长,猪肝  $L^*$ 、 $W$ 增大,  $a^*$ 减小,温度越高变化越快。猪肝颜色主要来源是血红蛋白,在成熟过程中由于血红蛋白的变性,颜色会经历白化阶段,本试验选取温度范围为 67~76 °C,与血红蛋白的变性温度范围基本一致<sup>[17]</sup>。

采用最小二乘法对猪肝颜色变化进行拟合。由表1可知,油炒过程中猪肝颜色变化属于一级反应动力学模型。猪肝  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $W$ 变化的活化能  $E_a$  分别为 116.67 kJ/mol、110.40 kJ/mol、112.75 kJ/mol,  $z$  值分别为 19.53 °C、20.61 °C、20.20 °C。Ohlsson<sup>[18]</sup>以猪肝泥和鱼饼为研究对象,得到其  $L^*$ 的  $z$  值分别为 21 °C和 25 °C,余冰妍<sup>[15]</sup>以猪里脊肉为研究对象,得到其  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $W$ 的  $z$  值分别为 33.1 °C、26.1 °C、41.0 °C。石宇

<sup>[19]</sup>以西式火腿为研究对象,得到其煮制过程  $L^*$ 、 $a^*$ 的  $z$  值分别为 49.69 °C和 41.85 °C,以上研究所得颜色的  $z$  值均大于本试验猪肝颜色变化的  $z$  值,说明猪肝的颜色变化对温度更敏感。

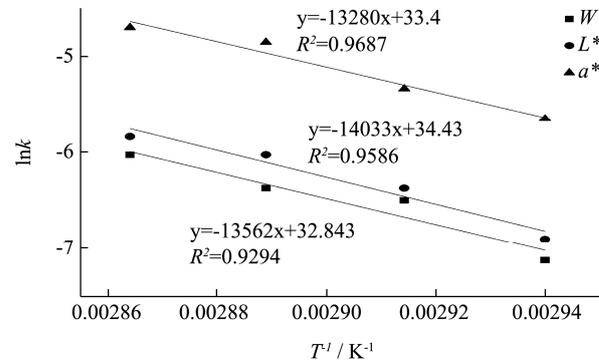


图4 猪肝颜色变化的 Arrhenius 图

Fig.4 Arrhenius diagram of changes of color in pork liver

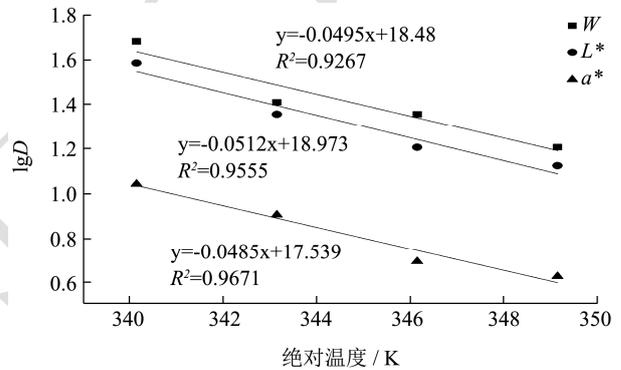


图5 猪肝颜色变化 z 值

Fig.5 Curves of z value of changes of color in pork liver

表1 不同加热条件下猪肝颜色变化反应动力学参数

Table 1 Kinetic parameters of color changes of pork liver in different temperature

颜色	$T/^\circ\text{C}$	零级			一级		
		$k/\text{min}^{-1}$	相关系数	$D$ 值/min	$k/\text{min}^{-1}$	相关系数	$D$ 值/min
$L^*$	67	1.3080	0.8495	-	0.0600	0.8548	38.3833
	70	2.1960	0.8863	-	0.1020	0.8957	22.5784
	73	3.1260	0.9003	-	0.1440	0.9095	15.9930
	76	3.9120	0.9003	-	0.1740	0.9175	13.2356
$a^*$	67	2.6760	0.8689	-	0.2100	0.8867	10.9666
	70	3.5400	0.9287	-	0.2880	0.9399	7.9965
	73	5.3220	0.9142	-	0.4680	0.9153	4.9209
	76	5.8980	0.9487	-	0.5460	0.9549	4.2179
$W$	67	0.0840	0.9362	-	0.0480	0.9383	47.9791
	70	1.6080	0.8495	-	0.0900	0.8609	25.5888
	73	1.9140	0.9011	-	0.1020	0.9083	22.5784
	76	2.7000	0.8693	-	0.1440	0.8848	15.9930

## 2.2 蒸煮损失变化

蒸煮损失是反映肉类加工品质的重要指标,与肉

类的嫩度、保水性密切相关。蒸煮损失主要包括水分流失、脂肪熔化和蛋白质溶解等<sup>[20]</sup>,因此在烹饪过程中,蒸煮损失是用于表征烹饪过度加热的品质因子。

猪肝在加热过程中的蒸煮损失变化如图 6 所示, 随着加热时间的延长, 蒸煮损失增大, 且温度越高损失越大, 这是由于加热过程中蛋白质热变性凝固和收缩导致肌原纤维的水分储存空间减少, 同时蛋白质的变性和疏水基团的暴露致使蛋白质自身的亲水能力降低, 导致水分流出<sup>[21,22]</sup>。

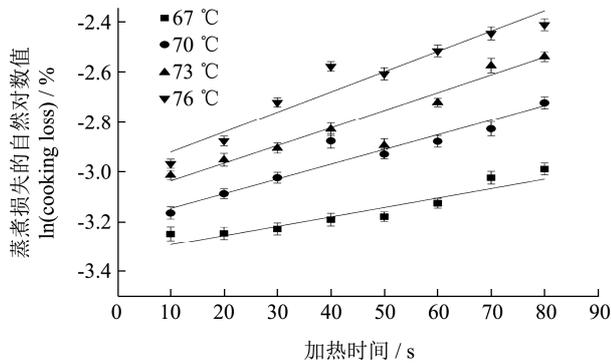


图 6 猪肝油炒过程中蒸煮损失变化

Fig.6 Changes of cooking loss of pork liver in the stir-frying process

采用最小二乘法对猪肝蒸煮损失变化进行拟合。由表 2 可知, 在油炒过程中猪肝蒸煮损失变化属于一级反应动力学模型。猪肝蒸煮损失变化的活化能  $E_a$  为 75.63 kJ/mol,  $z$  值为 30.12 °C。Bertola 等<sup>[23]</sup>研究了牛肉半膜肌在 60~90 °C 水浴中的蒸煮损失, 其变化遵循一级反应动力学模型,  $E_a$  值为 54.93 kJ/mol,  $z$  值为 41 °C。Kong 等<sup>[24]</sup>研究了鲑鱼在 100~131.1 °C 油浴中的蒸煮损失, 其变化遵循一级反应动力学模型,  $E_a$  值为 36.98 kJ/mol,  $z$  值为 60 °C。余冰妍<sup>[15]</sup>研究了猪里脊肉在 67.5~75 °C 油浴中的蒸煮损失, 其变化遵循零级反应动

表 2 不同加热条件下猪肝蒸煮损失变化反应动力学参数

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

T/°C	零级			一级		
	k/min <sup>-1</sup>	相关系数	D 值/min	k/min <sup>-1</sup>	相关系数	D 值/min
67	0.0120	0.8819	-	0.2340	0.8987	9.8418
70	0.0180	0.9227	-	0.3420	0.9234	6.7339
73	0.0240	0.8800	-	0.4080	0.9003	5.6446
76	0.0300	0.9566	-	0.4740	0.9338	4.8586

表 3 不同加热条件下猪肝剪切力变化反应动力学参数

Table 3 Kinetic parameters of shear force changes of pork liver in different temperature

T/°C	零级			一级		
	k/min <sup>-1</sup>	相关系数	D 值/min	k/min <sup>-1</sup>	相关系数	D 值/min
67	1.3440	0.9029	-	0.2580	0.9120	8.9263
70	3.7800	0.9081	-	0.5520	0.9168	4.1721
73	7.9140	0.8888	-	0.8940	0.9174	2.5760
76	11.6460	0.9621	-	1.1160	0.9543	2.0636

力学模型,  $E_a$  值为 28.9 kJ/mol。本研所得猪肝蒸煮损失  $z$  值与一般食品蒸煮过程的总体品质劣化  $z$  值 33 °C<sup>[25]</sup>接近。不同食品原料蒸煮损失动力学模型及参数存在差异, 这与原料组成成分、传热介质以及处理条件等密切相关。

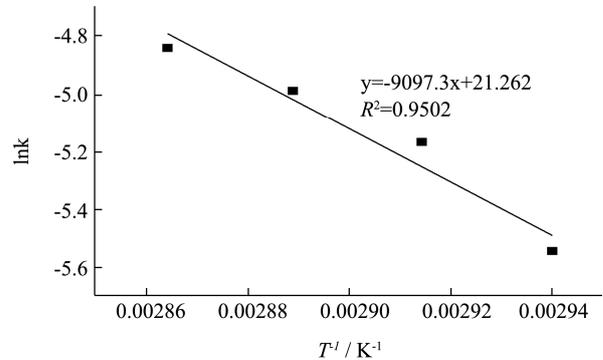


图 7 猪肝蒸煮损失变化的 Arrhenius 图

Fig.7 Arrhenius diagram of changes of cooking loss in pork liver

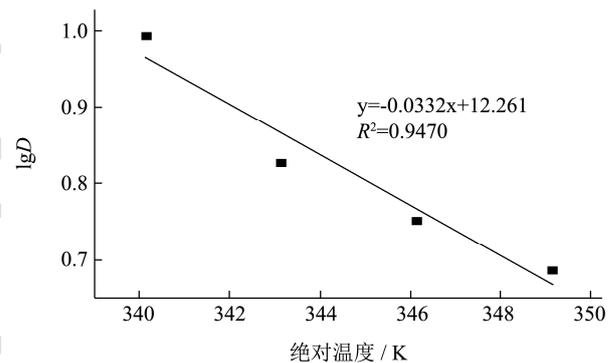


图 8 猪肝蒸煮损失变化 z 值

Fig.8 Curves of z value of changes of cooking loss in pork liver

### 2.3 剪切力变化

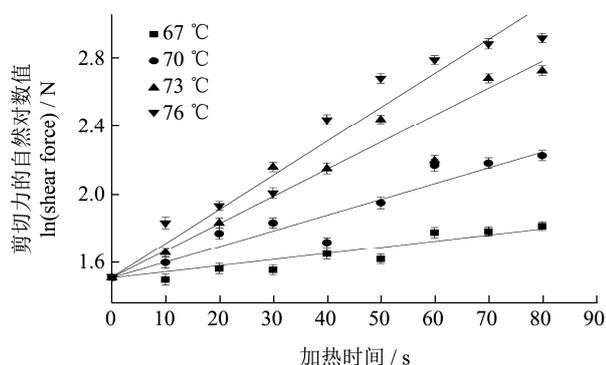


图9 猪肝油炒过程中剪切力变化

Fig.9 Changes of shear force of pork liver in the stir-frying process

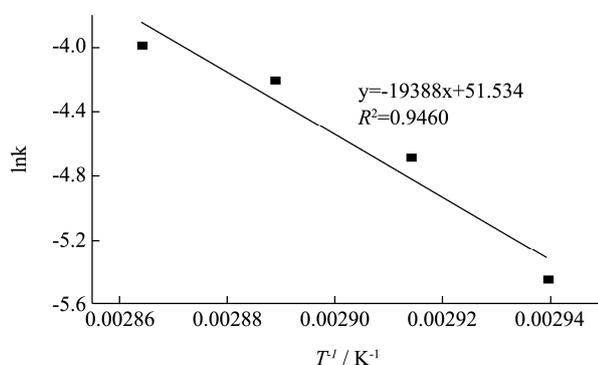


图10 猪肝剪切力变化的 Arrhenius 图

Fig.10 Arrhenius diagram of changes of shear force in pork liver

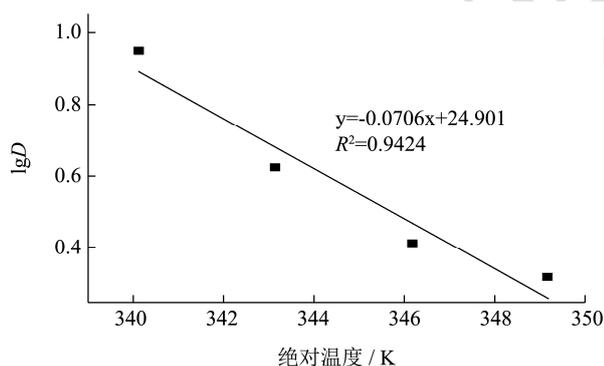


图11 猪肝剪切力变化 z 值

Fig.11 Curves of z value of changes of shear force in pork liver

嫩度是肉制品最重要的品质指标之一，主要由肌肉中各种蛋白质的含量及其化学结构特性所决定。剪切力作为一种客观测量肉类柔软度的指标，能精确反映食品品质变化<sup>[26]</sup>。猪肝在加热过程中剪切力变化情况如图 9 所示，由于肌原纤维蛋白热变性、胶原蛋白收缩和肌球蛋白脱水收缩以及水分流失<sup>[27,28]</sup>，猪肝剪切力随加热时间的延长而增大，温度越高变化越快。

采用最小二乘法对猪肝剪切力变化进行拟合。由

表 3 可知，在油炒过程中猪肝剪切力变化属于一级反应动力学模型。猪肝剪切力变化的活化能  $E_a$  为 160.77 kJ/mol,  $z$  值为 14.16 °C。蛋白质变性活化能在 200~600 kJ/mol<sup>[29]</sup> 范围之内，大于猪肝剪切力活化能，蛋白质加热变性  $z$  值小于猪肝剪切力  $z$  值，说明蛋白质的状态、蒸煮水分损失等原因共同导致猪肝剪切力增大<sup>[30]</sup>。猪肝剪切力  $z$  值小于猪里脊肉剪切力  $z$  值 17.9 °C<sup>[15]</sup>，可能是由于猪肝的蛋白质和水分含量都比猪里脊肉高，加热过程中蛋白质变性收缩与水分流失更剧烈。

### 3 结论

猪肝油炒过程中表征成熟的品质因子（亮度值、红度值、白度值、剪切力）的变化均遵循一级反应动力学模型，其  $z$  值分别为 19.53 °C、20.61 °C、20.20 °C、14.16 °C， $E_a$  值分别为 116.67 kJ/mol、110.40 kJ/mol、112.75 kJ/mol、160.77 kJ/mol。表征过热的品质因子（蒸煮损失）的变化遵循一级反应动力学模型，其  $E_a$  值为 75.63 kJ/mol,  $z$  值为 30.12 °C，过热品质因子的  $z$  值大于成熟品质因子的  $z$  值，符合烹饪操作优化的要求，证明猪肝在油炒成熟过程中存在优化空间，也为猪肝烹饪品质变化的分析和优化研究提供基础参数，后续将在此基础上对猪肝油炒油温、刀工等参数进行工艺优化。

### 参考文献

- [1] 李银塔,陈英乡,位正鹏,等.猪肝酱的加工工艺研究[J].肉类工业,2010,12:26-28  
LI Yin-ta, CHEN Ying-xiang, WEI Zheng-peng, et al. Study on processing technique of pork liver sauce [J]. Meat Industry, 2010, 12: 26-28
- [2] 司马盼盼,张艳.猪肝的营养价值及食用注意事项[J].养猪, 2011,4:75-76  
SIMA Pan-pan, ZHANG Yan. Nutritional value and edible precautions of pork liver [J]. Swine Production, 2011, 4: 75-76
- [3] 王英,李洪军.猪肝的利用现状及开发前景[J].肉类工业, 2004,9:14-16  
WANG Ying, LI Hong-jun. Utilization status and development prospect of pig liver [J]. Meat Industry, 2004, 9: 14-16
- [4] Ling B, Tang J, Kong F, et al. Kinetics of food quality changes during thermal processing: a review [J]. Food and Bioprocess Technology, 2015, 8(2): 343-358
- [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,2013,3:285-292

- DENG Li. Construction of mathematical model for heat and mass transfer of Chinese cooking [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 3: 285-292
- [6] 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
- [7] 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
- DENG Li. Kinetic functions, optimizing model and definition of "Huohou" for Chinese cooking [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(4): 278-284
- [8] 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, 2013, 29(5): 282-292
- [9] 王磊.基于计算流体动力学的肉制品热处理工艺优化[D].贵阳:贵州大学,2018
- WANG Lei. Optimization of heat treatment process of meat products based on computational fluid dynamics [D]. Guiyang: Guizhou University, 2018
- [10] 徐嘉.中式烹饪油炒火候原理初探[D].贵阳:贵州大学,2019
- XU Jia. A preliminary study on the principle of the control of cooking time of stir-frying processing in Chinese cuisine [D]. Guiyang: Guizhou University, 2019
- [11] 汪孝.中式烹饪优化原理的初步验证[D].贵阳:贵州大学, 2017
- WANG Xiao. Preliminary validation of the optimization principle for Chinese cuisine [D]. Guiyang: Guizhou University, 2017
- [12] Koohmaraie M, Geesink G H. Contribution of postmortem muscle biochemistry to the delivery of consistent meat quality with particular focus on the calpain system [J]. Meat Science, 2006, 74(1): 34-43
- [13] Khan M I, Jo C, Tariq M R. Meat flavor precursors and factors influencing flavor precursors: a systematic review [J]. Meat Science, 2015, 110: 278-284
- [14] Vaskoska R, Ha M, Naqvi Z B, et al. Muscle, ageing and temperature influence the changes in texture, cooking loss and shrinkage of cooked beef [J]. Foods (Basel, Switzerland), 2020, 9(9): 1-19
- [15] 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
- YU Bing-yan, DENG Li, LI Wen-xin. et al. Study on the kinetics of quality changes of pork loin during the heat transfer process of oil frying [J]. Food and Machinery, 2018, 34(4): 48-53
- [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
- TIAN Wei, XU Yao-run. The relationship of the Arrhenius model and z-value model [J]. Journal of Tianjin University of Light Industry, 2000, 4: 1-6
- [17] Young O A. West Science and Application [M]. New York: Marcel Dekker Press, 2001: 39-66
- [18] Ohlsson T. Temperature dependence on sensory quality changes during thermal processing [J]. Journal of Food Science, 1980, 45(4): 836-839
- [19] 石宇,邓力,谢乐,等.西式火腿煮制过程中品质变化动力学研究[J].食品与机械,2019,35(7):45-50
- SHI Yu, DENG Li, XIE Le, et al. Study on the dynamics of quality changes in the process of western-style ham cooking [J]. Food and Machinery, 2019, 35(7): 45-50
- [20] 周厚源,李沛生,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
- ZHOU Hou-yuan, LI Bian-sheng, RUAN Zheng, et al. Kinetics of chicken wing quality changes during thermal processing [J]. Food and Fermentation Industries, 2013, 39(8): 68-75
- [21] 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
- WU Liang-liang, LUO Rui-ming, KONG Feng, et al. Effect of cooking loss, tenderness and water distribution of Tan sheep at different cooking time treatment [J]. Food and Machinery, 2016, 32(4): 19-23
- [22] 刘晶晶,张松山,谢鹏,等.不同中心温度对牛肉胶原蛋白特性及嫩度的影响[J].现代食品科技,2018,34(3):68-76
- LIU Jing-jing, ZHANG Song-shan, XIE Peng, et al. Effects of different center temperature on the collagen properties and tenderness in beef [J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(3): 68-76
- [23] 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