冷却猪肉贮存中的品质变化及货架期预测

顾海宁[1]，李强[1]，李文钊[2]，张志刚[2]，郭双[2]，程晨[1]
（1. 中海油能源发展股份有限公司配餐服务分公司，天津 300452）
（2. 天津科技大学食品工程与生物技术学院，天津 300457）

摘要：本文研究了不同贮藏温度下冷却猪肉的品质变化，运用因子分析法，结合Q_{10}模型，建立货架期预测模型。在 0、5、10、15、20 ℃贮藏环境中，以感官品质、菌落总数、TVB-N、TBARS、pH 值、色值(L*、a*、b*)为品质评价指标，找出反应多种理化指标的主成分因子。且进行理化因子与感官品质皮尔逊积聚相关性分析，通过感官品质货架终点获得理化因子的限值，建立冷却猪肉货架期预测模型。研究结果表明：在不同贮藏温度下冷却猪肉的菌落总数、TVB-N 值、pH 值、TBA、色值（b*）呈上升趋势值随着贮藏时间的延长而增加；其感官品质、色值（a*）随着贮藏时间的延长而呈下降趋势；且贮藏温度越高各项指标变化越快。在 4、12℃贮藏条件下对冷却猪肉品质预测模型进行验证，相对误差均在±10%之内。验证试验表明，所建模型适用于冷却猪肉货架期预测。

关键词：冷却猪肉；因子分析；理化因子；货架期预测模型
文章篇号：1673-9078(2013)11-2621-2626

Quality Change and Shelf-Life Prediction of Chilled Pork during Storage

GU Hai-ning[1], LI Qiang[1], LI Wen-zhao[2], ZHANG Zhi-gang[2], GUO Shuang[2], CHENG Chen[1]
(1.CNOOC Energy Technology & Services-Catering & Support Services Co, Tianjin 300452, China) (2.College of Food Engineering and Biotechnology, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China)

Abstract: Changes of chilled pork in quality were studied at different storage temperatures. Factor analysis and Q_{10} model were applied to establish shelf life prediction model of chilled pork. Sensory quality, aerobic bacterial count (ABC), TVB-N, TBARS, pH and color(L*, a*, b*) were evaluated as quality indicators at 0, 5, 10, 15 and 20 ℃. By analysis of Pearson product-moment correlation, the limited value of the physiochemical factors would be got by sensory evaluation at the end of shelf-life, in order to conduct shelf life prediction model. The results showed that, the ABC, TVB-N, pH, TBA, and color (b*) increased with prolonged storage time. The increase of storage temperature resulted in significant increases of these factors. The sensory quality and color (a*) decreased with prolonged storage time and dropped promptly with increasing storage temperature. Theverification test of chilled pork stored under 4 and 12 ℃ showed that, the relative error was within ±10%. It means that the model can be used to predict the quality of chilled pork satisfactorily.

Key words: chilled pork; factor analysis; physiochemical factors; shelf-life prediction model

猪肉在我国肉品消费结构中占有重要部分，而冷却肉以其安全卫生、肉嫩味美的优点受到消费者的青睐。冷却肉是指将检验合格的畜禽屠宰后的胴体迅速进行冷却处理，使胴体温度(以后腿中心温度计)在 24 h 内降为0~4 ℃，并在后续的加工、流通和零售过程中始终保持在 0~4 ℃的鲜肉[1]。当冷却肉冷链系统不完善时就很容易发生腐败变质，从而影响冷却肉的品质及其货架期。研究者大多是通过理化指标和微生物指标来评价冷却肉贮存品质的变化，肖红等[2]分别以菌落总数、TVB-N、色差（L*和 a*）为冷却肉品质评价指标建立了贮藏时间和贮藏温度的动力学模型；李苗云等[3]以特定腐败菌为研究对象，建立了冷却猪肉货架期预测模型，定量的评价了温度对货架期的影响。以上研究仅仅是从冷却肉单一的品质指标变化的角度去判断冷却肉的品质；为了可以更准确的的预测贮藏过程中冷却肉货架期，就需要从综合方面来着手。因此，研究从微生物的数量、pH 值的改变、蛋白质的降解及色值的变化和脂肪的氧化等几个角度考察其在冷却肉贮藏期间所发生的变化。由于指标的多样性，往往多个指标也很难清晰表现冷却猪肉在贮藏过程中品质的变化。因此在分析多变量问题时，变量间往往密切相关，使得观测所得数据反映的信息有重叠，为了避免指标间的共线性，便于进一步分析问题的本质，采用因子分析方法[4]，通过线性变换将原来的多个指

收稿日期：2013-07-14
基金项目：校企合作项目（HFXMLZ-PC1101）
作者简介：顾海宁(1980-)，女，工程师，研究方向为质量控制、食品安全与营养保鲜
通迅作者：李文钊(1970-)，女，博士，副教授，研究方向为食品加工与保鲜

标组合成相互独立的少数几个能充分反映冷却猪肉总体品质变化的指标。在上述研究的基础上，利用 Q_{10} 模型[5]获得货架寿命的预测方程，以预测不同温度下冷却猪肉的货架寿命，为肉的贮藏、运输等的研究提供依据。

1 材料与方法

1.1 原料与试剂

冷却猪肉（通肌），由中海油配餐公司提供；营养琼脂培养基：上海恒远生物科技有限公司；氯化钠，天津市化学试剂一厂；硼酸，天津市北方天医化学试剂厂；氧化镁，天津金汇太亚化学试剂有限公司；HCl，天津市化学试剂一厂；甲基红，北京北化福瑞科技有限公司；次甲基蓝，上海思域化工科技有限公司；乙醇，天津市福晨化学试剂厂；2-硫代巴比妥酸，上海威方精细化工有限公司上海；三氯乙酸：国药集团化学试剂有限公司；EDTA：天津市化学试剂一厂；氯仿，天津宏顺化工有限公司，以上试剂均为分析纯

1.2 仪器与设备

YXG-110 高压蒸汽灭菌锅，上海比朗仪器有限公司；OLB-DSC 超净工作台：苏净集团安泰公司制造；K9840 凯式定氮仪，济南海能仪器有限公司；85-1C 磁力搅拌器，上海金鹏分析仪器公司；AB204-N 电子分析天平，Mettler Toledo Group；FK-A(JJ-2)组织捣碎机，金坛市晶玻实验仪器厂；DK-S26 电热恒温水浴锅，上海申贤恒温设备厂；752 紫外-可见分光光度计，上海菁华科技仪器有限公司；EL20 pH 计，上海智中实验室设备有限公司；SC-80C 色差计，北京康光仪器有限公司；SHD-250 高低温试验箱，上海一实仪器设备。

1.3 方法

1.3.1 取样贮藏

用碎冰保温冷藏车运送到实验室；将样品在超净工作台上按纹理方向分割 100 g 左右的肉块，将切好的肉块装袋（PE 保鲜袋，紫外线灭菌）随机分成 5 组，置于 0、5、10、15、20 ℃条件下贮藏，每天取样进行感官、理化及微生物测定(其中感官品质主要对色泽、气味、黏度、弹性、肉汤进行评分；理化指标主要测量 pH 值、肉色、TBARS、TVB-N 的测定；微生物指标主要测定，菌落总数。

1.3.2 测定方法

1.3.2.1 菌落总数测定

按照 GB 4789.2-2010《食品卫生微生物学检验：菌落总数测定》进行微生物计数[6]。

1.3.2.2 TVB-N 的测定

采用 GB/T5009.44-2003《肉与肉制品卫生标准的分析方法》中半微量定氮法测定[7]。

1.3.2.3 TBARS 的测定

采用孟少华[8]的方法测定。样品在组织捣碎机中均质，取捣碎肉样 10 g，加 50 mL 7.5%的三氯乙酸（含 0.1% EDTA），振荡 30 min，取出，双层滤纸过滤，取 5 mL 上清液加入 5 mL 0.02 mol/L TBA 溶液，90 ℃水浴中保温 40 min，取出冷却 1 h 后，离心 5 min（1600 r/min），加入 5 mL 氯仿摇匀，静置分层后取上清液分别在 532 nm 和 600 nm 处比色，记录吸光值并采用式（1）计算 TBARS 值。

$$TBARS\,(mg/100g) = (A_{532} - A_{600}) \times 726/155 \quad (1)$$

1.3.2.4 pH 值测定

采用 pH 计，按照 GB/T 9695.5.2008《肉与肉制品 pH 测定》进行测定[9]，重复三次，取平均值。

1.3.2.5 色值测定

采用 CIEL*a*b*法测定，每块肉样（5 cm×5 cm×2.5 cm）选取 5 点，以鲜切面计，在空气中放置 10 min，分别用色差仪测定肉色值：L*值（亮度）a*值（红度）、和 b*值（黄度）。

表 1 冷却猪肉感官评分标准

Table 1 Sensory score criteria for chilled pork

评分	色泽	气味	黏度	弹性	肉汤
9~10	颜色鲜红有光泽	有鲜猪肉气味	湿润不黏手	指压后立即回复	透明，澄清，脂肪团聚于表面，具有香味
6~8	颜色淡暗红有光泽	气味淡且无异味	湿润微粘手	指压后可恢复	微浑浊，脂肪团聚于表面，香味稍淡
3~5	颜色暗红无光泽	略有异味	粘手	指压后缓慢恢复，不完全恢复	较浑浊，有脂肪团伴有小油滴聚于表面，无香味
1-2	颜色褐色白无光泽	有明显的异味	非常粘手	指压后不能复留有明显痕迹	浑浊，油滴聚于表面，有异味

1.3.2.6 感官评定

选用由 10 名经过培训的评价员，分别对肉样的色泽、气味、黏度、弹性、肉汤进行感官评定[10]，每项采用 10 分制，最后综合判定，取 10 人综合评分结果的平均值作为最终结果。具体判定标准见表 1。

1.3.2.7 数据处理

数据统计采用 SPSS 18.0 软件中的因子分析、相关性分析和回归分析，图形绘制和回归分析采用 Origin 8.5。

2 结果与分析

2.1 贮藏温度对冷却猪肉品质的影响

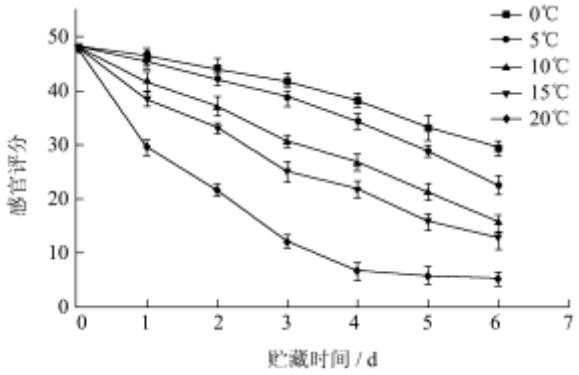


图 1 冷却猪肉感官评分的变化

Fig.1 Change in sensory score of chilled pork

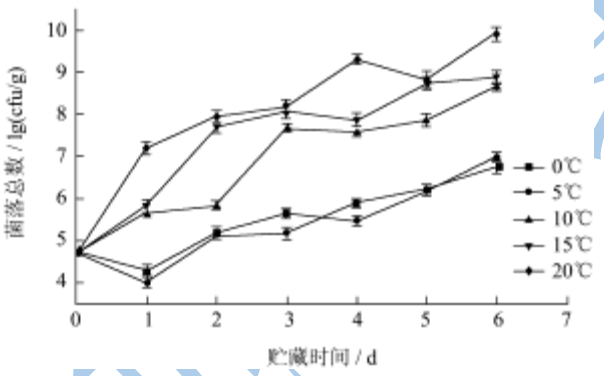


图 2 冷却猪肉菌落总数的变化

Fig.2 Change in aerobic bacterial count of chilled pork

感官形态是判断猪肉新鲜程度最直观的方式，感官评定主要以色泽、气味、黏度、弹性、肉汤作考察。图 1 为在不同温度的贮藏过程中冷却猪肉感官评分的变化曲线。由图 1 可知，随着贮藏时间的延长，猪肉的感官品质均呈现持续下降趋势，且随着温度的升高，品质下降速率依次加快。

图 2 为在不同温度的贮藏过程中冷却猪肉菌落总数的变化曲线。由图 2 可知，随着贮藏时间的延长，各温度下贮存的冷却猪肉菌落总数总体上均呈上升趋势；但是 0 ℃和 5 ℃贮藏条件下，冷却猪肉菌落总数是先下降再上升，究其原因，是由于 0 ℃和 5 ℃低温抑制了微生物的繁殖。此外，贮藏温度越高，冷却猪肉菌落总数上升迅速，很快就发生变质，尤其是 15、20 ℃下的肉样，分别在第 2 d、第 1 d 超过变质临界菌落总数 10^6 log(cfu/g)。显然，细菌的繁殖速度与肉样的贮藏温度有密切关系。温度越低，细菌繁殖速度越慢，货架期越长。

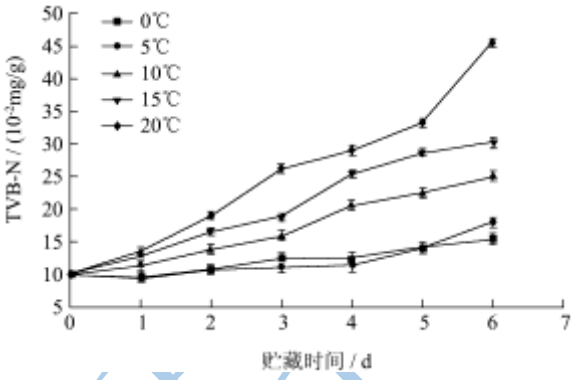


图 3 冷却猪肉 TVB-N 的变化

Fig.3 Change in TVB-N of chilled pork

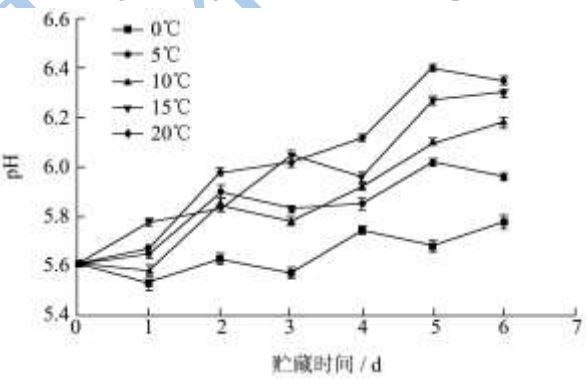


图 4 冷却猪肉 pH 的变化

Fig.4 Change in pH value of chilled pork

图 3 为在不同温度的贮藏过程中冷却猪肉 TVB-N 值的变化曲线。挥发性盐基氮(TVB-N)是冷却肉在贮藏过程中，由于酶和细菌使蛋白质分解而产生氨以及胺类等碱性含氮化合物总称。从图 3 可以看出，在一定温度下，冷却猪肉 TVB-N 值随着贮藏时间的延长而增加。0 ℃和 5 ℃下，随着贮藏时间的延长 TVB-N 增长速度缓慢。贮藏温度越高，增长速度越快；其中，15、20 ℃下的冷却猪肉，分别在第 4 d、第 3 d 超过国家标准规定值 0.25 mg/g。这主要是由于低温抑制了冷却猪肉中微生物的繁殖和酶的活性，减缓了其对冷却猪肉的蛋白质降解，降低新鲜度的下降速率。图 4 为在不同温度的贮藏过程中冷却猪肉 pH 值的变化曲线。样品的初始值为 5.61，新鲜肉浸液 pH 值范围一般在 5.8~6.6，但本试验中，各组 pH 值均在 6.6 以下，肉品的 pH 值最高仅为 6.35，比文献报道[11]的值偏低，可能是由于冷却猪肉样品本身存在一定的差

异性。由图 4 可知，温度一定，随贮藏时间的延长，冷却猪肉 pH 总体呈波动上升趋势。10、15、20 ℃下冷却猪肉的 pH 值随贮藏时间的延长上升幅度较大，0 ℃和 5 ℃下的猪肉，其 pH 值呈现先降低后升高的趋势，主要可能因为贮藏初期，肌肉中的肌糖原酵解及 ATP 分解，产生酸性物质，致使 pH 值下降，随着贮藏时间的延长，肉中蛋白质的分解，产生碱性物质，而使 pH 值回升。

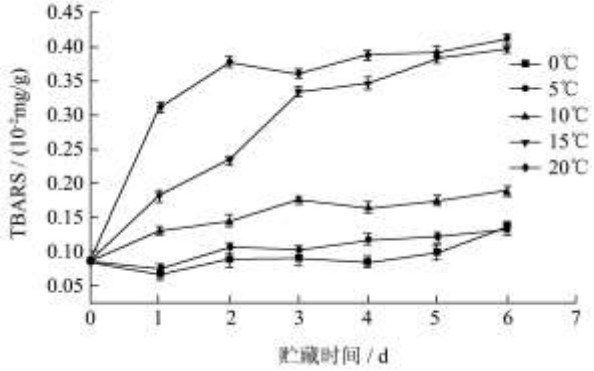


图 5 冷却猪肉 TBARS 的变化

Fig.5 Change in TBARS of chilled pork

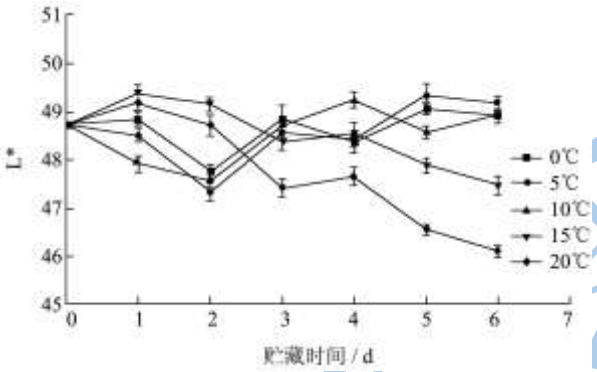


图 6 冷却猪肉 L*的变化

Fig 6 Change in L* of chilled pork

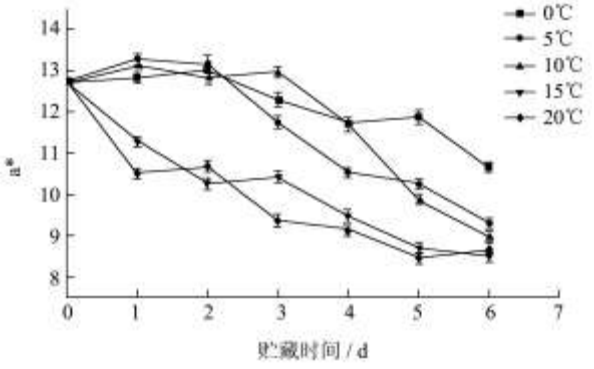


图 7 冷却猪肉 a*的变化

Fig.7 Change in a* of chilled pork

TBA 试验是用 2-硫代巴比妥酸与脂类氧化产物丙二醛作用生成一种粉红色化合物，此化合物在 532 nm 波长下有最大吸收值。图 5 为在不同温度的贮藏过程中冷却猪肉 TBARS 值的变化曲线。由图 5 可知，在一定温度下，冷却猪肉 TBARS 值随着贮藏时间的延长呈上升趋势。0、5、10 ℃下，随贮藏时间的延长 TBARS 增长速度平缓。15、20 ℃下，TBARS 值上升幅度较大，波动明显。分析原因可能是高温加剧了脂肪的氧化，导致 TBARS 值增加。

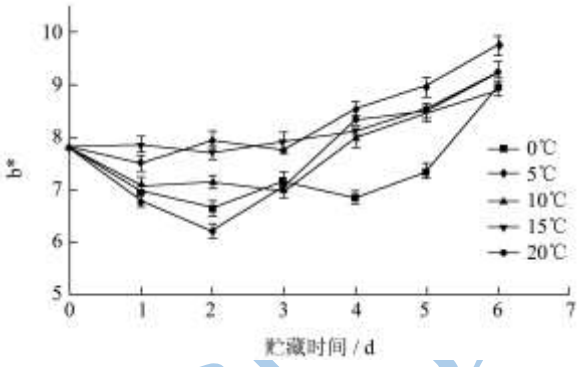


图 8 冷却猪肉 b*的变化

Fig.8 Change in b* of chilled pork

冷却肉的色泽是货架期重要的特征指标，也是消费者是否购买的主要判断依据。图 6、图 7、图 8 分别为在不同温度的贮藏过程中冷却猪肉 L*、a*、b*的变化曲线。由图 6 可知，贮藏在 0、5、10 ℃温度下冷却猪肉的 L*随贮藏时间的延长呈现先降低后上升，可能与肌肉内水分渗出有关；15、20 ℃贮藏时间延长，亮度值 L*下降，这与肖红、谢晶[2]的研究结果相符。由图 7 可知，贮藏在 0、5、10 ℃冷却猪肉的红度值 a*随着贮藏时间的延长呈现先升后降的趋势，可能与正铁血红色素的氧化有关[12]；15、20 ℃贮藏时间延长，a*下降，这与文献报道[13]相符。由图 8 可知，冷却猪肉的黄度值 b*值呈现先降低后上升的趋势，可能与血红蛋白的氧化和脂肪氧化有关。

2.2 因子分析

用统计软件 SPSS 对 7 个指标变量在 273、278、283、288、293 K 贮藏条件下的测试数据进行因子分析，结果见表 2。

由表 2 可以看出，在 273 K 条件下，用因子分析的方法从 7 个品质指标提取出 2 个主成分为：F_1（因子）=0.446Z（菌落总数）+0.380Z（TVB-N）+0.438Z（pH）+0.132Z（TBA）+0.442Z（L*）-0.377Z（a*）+0.331Z（b*）；F_2（因子）=-0.011Z（菌落总数）+0.052Z（TVB-N-0.184Z（pH）-0.223Z（TBA）+0.903Z（L*）-0.248Z（a*）-0.190Z（b*）。由表 2 特征值可以看出，原来 7 个变量的全部信息可由 2 个主成分（特征值=5.450）反应 77.86%，这说明提取这 2 个主成分因子就可以。

同理在 278 K 条件下，提取 2 个主成分：F_1（因

子）=0.439Z（菌落总数）+0.425Z（TVB-N）+0.354Z（pH）+0.417Z（TBA）+0.161Z（L*）-0.421Z（a*）+0.352Z（b*）。F_2（因子）=-0.085Z（菌落总数）+0.001Z（TVB-N）-0.325Z（pH）-0.280Z（TBA）+0.832Z（L*）-0.035Z（a*）+0.340Z（b*）。

表 2 不同贮藏温度下冷却猪肉理化指标的因子分析结果

Table 2 Factor analysis of physiochemical indices of chilled pork during storage at different temperatures

温度/K	主成分数量	特征值	总方差百分比/%	累计特征值	累计百分比/%
273	1	4.37	62.46	4.37	62.46
	2	1.08	15.40	5.45	77.86
278	1	5.01	71.51	5.01	71.51
	2	1.05	14.96	6.06	86.47
283	1	4.95	70.52	4.95	70.52
288	1	5.22	74.57	5.22	74.57
293	1	5.61	80.14	5.61	80.14

在 283 K 条件下，提取 1 个主成分：F（因子）=0.422Z（菌落总数）+0.446Z（TVB-N）+0.427Z（pH）+0.374Z（TBA）+0.171Z（L*）-0.404Z（a*）+0.329Z（b*）。

在 288 K 条件下，提取 1 个主成分：F（因子）=0.413Z（菌落总数）+0.425Z（TVB-N）+0.421Z（pH）+0.423Z（TBA）-0.261Z（L*）-0.398Z（a*）+0.258Z（b*）。

在 293 K 条件下，提取 1 个主成分：F（因子）=0.399Z（菌落总数）+0.404Z（TVB-N）+0.404Z（pH）+0.358Z（TBA）-0.357Z（L*）-0.392Z（a*）+0.321Z（b*）。

函数中的“Z（）”表示主成分无量纲数据，没有确切意义；F 称理化因子，各个因子 F 则可以综合反映指标信息。

2.3 理化因子与感官品质相关性分析

采用运用皮尔逊积聚相关分析，研究不同贮藏温度下理化指标的综合因子与感官品质的相关分析，且进行回归分析见表 3。

由表 3 可以看出：在 273、278、283、288、293 K 条件下，理化因子 F 与感官评价有较好的相关性。由此可以通过感官品质的货架期终点值(即 X= 25)获得相应的理化因子 F 限值。

2.4 冷却猪肉货架期预测

Q_{10}定义为温度上升 10 ℃后，反应速率为原来速率的倍数或者指食品贮存在高于原来储存温度 10 ℃的条件下，其货架期的变化率。Q_{10}可表示为：

$$\theta(C)=\theta(C_0)\times Q_{10}^{\frac{C_0-C}{10}}\quad(C>C_0) \tag{2}$$

注：θ为货架期(d)；C_0为确定货架期的已知温度点(℃)；C为所要求货架期的温度点（℃）。

将得到的理化因子进行线性回归，获得回归方程，再将 F 限值代入时间-理化因子回归方程，从而获得货架寿命见表 4。

表 3 不同温度下冷却猪肉理化因子 F 与感官品质相关性分析结果和回归分析结果

Table 3 Correlation analysis results and regression results of physiochemical factor F and sensory evaluation of chilled pork during storage at different temperatures

温度/K	相关系数	R^2	一次线性拟合方程	F 值
273	-0.874**	0.964	F=-0.251 感官+10.068	3.79
278	-0.965**	0.931	F=-0.244 感官+9.085	2.99
283	-0.970**	0.942	F=-0.196 感官+6.195	1.30
288	-0.946**	0.956	F=-0.217 感官+6.310	1.97
293	-0.950**	0.903	F=-0.146 感官+2.698	-0.95

表 4 冷却猪肉在不同贮藏温度下货架寿命分析结果

Table 4 Shelf life analysis results of chilled pork during storage at different temperatures

温度/K	回归方程(Y-F 值, X-时间)	相关系数 R^2	货架寿命/d
273	Y=0.7177X-3.053	0.989	9.53
278	Y=0.9288X-3.0863	0.974	6.54
283	Y=1.1318X-3.3955	0.965	4.15
288	Y=1.9881X-3.6542	0.986	2.83
293	Y=1.5725X-3.6376	0.993	1.70

根据公式（2），进行不同温度货架寿命的预测，预测模型见表 5。

表 5 冷却猪肉货架期预测模型

Table 5 Prediction models of chilled pork storage life based on quality factor at different storage temperatures

温度/℃	基于品质因子 F 货架期预测模型
0~10	$\theta_1(C)=9.53\times 2.30^{\frac{-C}{10}}$
5~15	$\theta_2(C)=6.54\times 2.31^{\frac{5-C}{10}}$
10~20	$\theta_3(C)=1.70\times 2.44^{\frac{10-C}{10}}$

2.5 预测模型的验证与评价

将冷却猪肉在 4、12 ℃贮藏条件下，用货架期实测值验证货架期预测模型。表 6 为 4、12 ℃贮藏条件下，冷却猪肉的理化因子 F 货架期预测模型得到的预

测值与实测值的比较。

表 6 冷却猪肉在 4、12 ℃货架期的预测值和实测值

Table 6 Predicted and experimental storage life of chilled pork stored at 4 ℃ and 12 ℃

模型	贮藏温度/K	货架期预测值/d	货架期实测值/d	相对误差/%
$\theta_1(C)$	278	6.84	7.56	9.52%
$\theta_2(C)$	285	3.73	3.48	7.18%
$\theta_3(C)$	285	1.46	1.62	-9.88%

验证实验结果表明，所建立的冷却猪肉货架期预测模型相对误差±10%以内，预测结果可靠，且在5~15 ℃温度段的预测精度优于 10~20 ℃。

3 结论

3.1 不同的贮藏温度对冷却肉的品质变化影响较大，越低温有越利于冷却肉保持较好的品质。因此选择0~5 ℃贮藏。

3.2 通过因子分析，在273 K条件下理化指标可由2个主成分反映所有信息均大于77.86%；在278 K条件下理化指标可由 2 个主成分反映所有信息均大于86.47%；在283、288、293 K条件下理化指标可由1个主成分反映所有信息均大于70.00%。

3.3 各温度条件下理化因子与感官品质能呈现较好的相关性，对应的品质因子的货架终点限值分别为在273 K条件下F=3.79；278 K条件下F=2.99；283 K条件下 F=1.30；288 K 条件下 F=1.97；293 K 条件下F=-0.95。

3.4 基于理化因子建立冷却猪肉 Q_{10} 货架期预测模型；通过验证实验表明：所建模型适用于冷却猪肉货架期预测。

参考文献

[1] 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

[2] 肖红,谢晶.不同贮藏温度下冷却肉品质变化的实验研究[J].制冷学报,2009,30(3):40-45
XIAO-hong, XIE-jing. Experiment on Chilled Pork under Different Storage Temperature [J]. Journal of Refrigeration, 2009, 30 (3): 40-45

[3] LI M Y, SUN L X, ZHOU H G, et al. Analysis of mathematical models of *Pseudomonas* spp. growth in pallet-package pork stored at different temperatures [J]. Meat Science, 2013, 4(93): 855-864

[4] G Destefanis, M T Barge, A Bragiapaglia, et al. The use of principal component analysis (PCA) to characterize beef [J]. Meat Science, 2000, 56(3): 255-259

[5] Theodore P Labuza. Application of Chemical Kinetics to Deterioration of Foods [J]. Journal of Chemical Education, 1984, 61(4): 348-357

[6] GB 4789.2-2010, 食品卫生微生物学检测[S]
GB 4789.2-2010, Food microbiological examination [S]

[7] GB/T5009.44-2003,肉与肉制品卫生标准的分析方法[S]
GB/T5009.44-2003, Method for analysis of hygienic standard of meat and meat product[S]

[8] 孟少华,傅琳秋,王令建,等.低温熏煮香肠的贮藏特性研究[J].现代食品科技,2010,26(3):244-246
MENG Shao-hua, FU Lin-qiu, WANG Ling-jian, et al. Storage Characteristics of Low-temperature Cooked Smoked Sausage [J]. Modern Food Science and Technology, 2010, 26(3): 244-246

[9] GB/T9695.5.2008,肉与肉制品pH测定[S]
GB/T9695.5.2008, Meat and meat products-Measurement of pH[S]

[10] GB/T22210-2008,肉与肉制品感官评定规范[S]
GB/T22210-2008, Criterion for sensory evaluation of meat and meat products[S]

[11] Mancini R A, Kropf D H, Hunt M C, et al. Effects of endpoint temperature, pH and storage time on cooked internal color reversion of pork longissimus chops [J]. Journal of Muscle Foods, 2005, 16(1): 16-26

[12] Liu G Q, Zhang L L, Zong K, et al. Shelf-life Properties of Chilled Pork and Forecasting of Main Putrescence Microorganisms [J]. Food Science, 2009, 18(30): 394-399

[13] R A Mancini, M C Hunt. Current research in meat color [J]. Journal of Meat Science, 2005, 71: 100-121