

# 工厂实测冷却分割鸡胸肉生产过程中菌落总数的变化及货架期预测模型的建立

董飒爽<sup>1</sup>, 李传令<sup>2</sup>, 赵改名<sup>1</sup>, 王宇栋<sup>2</sup>, 高晓平<sup>1</sup>, 刘彬<sup>2</sup>, 孙梅英<sup>2</sup>, 林刘涛<sup>2</sup>, 李苗云<sup>1</sup>, 黄现青<sup>1</sup>

(1. 河南农业大学食品科学技术学院, 河南省肉制品加工与质量安全控制重点实验室, 河南郑州 450002)

(2. 河南永达清真食品有限公司, 河南安阳 456150)

**摘要:** 本文研究了冷却鸡肉工厂实际分割生产线和工艺对冷却分割鸡胸肉菌落总数的影响, 探究了不同贮藏温度(0、4、7、10、15、20、25℃)下冷却分割鸡胸肉菌落总数的变化, 对4℃贮藏的冷却分割鸡胸肉的菌落总数、假单胞菌、pH、TVB-N、感官进行相关性分析, 确定腐败限量, 并结合 logistic 动力学一级模型和 Belchradek 二级模型, 建立不同温度下冷却分割鸡胸肉货架期预测模型。结果表明: 冷却鸡胸肉本身携带微生物并不多, 二次污染是导致产品微生物增加的主要原因。预测冷却分割鸡胸肉的腐败限量的菌落总数是 5.78 log (cfu/g), 冷却分割鸡胸肉的最大比生长速率和延滞时间与贮藏温度呈良好的线性关系, 模型的 R<sup>2</sup> 在 0.94 以上, 残差值的绝对值小于 0.06。对 4、7、10℃贮藏条件下的冷却鸡胸肉的货架期预测模型进行验证, 相对误差在 10%左右, 说明该模型能很好的预测冷却分割鸡胸肉的剩余货架期。

**关键词:** 工厂实测; 冷却鸡胸肉; 菌落总数; 货架期模型预测; 动力学模型

文章编号: 1673-9078(2016)8-183-190

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.8.028

## Changes in Total Colony Count during Production of Chilled Chicken

### Breasts: On-site Tests and Establishment of Shelf-life Prediction Model

DONG Sa-shuang<sup>1</sup>, LI Chuan-ling<sup>2</sup>, ZHAO Gai-ming<sup>1</sup>, WANG Yu-dong<sup>2</sup>, GAO Xiao-ping<sup>1</sup>, LIU bin<sup>2</sup>,  
SUN Mei-ying<sup>2</sup>, LIN Liu-tao<sup>2</sup>, LI Miao-yun<sup>1</sup>, HUANG Xian-qing<sup>1</sup>

(1. Henan Meat Processing and Quality Safety Control Engineering Technology Research Center, College of Food Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China) (2. Henan Yong Da Islamic Food Co. Ltd., Anyang 456150, China)

**Abstract:** The processing of chicken in plants is a source of potential contamination. The effects of the production line and the processes used to cut chilled chicken on the total colony count of chilled chicken breasts were examined. The changes in the total colony count of chilled chicken breasts at storage temperatures of 0, 4, 7, 10, 15, 20, and 25 °C were explored. Correlation analysis was conducted on the total colony count, pseudomonas count, pH, total volatile basic nitrogen, and sensory quality to determine putrefaction limitation. Logistic first-order kinetic models and Belchradek secondary square-root models were used to build shelf-life prediction model for chilled chicken breasts under differing temperatures. The results showed that chilled chicken breasts carried a small number of microbes and that secondary pollution was the main reason for the increase in the number of microbes. The limit of total colony count when predicting putrefaction of chilled chicken breasts was 5.78 log(cfu/g). The maximum specific growth rate of the microorganisms in chilled chicken breasts showed a linear relationship with lag time and storage temperature; the R<sup>2</sup> value and absolute residue value of the models were above 0.94 and below 0.06, respectively. The shelf-life prediction model of chilled chicken breasts stored at 4, 7, and 10 °C were validated, and the relative error was approximately 10%, indicating that this model can accurately predict the remaining shelf-life of chilled chicken breasts.

**Key words:** on-site tests; chilled chicken breasts; total colony count; shelf-life prediction model; kinetic model

收稿日期: 2016-02-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(U1504331; 31401511)

作者简介: 董飒爽(1990-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工与贮藏

通讯作者: 黄现青(1977-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 肉品科学

冷却鸡肉是指活禽经检疫合格屠宰后迅速冷却, 其胴体中心温度保持在 0~4℃, 且在加工、流通和零售过程中始终保持在 0~4℃的温度范围的鲜鸡肉<sup>[1]</sup>。冷却肉因味美肉嫩、安全卫生的优点受到广大消费者喜爱<sup>[2]</sup>。有关冷却肉的工厂调查和货架期预测的研究

已发展很多年,其中周光宏<sup>[3]</sup>等人发现,新鲜的猪肉加工过程中微生物的交叉污染较为严重,不同的屠宰工艺点和分割车间的操作对胴体造成二次污染。Blagojevic B<sup>[4]</sup>等人发现在冷却猪肉和牛肉屠宰过程中微生物污染是新鲜肉被污染的开端,而肉品屠宰过程中的致病菌(沙门、大肠等)对产品的污染具有广泛性和复杂性,加大了人畜共患病的危害性。顾海宁<sup>[5]</sup>等人研究了冷却猪肉贮存中的品质变化及货架期预测。刘莹莹<sup>[6]</sup>等人研究了冷却羊肉贮藏中品质变化及假单胞菌生长预测模型的建立。分割鸡胸肉在实际生产过程中工人手、刀具、案板、电子秤、传送带等主要接触物的微生物变化,操作工艺不当等都可能对产品带来二次污染。冷却分割鸡胸肉被微生物二次污染后,其产品安全性和货架期也将随之变化。而微生物预测模型的应用对整个食品安全管起到了重要的推动作用<sup>[7]</sup>,因此对冷却分割鸡胸肉进行工厂实测很重要。货架期部分的研究很多文献的采样方法是从工厂或商超取样后带回学校实验室冰箱贮藏,再进行实验。其研究结论虽有一定的参考价值,但这种采样方式在运输过程中对产品产生微生物污染是不可避免的,难以真实预测产品剩余货架期。

目前,对冷却鸡胸肉工厂实际生产调查的研究尚欠缺。本研究为工厂生产现场实测,地点为河南某企业肉类屠宰加工厂。由于其工艺流程和主要设备与国内大部分屠宰加工厂相同或相似,工厂调查实验的取样均在生产现场进行,且与生产过程同步。货架期预测实验每次取样都保证冷却鸡胸肉胴体中心温度为0~4℃,并及时送往厂区中心实验室进行检测,实验结果具有较强的代表性。因此,对冷却鸡胸肉在屠宰和分割过程中微生物的污染状况进行调查,可为工厂制定切实可行的生产章程提供理论依据;利用微生物生长动力学模型对冷却鸡胸肉在不同的温度下贮藏的货架期进行预测,可准确判断产品的品质和安全性。因此,本研究能保证实验数据真实反应生产实际情况,对企业的实际生产和销售具有非常重要的指导意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料和主要仪器设备

#### 1.1.1 材料

本实验所用样品和环境取样条件由河南省安阳市河南永达清真食品有限公司屠宰分割车间提供。从冰鲜库取冷却好的鸡胸肉(中心温度达到4℃),取样后将样品置于放有冰块的保温箱内,并在30min内送检。

#### 1.1.2 主要仪器设备

SW-CJ-2F 双人单面敞开式超净台,吴江市永丰净化有限公司;SHP-80 生化培养箱,北京中兴伟业仪器有限公司;SILVER 均质器,上海德记行科技发展有限公司;LMQ.C-80E 立式灭菌锅,山东新华医疗器械股份有限公司;TESTO205 便携式 pH 计,上海良表仪器仪表有限责任公司;LRH-CL100 低温培养箱,上海恒一科学仪器有限公司;K 9840 自动凯氏定氮仪,济南海能;202-1AB 电热恒温干燥箱,北京中兴伟业仪器有限公司。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 样品处理

该屠宰加工企业正常生产日运行的生产线上对冷却鸡胸肉的主要接触物(工人手、刀具、案板、电子秤表面每30min取一次样、传送带每1h取一次样)、对空气、地面、墙壁、洗刷水、消毒水、82℃热水(浸泡刀具)随机取样,不同的工艺点(掏脏、喷淋、冷却)胴体鸡胸肉表面等,采用25cm<sup>2</sup>取样器置于取样处,用3M涂抹棒在取样器范围内反复擦拭3次,使棉球在取样器内擦拭全面。在分割生产线上随机取分割前后的鸡腿肉、鸡胸肉各五只样品,放入无菌取样袋中。从冰鲜库取冷却好的鸡胸肉(中心温度达到4℃),在无菌操作室内进行托盘包装好后分别放置在0℃、4℃、7℃、10℃、15℃、20℃、25℃的环境下贮藏,并分别每隔24h、12h、10h、8h、6h、3h、2h进行取样。同时,对4℃贮藏的鸡胸肉进行pH值、TVB-N值、感官、细菌总数和假单胞菌进行测定,确定菌落总数与主要腐败菌、TVB-N的相关性,以菌落总数为指标建立数学模型,确定冷却鸡胸肉的最小腐败限量。每个样品做3个平行。

#### 1.2.2 pH值测定

采用GB/T 9695.5-2008,《肉与肉制品pH测定》规定的方法。

#### 1.2.3 TVB-N值测定

参照GB/T 5009.44-2003 半微量定氮法测定。

#### 1.2.4 感官评定

依据GB 2707-2005《鲜、冻肉卫生标准》,由感官评定小组(8人)在感官评定室内对样品的色泽、黏度、气味、弹性等方面进行综合评价<sup>[8]</sup>。评定时各感评人员之间不相互交流,单独进行。

#### 1.2.5 细菌总数的测定

参照SN/T 1897-2007《食品中菌落总数的测定 Petrifilm TM 测试片法》测定。

#### 1.2.6 假单胞菌的测定

按一定的取样时间取相应的样品 25.00±0.05 g, 在无菌操作室内用剪刀剪碎放入无菌均质袋中, 加入 225 mL 灭菌生理盐水, 用均质机拍打 120 s。然后, 按 1:10 的递增稀释倍数稀释 3 个合适的稀释度。每组样品做 3 个平行, 用假单胞菌选择性培养基 (oxid) 进行微生物测定, 放置在 25 °C 培养箱中培养 48 h, 然后计数<sup>[9]</sup>。

### 1.2.7 微生物生长模型的建立及剩余货架期预测

将贮藏于 0 °C、4 °C、7 °C、10 °C、15 °C、20 °C、25 °C 的环境下的冷却分割鸡胸肉, 分别每隔 24 h、12 h、10 h、8 h、6 h、3 h、2 h 进行取样, 所测的菌落总数实验数据, 用 Logistic 方程描述不同温度下的菌落总数生长动态, 可计算出微生物的迟滞期、比生长速率和最大菌落数<sup>[10]</sup>。Logistic 生物学意义模型的数学方程如式 (1) 所示。

$$\log N(t) = \log N_0 + A / \{1 + \exp[4U/A \times (M-t) + 1]\} \quad (1)$$

式中,  $N(t)$  是在时间  $t$  时的微生物量;  $N_0$  是初始菌数;  $A$  是  $t \rightarrow \infty$  时的  $\log N/N_0$ , 即当  $N$  达到最大时所对应的值;  $U$  是生长速率 ( $h^{-1}$ );  $M$  是达到相对最大生长速率所需要的时间/h。最大生长速率  $B=U \times e/A$ ,  $e=2.7182$ , 迟滞期  $LPD=M-(1/B)$ 、最大菌数 ( $MPD=\log N_0+A$ )<sup>[11]</sup>。

#### 1.2.7.1 二级模型的建立

二级模型是反映一级模型中生长速率、迟滞期与温度之间的函数关系。有 Belchradek 模型 (平方根模型)、Arrhenius 方程和响应面模型三种模型。其中, Arrhenius 方程和响应面模型应用复杂, 在运用中可能会导致错误的预测, 二者对多种因素共同影响微生物的生长运用更

$$SL = \lambda - \log(N_{max} / N_0) / 2.718 U_{max} \times \{\ln[-\ln(\log(N_s / N_0)) / \log(N_{max} / N_0)] - 1\} \quad (6)$$

分别取冷却分割鸡胸肉贮藏于 4 °C、7 °C、10 °C 时的货架期的实测值和预测值, 用两者的相对误差值进行判定货架期公式的精确度<sup>[9]</sup>。相对误差公式如 (7) 所示。

$$\text{相对误差}/\% = |SL_{\text{预}} - SL_{\text{实}}| / SL_{\text{实}} \quad (7)$$

#### 1.2.8 统计分析

应用数据处理软件 Origin 8.0 做线性回归方程, SPSS 13.0 统计软件进行方差分析和相关性分析。利用 MATLAB 7.10 软件对货架期实验数据进行拟合, 采用 Adjusted R-square、SSE、RMSE、Residuals 为依据, 选取合适的模型方程进行拟合。

## 2 结果与讨论

### 2.1 生产车间冷却鸡胸肉菌落总数变化情况

有效。而 Belchradek 模型参数单一, 使用简单, 能够很好的预测单因素条件下微生物的生长情况。因此, 在二级模型的选择上, 更多的使用此模型<sup>[13]</sup>。其方程式如 (2) 和 (3) 所示。

$$\sqrt{U_{max}} = b_u \times (T - T_{min}) \quad (2)$$

$$\sqrt{1/\lambda} = b_\lambda \times (T - T_{min}) \quad (3)$$

式中,  $b_u$  和  $b_\lambda$  为常数,  $T$  为贮藏温度/°C,  $T_{min}$  为微生物没有代谢活动时的最低温度。

#### 1.2.7.2 模型验证

菌落总数生长动力学模型求得的 4 °C 和 10 °C 贮藏时的预测值与实验在此温度下的实测值进行比较, 利用偏差度 (bias factor, Bf) 和准确度 (accuracy factor, Af) 来判定菌落总数生长动力学模型的精确度<sup>[9]</sup>。Af 和 Bf 用方程 (4) 和 (5) 表示。

$$A_f = 10^{[\sum |N_{\text{预测}} - N_{\text{实测}}|] / n} \quad (4)$$

$$B_f = 10^{[\sum (N_{\text{预测}} - N_{\text{实测}})] / n} \quad (5)$$

式中,  $n$  是实验次数,  $N_{\text{预测}}$  为方程的预测值,  $N_{\text{实测}}$  为实际测得值。

#### 1.2.7.3 剩余货架期预测及验证

由 Logistic 方程得到冷却分割鸡胸肉在不同温度条件下贮藏时的初始菌数 ( $N_0$ )、最大比生长速率 ( $U_{max}$ )、迟滞期 ( $LPD, \lambda$ )、最大菌落数  $N_{max}$  和最小腐败限量 ( $N_s$ ), 由此可推导出货架期 (Shelf-life, SL) 预测模型<sup>[10]</sup>:

#### 2.1.1 分割过程中主要接触物微生物污染情况

冷却鸡胸肉分割过程中, 主要接触物表面和分割车间环境微生物污染增殖情况如图 1、图 2 和表 1 所示。由图 1 可知, 分割线上传送带表面微生物数量随着生产时间的延长而发生变化。清洗消毒之后工作 1 h 之内增长较为迅速, 随后增长缓慢, 3 h 后达到最大值。随后工人进行午休, 车间进行整体喷雾消毒, 传送带表面微生物数量下降。由图 2 可知, 刀具、案板、工人手经过上个班次工作结束后进行清洗消毒, 然后进入到下个班次工作时, 其初始微生物数量较高, 电子秤初始微生物数量相对较低, 说明车间在班次交接时消毒工作存在漏洞。随着工作时间的延长主要接触物表面微生物变化较为复杂, 预冷结束后的鸡胸肉表面微生物数量明显低于主要接触物工作过程中的微生物数量, 且主要接触物在工作过程中与鸡胸肉紧密接触,

其表面微生物数量较高,可能对分割鸡胸肉带来二次污染。从表1中可知,分割车间环境微生物卫生状况控制较好,对分割冷却鸡胸肉的污染较弱。

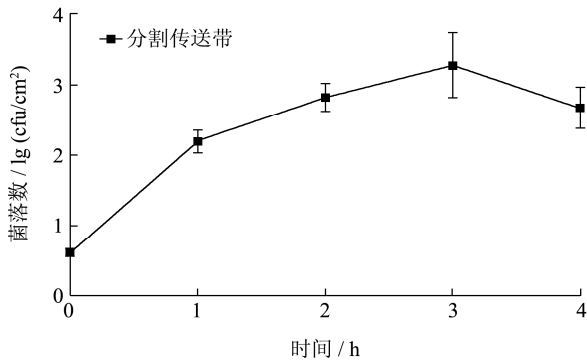


图1 传送带微生物污染情况

Fig.1 Microbial contamination of the conveyor belt

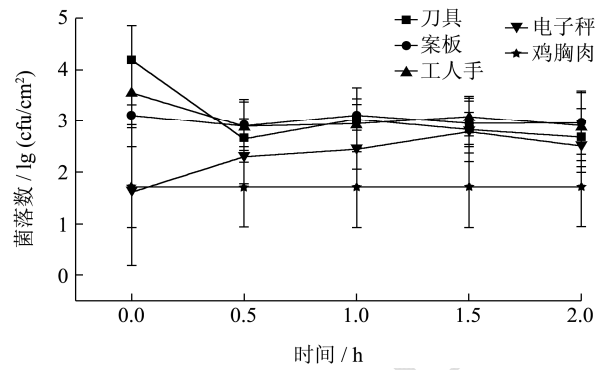


图2 刀具、案板、工人手、电子秤表面和预冷后鸡胸肉表面微生物污染情况

Fig.2 Microbial contamination of the surfaces of cutter, chopping board, worker's hand, electronic scale, and after precooling chicken breast

表1 分割车间环境微生物污染情况

Table 1 Environmental microbial contamination of segmenting workshop

项目	空气 /(CFU/皿)	地面 /log(CFU/cm <sup>2</sup> )	墙壁 /log(CFU/cm <sup>2</sup> )	洗刷水 /log(CFU/mL)	消毒水 /(CFU/mL)	82 °C水 /(CFU/mL)
结果	<19.00±0.05	<3.90±0.02	<0.70±0.06	<3.90±0.04	未检出	≤8.00±12

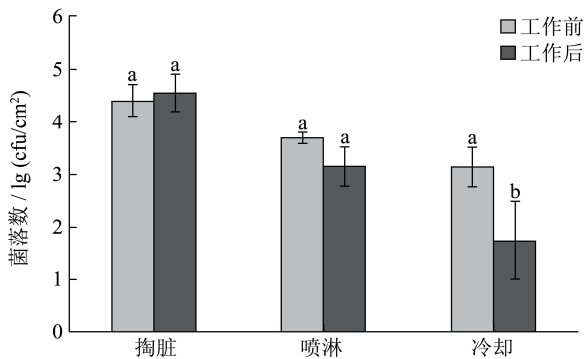


图3 不同的工艺点冷却鸡胸肉表面微生物污染情况

Fig.3 Microbial contamination of the surfaces of chilled chicken breast during different processing steps

注: 图中上标字母相同表示差异不显著, 字母不同表示差异显著; 0.01<p<0.05 差异显著, p<0.01 差异极显著, 下同。

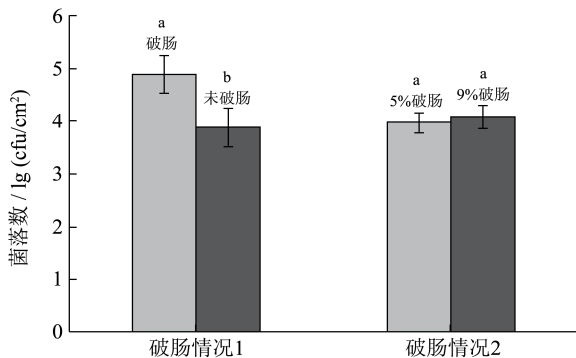


图4 掏脏破肠情况对冷却鸡胸肉表面微生物污染

Fig.4 Microbial contamination of chilled chicken breast during the removal of viscera

### 2.1.2 冷却鸡胸肉表面微生物污染情况

图3表示不同的生产工艺点处理前后对产品的微生物污染有所不同。由图3可知,掏脏工艺点较喷淋、冷却的微生物数量高,且掏脏后微生物数量较掏脏前增加。由图4可知,掏脏环节的破肠率9%的鸡胸肉微生物数量稍高于破肠率5%的鸡胸肉,而破肠鸡胸肉表面微生物数量明显高于未破肠的,因此,肠道破损会导致产品之间的交叉污染;喷淋后的微生物数量低于喷淋前的,喷淋工艺可适当减少微生物污染;冷却后的菌落总数明显低于冷却前的,说明冷却工艺点对产品微生物控制非常重要。

### 2.1.3 分割肉微生物污染情况

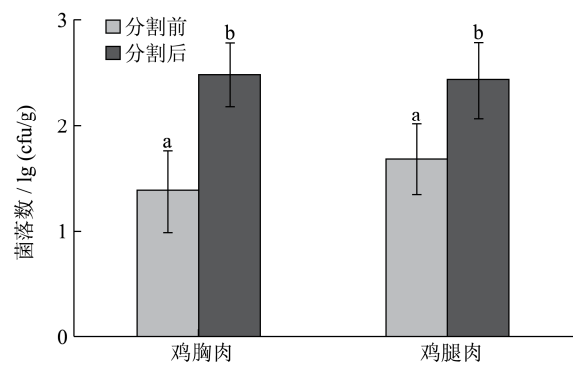


图5 冷却鸡胸(腿)肉分割肉微生物污染情况

Fig.5 Microbial contamination during segmentation of chilled chicken breasts or thighs

图5表示分割前后对冷却鸡胸(腿)肉的微生物的影响。在生产线上对分割前后的鸡胸肉和鸡腿肉进

行随机取样。由图 5 可知,分割后的鸡胸(腿)肉的微生物数量明显高于分割前。由上述实验中的主要接触物及不同的生产工艺点对冷却鸡胸肉的微生物影响,说明整个生产过程对冷却分割鸡胸肉有二次污染,建议企业加强对生产环节的微生物控制。

## 2.2 冷却鸡胸肉在不同贮藏温度条件下微生物的生长动力学模型和货架期预测

### 2.2.1 冷却鸡胸肉在 4 °C 贮藏时的各品质变化

表 2 冷却鸡胸肉在 4 °C 贮藏时的各品质变化

Table 2 Quality changes in chilled chicken breasts during storage at 4 °C

测定指标	贮藏时间/h							
	0	12	24	36	48	60	72	84
颜色	浅黄有光泽	浅黄有光泽	浅黄有光泽	浅黄有光泽	浅黄有光泽	浅黄有光泽	浅黄暗光泽	浅灰无光泽
质地(肉表面)	湿润	湿润	湿润	湿润	湿润	湿润	湿润	湿润
气味	正常肉腥味	正常肉腥味	正常肉腥味	正常肉腥味	正常肉腥味	正常肉腥味	正常肉腥味	有异味
假单胞菌 /log(cfu/g)	2.04±0.06	2.45±0.20	2.66±0.43	3.00±0.056	3.75±0.02	4.12±0.01	4.87±0.17	5.18±0.04
菌落总数 /log(cfu/g)	3.50±0.18	3.77±0.04	3.80±0.16	4.28±0.12	4.42±0.27	5.52±0.09	5.78±0.69	6.39±0.02
TVBN/(mg/100 g)	14.60±0.82	14.98±0.93	15.79±0.27	16.55±0.60	17.50±0.77	18.44±0.81	19.39±0.47	20.27±0.80

### 2.2.2 腐败限控量的确定

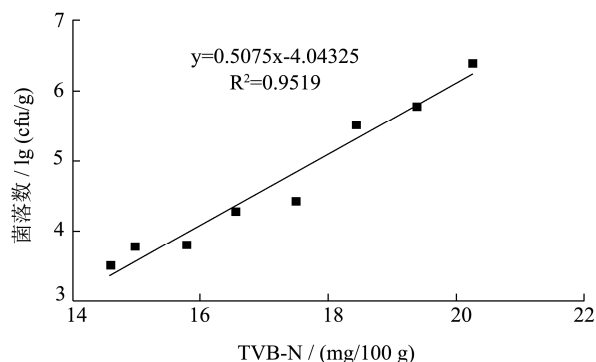


图 6 4 °C 菌落总数与 TVB-N 的线性关系

Fig.6 Relationship between total colony count and TVB-N at 4 °C

最小腐败限控量是指产品腐败至达到感官拒绝时的菌落数量 log(cfu/g),根据菌落总数与 TVB-N 的相关性研究发现,二者相关性最大。将菌落总数与 TVB-N 进行线性回归(如图 6),建立了菌落总数(Y, log(cfu/g))与 TVB-N (X, mg/100 g)方程,  $y=0.5075x-4.04325$ , 其中  $R^2=0.9519$ ,  $RSS=0.3315$ , 说明二者之间的线性回归关系极显著。由表 2 可知,当冷却鸡胸肉由肉腥味变明显臭味时,菌落总数从 5.78log(cfu/g)增加到 6.39log(cfu/g),TVB-N 值由 19.39 mg/100 g 增加到 20.27 mg/100 g,当 TVB-N 值 > 20 mg/100 g 时,肉品已经变质。综合分析,将 5.78 log(cfu/g)作为腐败限控量。

### 2.2.3 菌落总数与各品质指标的相关性分析

表 3 4 °C 下冷却鸡胸肉各品质指标的 Pearson 相关系数

Table 3 Pearson correlation coefficient of chilled chicken breast quality index at 4 °C

	菌落总数	TVB-N	pH	假单胞菌
菌落总数	1.000	0.980**	-0.014	0.975**
TVB-N		1.000	-0.056	0.995**
pH			1.000	-0.005
假单胞菌				1.000

注: \*\*表示在 0.01 水平上极显著相关, \*表示在 0.05 水平上显著相关。

冷却鸡胸肉在 4 °C 下微生物指标和理化指标随着贮藏时间的延长而不断的变化,从表 3 中可以看出,菌落总数与 TVB-N 值、假单胞菌在 0.01 水平上极显著相关且相关系数都在 0.975 以上,pH 值与菌落总数、TVB-N 值、假单胞菌均无相关性。可知菌落总数在一定程度上可以反映冷却鸡胸肉的腐败状况,从而确定将菌落总数作为建模的指标。

### 2.2.4 不同温度动力学模型的建立及验证

#### 2.2.4.1 一级模型的拟合

图 7 表示冷却鸡胸肉贮藏在不同的温度下拟合的菌落总数的一级模型。利用 MATLAB 软件绘制了冷却鸡胸肉在不同的温度条件下的生长曲线,从图 7 中可以看出该模型能很好的拟合菌落总数在不同温度下贮藏时的生长情况,生长呈 S 型曲线。温度对菌落总数有重要的影响,随着温度的升高,生长速率明显提高。随着温度的降低,延滞时间不断延长。从表 4 可

知, 0 °C、4 °C、7 °C、10 °C、15 °C、20 °C、25 °C 下拟合的方程的  $R^2$  均在 0.96 以上, 且 SSE、RMSE、

Residuals 均较小, 说明各个温度下方程的拟合度均较好。

表 4 冷却鸡胸肉在不同温度贮藏条件下菌落总数生长的动力学参数

Table 4 Kinetic parameters of total bacterial growth in chilled chicken breasts at different storage temperatures

温度/°C	$N_0/\lg(\text{cfu/g})$	$U_{\max}/\text{h}^{-1}$	$1/\lambda/\text{h}$	RMSE	SSE	Residuals	Adjusted R-square
0	2.6846	0.0172	0.0068	0.2326	0.2706	0.0781	0.9642
4	3.4958	0.0594	0.0254	0.1755	0.1541	0.4275	0.9732
7	2.2672	0.0359	0.0424	0.1649	0.1903	0.3938	0.9850
10	2.7969	0.0917	0.0614	0.2519	0.4443	0.8162	0.9729
15	2.5079	0.0912	0.1075	0.1049	0.0769	0.1874	0.9956
20	1.9820	0.0973	0.1786	0.3200	0.7169	0.7589	0.9641
25	2.2727	0.1435	0.3155	0.2478	0.6140	0.5130	0.9758

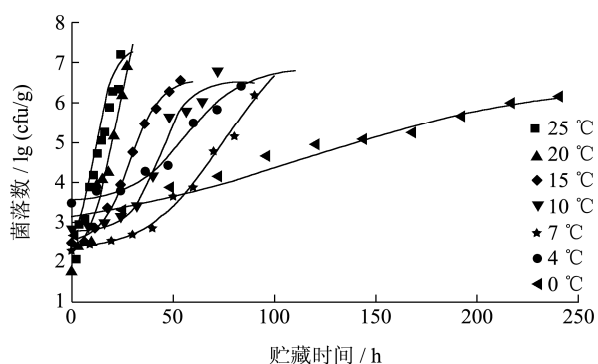


图 7 冷却鸡胸肉在 0 °C、4 °C、7 °C、10 °C、15 °C、20 °C、25 °C 下贮藏时菌落总数的生长动力学曲线

Fig.7 Kinetics curves of total bacterial growth in chilled chicken breasts stored at 0, 4, 7, 10, 15, 20, and 25°C

2.2.4.2 二级模型的拟合

图 8、图 9 为所求得的菌落总数在不同温度下的比生长速率和迟滞期。利用 MATLAB 统计软件, 拟合比生长速率-温度 ( $U^{1/2}$ -T) 曲线, 得到二级模型, 温度与生长速率的关系:  $U^{1/2}=0.01544(T+10.66)$ ;  $R^2=0.9407$  和迟滞期与生长速率的关系:  $1/\lambda^{1/2}=0.01828(T+4.122)$ ;  $R^2=0.9855$ 。从图 8 和图 9 可知, 二级模型的残差值分布都较集中, 且围绕残差等于零的直线上下随机分布, 这说明回归曲线对原观测值的拟合情况良好。平方根模型能很好的拟合不同温度下菌落总数的生长速率和迟滞期, 具有良好的线性关系。

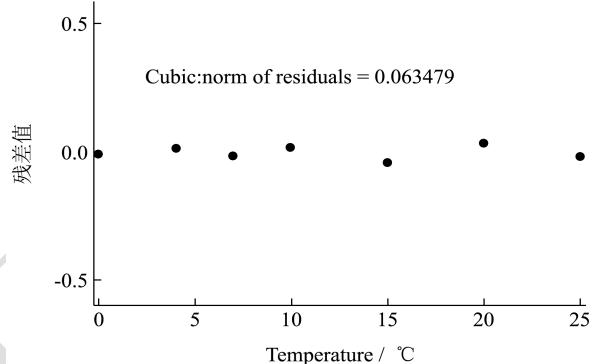
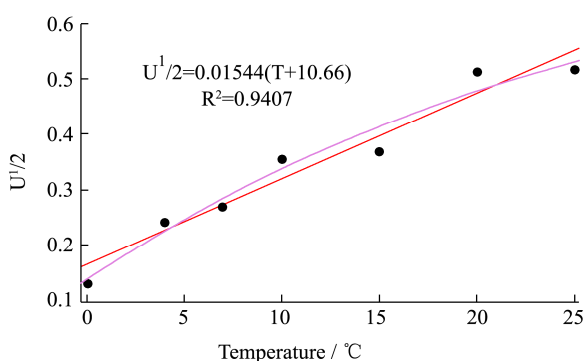


图 8 温度与生长速率的关系及残差图

Fig.8 Residual plot of the relationship between temperature and growth rate

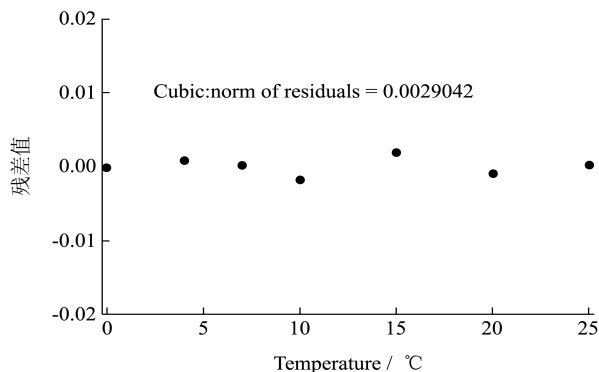
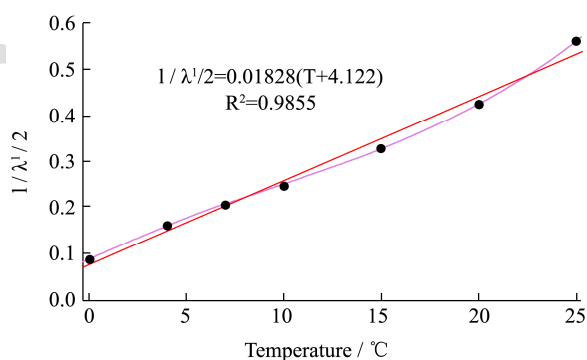


图 9 温度与迟滞期的关系及残差图

Fig.9 Residual plot of the relationship between temperature and lag phase

## 2.2.4.3 恒定温度下动力学模型的验证

表5 冷却鸡胸肉在4℃和10℃贮藏时微生物数量预测值的准确度和偏差度

Table 5 Accuracy and deviation of microbial predictive values during the storage of chilled chicken breasts at 4℃ and 10℃

贮藏温度/℃	实验次数(n)	偏差度(B <sub>f</sub> )	准确度(A <sub>f</sub> )
4	5	1.0931	1.0931
10	7	0.9692	1.0318

注:  $B_f = 10^{[\sum (N_{\text{预测}} - N_{\text{实测}})]/n}$ ,  $A_f = 10^{[\sum |N_{\text{预测}} - N_{\text{实测}}|]/n}$ .

表5表示的是冷却鸡胸肉在4℃和10℃贮藏时微生物数量预测值的准确度和偏差度。由表5可知,冷却鸡胸肉在4℃和10℃贮藏时微生物数量预测值上

$$SL = 1/[0.01828(T + 4.122)]^2 - [(6.8620 - \log N_0)/[0.01544(T + 10.66)]^2 \times 2.718] \times \{\ln[-\ln(5.78 - \log N_0)/(6.8620 - \log N_0)] - 1\}$$

## 2.2.5.1 恒定温度下预测货架期的验证

表6 冷却鸡胸肉在4℃、7℃和10℃贮藏时货架期的预测值和实测值

Table 6 Accuracy and deviation of shelf life predictive values during the storage of chilled chicken breasts at 4℃, 7℃, and 10℃

贮藏温度/℃	SL 预/h	SL 实/h	相对误差/%
4	86	84	2.38
7	77	80	3.75
10	49	56	12.50

注: 相对误差/% = |SL 预 - SL 实| / SL 实。

表6是冷却鸡胸肉在4℃、7℃和10℃贮藏时,货架期预测值和实测值的比较。由表6可知,4℃、7℃和10℃预测值和实测值的相对误差均在10%左右。本研究结果较李苗云<sup>[9]</sup>等人研究的生鲜鸡肉在10℃和15℃贮藏时,其剩余货架期的预测值和实测值的相对误差分别为-20.8%和-10.5%及丁婷<sup>[10]</sup>等人基于Belehradek方程所建的冷藏三文鱼片剩余货架期模型相对误差在±18.9%的研究结果更为准确可靠。

## 3 结论

3.1 冷却肉本身携带微生物并不多,二次污染是导致产品微生物增加的主要原因,影响产品的质量。主要接触物刀具、工人手、案板30 min之内呈现变化趋势,从图2中可以看出,这些接触物初始菌落均较高,说明车间消毒工作进行不彻底。建议企业改善分割工艺中的操作流程:刀具、工人手每0.5 h清洗一次,案板(单面)每1 h清洗一次,电子秤每1.5 h清洗一次,传送带每3 h清洗一次,刀具和案板残留的污物和碎肉应及时清理,避免二次污染对产品带来的影响。

3.2 生产分割过程中,不同的工艺点微生物污染状况

下波动的幅度为10%左右,预测值和实测值之间的差异即A<sub>f</sub>介于10%左右,表示误差较低,建立的动力学模型能很好的预测菌落总数在4℃和10℃下的生长动态。

## 2.2.5 货架期预测模型的建立

根据建立的菌落总数生长动力学模型,我们已经知道菌落总数的 $N_s = 5.78 \log(\text{cfu/g})$ ,最大菌落数 $N_{\text{max}} = 6.86 \log(\text{cfu/g})$ ,因此,只要实时测定冷却鸡胸肉的菌落总数 $N_0$ ,就可以根据方程(2)、(3)和(6)计算出冷却鸡胸肉在0~25℃中某温度下的剩余货架期,公式如下:

不相同。冷却前后鸡胸肉表面微生物污染数量有显著性差异,而掏脏前后、喷淋前后鸡胸肉表面微生物数量并不显著,说明这两个工艺点交叉污染均较为严重,应控制掏脏破损率,尽可能减少对产品的污染。喷淋前后无差异,要考虑这个工艺点的喷淋实际效果及工艺点存在的意义。对分割前后的鸡胸肉和鸡腿肉进行微生物分析,分割前后的鸡胸肉和鸡腿肉有显著差异。说明分割过程对鸡肉本身带来了二次污染。

3.3 冷却鸡胸肉在4℃贮藏过程中,菌落总数和假单胞菌在0.01水平上高度相关,且从实际生产考虑,菌落总数测定操作简便,结果准确,成本相对较低。因此,确定将菌落总数做为建模的指标,具有实际的生产意义。对恒定温度下的冷却鸡胸肉建立菌落总数的一级模型(logistic方程)和平方根二级模型的拟合度R<sup>2</sup>在0.94以上,能很好的拟合不同温度下菌落总数的生长速率和迟滞期,具有良好的线性关系。

3.4 建立了冷却鸡胸肉剩余货架期方程,只要知道冷却鸡胸肉贮藏时的初始菌落和贮藏温度条件,该货架期的菌落总数动力学模型就可以快速可靠的预测0~25℃贮藏的剩余货架期,对实际生产具有重要的指导意义。

## 参考文献

- [1] 白云,吴亨,林莹.冷却鸡肉加工工艺微生物控制及保鲜防腐的研究[J].食品科技,2015,8:122-127
- BAI Yun, WU Heng, LIN Ying. Microorganism control, fresh-preserving and antiseptic in cooling chicken machining process [J]. Food Science and Technology, 2015, 8: 122-127
- [2] Tang X Y, Sun X H, Xie J, et al. Predicting shelf-life of chilled pork sold in China [J]. Food Control, 2013, 32(1): 334-340



- [3] Zhou G, Zhang W, Xu X. China's meat industry revolution: challenges and opportunities for the future [J]. *Meat Science*, 2012, 92(3):188-196
- [4] Blagojevic B, Antic D. Assessment of potential contribution of official meat inspection and abattoir process hygiene to biological safety assurance of final beef and pork carcasses [J]. *Food Control*, 2014, 36(1): 174-182
- [5] 顾海宁,李强,李文钊,等.冷却猪肉贮存中的品质变化及货架期预测[J].现代食品科技,2013,11:2621-2626  
GU Hai-ning, LI Qiang, LI Wen-zhao, et al. Quality change and shelf-life prediction of chilled pork during storage [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2013, 11: 2621-2626
- [6] 刘莹莹,罗瑞明,卢君逸,等.冷却羊肉贮藏中品质变化及假单胞菌生长预测模型的建立[J].肉类研究,2013,27(5):5-9  
LIU Ying-ying, LUO Rui-ming, LU Jun-yi, et al. Predictive modeling of quality changes and pseudomonas growth during chilled storage of mutton [J]. *Meat Research*, 2013, 27(5): 5-9
- [7] Plaza-Rodríguez C, Thoens C, Falenski A, et al. A strategy to establish food safety model repositories [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2015, 23: 81-90
- [8] 高磊,谢晶,叶藻,等.响应面法优化冷鲜鸡复合保鲜剂配比[J].食品工业科技,2015,36(22):312-319  
GAO Lei, XIE Jing, YE Zao, et al. Optimization of complex biological preservatives to improve preservation of chilled chicken by response surface methodology [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2015, 36(22): 312-319
- [9] 李苗云,张建威,樊静,等.生鲜鸡肉货架期预测模型的建立与评价[J].食品科学,2012,33(23):60-63  
LI Miao-yun, ZHANG Jian-wei, FAN-jing, et al. Establishment and evaluation of prediction model for the life of fresh chicken [J]. *Food Science*, 2012, 33(23): 60-63
- [10] 丁婷,李婷婷,励建荣,等.冷藏三文鱼片微生物生长动力学模型适用性分析及货架期模型的建立[J].中国食品学报,2015,15(5):63-73  
DING Ting, LI Ting-ting, LI Jian-rong, et al. Applicability analysis of microbial growth dynamics models and establishment of shelf-life model for salmon slices during the cold storage [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2015, 15(5): 63-73
- [11] 张宇婷,孟雅娟,闫国婷.MATLAB 在微生物生长预测模型中的应用[J].河北化工,2008,31(1):20-22  
ZHANG Yu-ting, MENG Ya-juan, YAN Guo-ting, et al. The application of MATLAB in microbial growth prediction model [J]. *Hebei Chemical Industry*, 2008, 31(1): 20-22
- [12] Ratkowsky D A, Olley J, Mcmeekin T A, et al. Relationship between temperature and growth rate of bacterial cultures [J]. *Journal of Bacteriology*, 1982, 149(1): 1-5
- [13] 李苗云,田璐,赵改名,等.肉品微生物生长预测模型研究进展[J].肉类研究,2012,26(12):20-24  
LI Miao-yun, TIAN Lu, ZHAO Gai-ming, et al. Research progress in predictive modeling of microbial growth in meat products [J]. *Meat Research*, 2012, 26(12): 20-24