

冷却鸡胸肉脉冲强光杀菌参数试验优化

黄现青¹ 董飒爽¹ 李传令² 刘彬² 宋莲军¹ 赵秋艳¹

(1. 河南农业大学食品科学技术学院, 郑州 450002; 2. 河南永达清真食品有限公司, 安阳 456150)

摘要: 研究了脉冲强光对冷却鸡胸肉杀菌效果及品质的影响, 利用响应面法优化了杀菌参数, 并对其品质的影响进行评价。结果表明: 脉冲强光可有效杀死冷却鸡胸肉的表面微生物, 在脉冲能量 400 J、脉冲距离 12 cm、脉冲时间 50 s 优化条件下, 冷却鸡胸肉的杀菌率达到 90.03%, 剪切力 2.63 kg, 离心失水率 30.31%, 色差为 3.53。在此条件下, 对试验结果进行验证, 得出杀菌率、离心失水率、剪切力、色差的相对误差分别为 1.07%、1.17%、1.54%、2.02%。同时对脉冲处理后的冷却鸡胸肉在 0~4℃ 条件下进行贮藏, 货架期相应延长了 1~2 d, 达到了预期目的。

关键词: 冷却鸡胸肉; 货架期; 杀菌率; 脉冲强光

中图分类号: TS251.5 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2019)02-0333-07

Effects of Pulsed Light Parameters on Bacterium Sterilization and Quality of Chilled Chicken Breast Meat

HUANG Xianqing¹ DONG Sashuang¹ LI Chuanling² LIU Bin² SONG Lianjun¹ ZHAO Qiuyan¹

(1. 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 effect of pulsed strong light on sterilizing effect and quality of chilled chicken breast meat was studied. Combined with the principle of Box – Benhnken center combination design and response surface methodology, the sterilization conditions were optimized, and the quality of chilled chicken breast meat was evaluated. The results showed that pulsed strong light could effectively kill the surface microorganism of chilled chicken breast meat. The effects of pulse energy, pulse distance and pulse time on sterilizing rate of chilled chicken breast meat were significant, with the increase of pulse energy and pulse time, the bactericidal rate was increased, and the sterilization rate was decreased with the increase of pulse distance. With the increase of pulse energy and pulse time, the shear force was decreased, and the color difference was significant. With the increase of pulse distance, the shear force was increased obviously but it was less than 4 kg, and there was significant difference in color difference. Under the optimized conditions of pulse energy of 400 J, pulse distance of 12 cm, pulse time of 50 s, the sterilization rate of chilled chicken breast meat was 90.03%, and the shear force was 2.63 kg. The loss rate of water was 30.31% and the color aberration was 3.53. Under these conditions, the relative errors of germicidal rate of colony total, centrifugal water loss rate, shear force and color aberration were obtained by verifying the results of the experiment. The relative errors were 1.07%, 1.17%, 1.54% and 2.02%, respectively. At the same time, the chilled chicken breast meat after pulsed strong light treatment was stored at 0~4℃, and the shelf life was prolonged for 1~2 d, which could solve the practical problems faced by the factory.

Key words: chilled chicken breast meat; shelf-life; sterilizing rate; pulse light

0 引言

冷却分割鸡胸肉因脂肪含量低、蛋白质含量高、

不饱和脂肪含量高、口感柔嫩细腻等特点而广受消费者喜爱^[1]。相对于热鲜鸡胸肉, 冷冻鸡胸肉具有安全、卫生、营养价值高、口感好等优点, 有非常好的

市场发展空间^[2]。但生产、分割、加工、销售过程中冷却鸡胸肉很容易发生微生物交叉污染^[3],且我国冷链系统尚不够完善,若贮藏流通过程中控制不当,则会使冷却肉在较短时间内发生微生物增殖,进而使得冷却肉的货架期较短,无法满足消费者的要求^[4]。

脉冲强光作为一种新型的非热力物理杀菌技术能瞬时高效地对食品 and 食品包装上的微生物进行杀菌,使食品的货架期得到有效延长,保证食品的品质^[5-6]。脉冲强光杀菌技术利用可见光、红外光及紫外光三者的协同作用,对菌体细胞中的蛋白质、细胞膜及其他大分子物质造成不可逆转的杀伤力,彻底杀死微生物^[7-8]。与其他杀菌技术相比,脉冲强光杀菌设备投入少、成本低,对于食品加工生产线非常适用,可提高工业化生产的效率^[9]。脉冲强光杀菌技术在西兰花、芒果及蘑菇、煎饼等^[10-14]食品加工中的应用均有相关研究,但应用于冷却肉的研究鲜有报道。

本文结合企业实际销售过程中面临的问题,研究冷却分割鸡胸肉放置在 0~4℃ 时,货架期在原有的基础上再延长 1~2 d 的技术,以满足消费者的需求。为此,以冷却分割鸡胸肉为研究对象,以杀菌率、剪切力、离心失水率、色差、pH 值为响应值,在单因素试验基础上,结合 Box-Behnken 中心组合设计原理和响应面分析法,确定最佳的脉冲设备杀菌参数并对试验结果进行验证。

1 材料与方法

1.1 材料

冷却分割鸡胸肉由河南省某肉品企业提供(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 15 h 内送检);细菌总数培养基(CM101),北京陆桥技术股份有限公司。

1.2 仪器与设备

HVE-50 型蒸汽压力灭菌锅,日本 HIRAYAMA 公司;SPX-1505H-II 型生化培养箱,上海新苗医疗器械公司;SW-CJ-2F 型洁净工作台,苏州安泰空气技术有限公司;MIR-254 型低温恒温培养箱,日本 SANYO 公司;VORTEX-2GENIE 型涡旋振荡器,美国 Scientific Industries 公司;3000 型沃-布剪切力仪,美国 BODINE-ELECTRIC 公司;EasyMix 型均质机,法国 AES 公司;ZW-SY-2D 型脉冲强光杀菌设备,青岛海尔集团;ALLEGRA-64A 型高速冷冻离心机,美国贝克曼库尔特有限公司;cR-400 型色差计,日本柯尼卡美能达株式会社。

1.3 方法

1.3.1 细菌总数测定

在无菌操作环境下,分别称取脉冲前后的鸡胸肉 25 g,置于装有 225 mL 灭菌生理盐水(0.85%)的均质袋中,在均质器中均质 100 s。按 1:10 进行倍比稀释,选取 3 个合适的稀释度,取 100 μL 倒在有培养基的平板上进行微生物涂布测定,每个稀释度 3 个平行。每个样品做 3 个平行试验,进行菌落总数的测定。平板置于 37℃ 培养箱中培养 48 h,然后计数。

1.3.2 冷却分割鸡胸肉色差测定

将 cR-400 型色差计调零校准后,将色差计的镜头垂直置于脉冲前后的冷却分割鸡胸肉表面上(最好避开肌内脂肪和结缔组织),测量并分别记录肉样的亮度(L^*)、红度(a^*)、黄绿度(b^*),每个样品测定 3 个点,每个点测 3 次,取 3 个点的平均值为其 L^* 、 a^* 、 b^* ^[14],色差 $\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$ 。

1.3.3 pH 值测定

称取 10 g 左右肉样放入锥形瓶中,加入 100 mL 蒸馏水,振荡 30 min 后进行过滤,采用 GB 5009.237—2016《食品安全国家标准 食品 pH 值的测定》规定的方法进行测定,每个样品测量 3 次,取 3 次的平均值为 pH 值^[15]。

1.3.4 剪切力测定

按 NY/T 2793—2015《肉的食用品质客观评价方法》规定的鸡肉的剪切力测定方法测定^[16]。

1.3.5 离心失水率测定

按 NY/T 2793—2015《肉的食用品质客观评价方法》规定的鸡肉的离心失水率测定方法测定^[16]。

1.3.6 杀菌率计算

以杀菌率为指标对脉冲强光杀菌效果进行评价。各组试验的菌落数采用平板计数法计算,杀菌率计算公式为^[17]

$$\eta = \frac{X - X_0}{X} \times 100\%$$

式中 η ——杀菌率
 X ——未杀菌处理样品平均菌落数
 X_0 ——杀菌处理样品平均菌落数

1.3.7 单因素试验设计

取脉冲时间 40 s、脉冲距离 9 cm,研究脉冲能量分别为 100、200、300、400、500 J 时对冷却分割鸡胸肉杀菌效果、剪切力、离心失水率、色差及 pH 值的影响。取脉冲能量 500 J、脉冲时间 40 s,研究脉冲距离分别为 9、12、15、18、21 cm 时对冷却分割鸡胸肉杀菌效果、剪切力、离心失水率、色差及 pH 值的

影响。取脉冲能量 500 J、脉冲距离 9 cm,研究脉冲时间分别为 30、40、50、60、70 s 时对冷却分割鸡胸肉杀菌效果、剪切力、离心失水率、色差及 pH 值的影响。

1.3.8 响应面试验设计

根据单因素试验结果进行响应面试验设计,利用 Design-Expert 8.06 软件,采用中心组合试验 Box-Behnken 设计方案^[18-19],以脉冲能量、时间和距离为试验因素,冷却分割鸡胸肉的微生物杀菌率、剪切力、离心失水率、色差为响应值^[19-22],对冷却分割鸡胸肉的脉冲杀菌设备参数条件进行优化。

1.4 数据处理

利用 Design-Expert 8.06、SPSS 13.0、Origin 8.0 软件对数据进行分析处理。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 脉冲能量

由图 1(图中不同字母表示差异显著, $P < 0.05$,下同)可知,随着脉冲能量的增加,杀菌率呈增加趋势且差异性显著,在脉冲能量为 300~400 J 时,杀菌率明显提高,500 J 时达到 95.94%;随着脉冲能量的增加,剪切力下降,在能量达到 400 J 时,剪切力明显下降至 4 kg 以下,达到了生鲜鸡肉宰后 24 h 剪切力不超过 4 kg 的正常范围^[16];在脉冲能量为 300~500 J 时,色差差异性显著;离心失水率随着能量的增大差异性并不显著;在脉冲能量为 300~500 J 时,pH 值差异性不显著。在保证对冷却分割鸡胸肉的杀菌效

果及各品质影响最小的前提下^[23],将脉冲能量条件设为 300~500 J 对冷却分割鸡胸肉进行杀菌处理。

2.1.2 脉冲距离

由图 2 可知,随着脉冲距离的增大,杀菌率呈下降趋势且差异性显著。在脉冲距离为 9~15 cm 时,杀菌率均在 90.73% 以上;随着脉冲距离的增大,剪切力增大,在脉冲距离为 9~15 cm 时,剪切力明显增大但均小于 4 kg,达到了生鲜鸡肉宰后 24 h 剪切力不超过 4 kg 的正常范围^[16],在脉冲距离为 18 cm 时,剪切力明显增大至 4 kg 以上;在脉冲距离为 9~15 cm 时,色差存在显著性差异;离心失水率和 pH 值随着脉冲距离的增大,差异性不显著(9 cm 和 12 cm 时 pH 值差异性显著);在保证对冷却分割鸡胸肉的杀菌效果及各品质影响最小的前提下^[23],将脉冲距离条件设为 9~15 cm 对冷却分割鸡胸肉进行杀菌处理。

2.1.3 脉冲时间

由图 3 可知,随着脉冲时间的增加,杀菌率呈增加趋势且差异性显著。在脉冲时间为 50 s 时,杀菌率明显提高,60 s 时达到 95.94%;随着脉冲时间的增加,剪切力下降且小于 4 kg,达到了生鲜鸡肉宰后 24 h 剪切力不超过 4 kg 的正常范围^[16];随着脉冲时间的增加,色差逐渐升高且差异性显著;离心失水率和 pH 值随着脉冲时间的增大差异性并不显著(40 s 和 50 s 时离心失水率差异性显著,30 s 和 40 s 以及 60 s 和 70 s 时 pH 值差异性显著)。在保证对冷却分割鸡胸肉的杀菌效果及各品质影响最

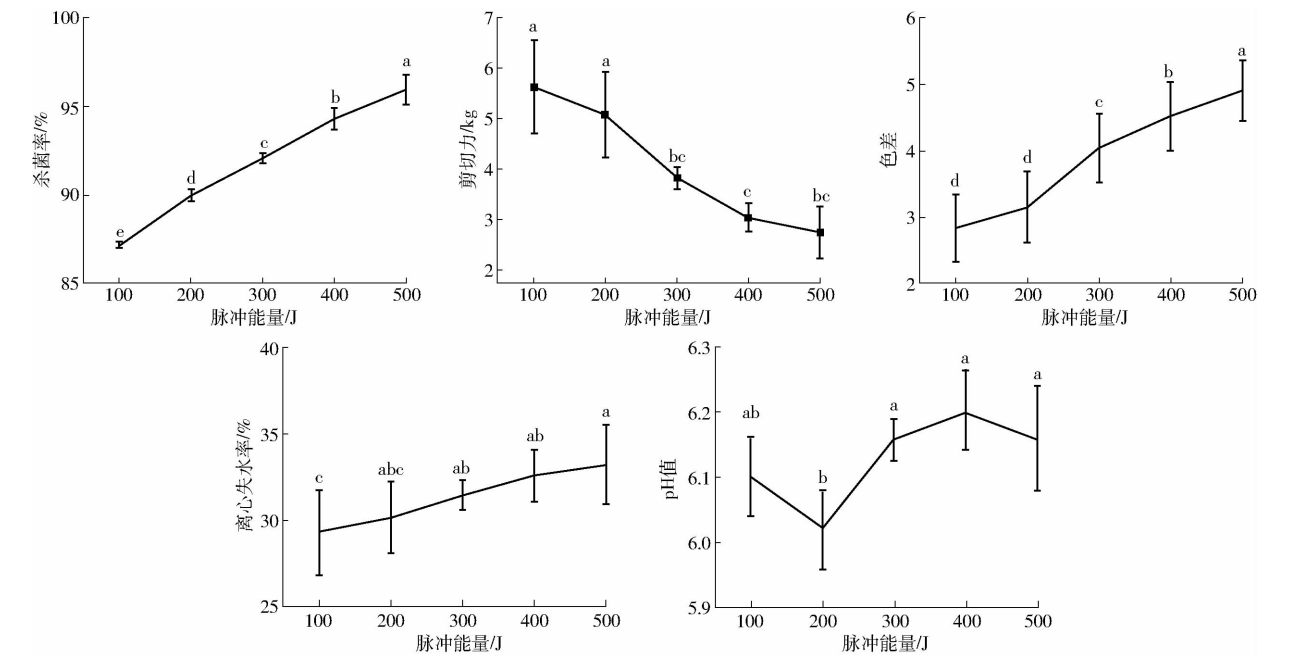


图 1 脉冲能量对冷却分割鸡胸肉杀菌率、剪切力、离心失水率、色差及 pH 值的影响

Fig.1 Effect of pulse energy on sterilization effect, shear force, centrifugal water loss rate, color and pH value of chicken breast meat

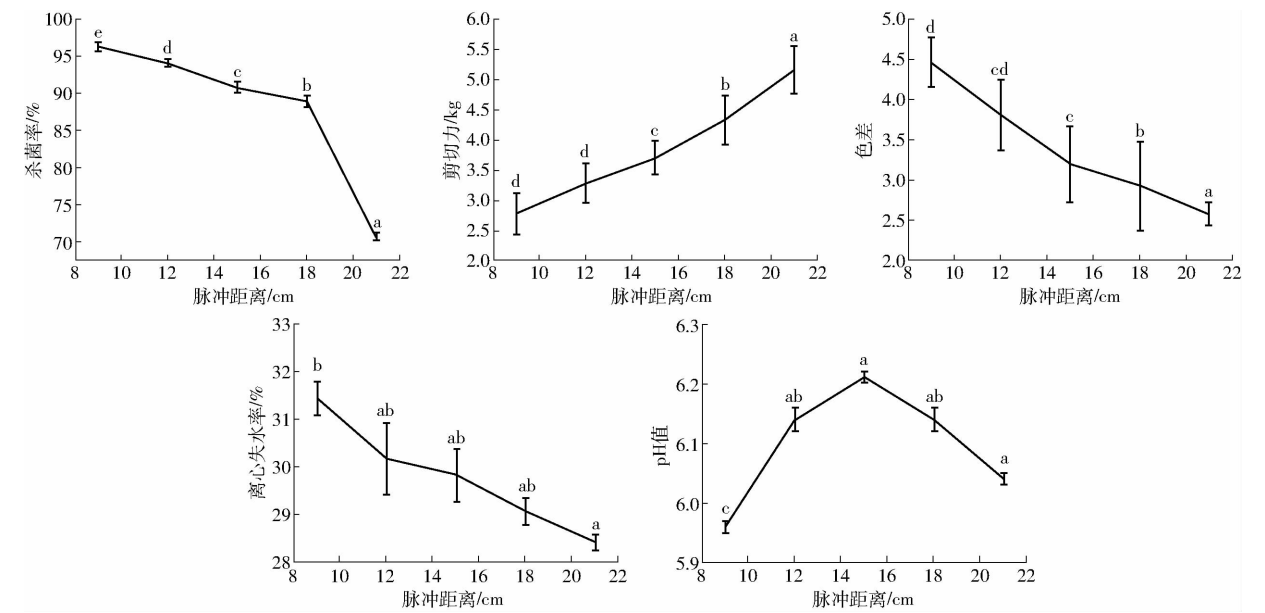


图2 脉冲距离对冷却分割鸡胸肉杀菌率、剪切力、离心失水率、色差及 pH 值的影响

Fig.2 Effect of pulse distance on sterilization effect, shear force, centrifugal water loss rate, color and pH value of chicken breast meat

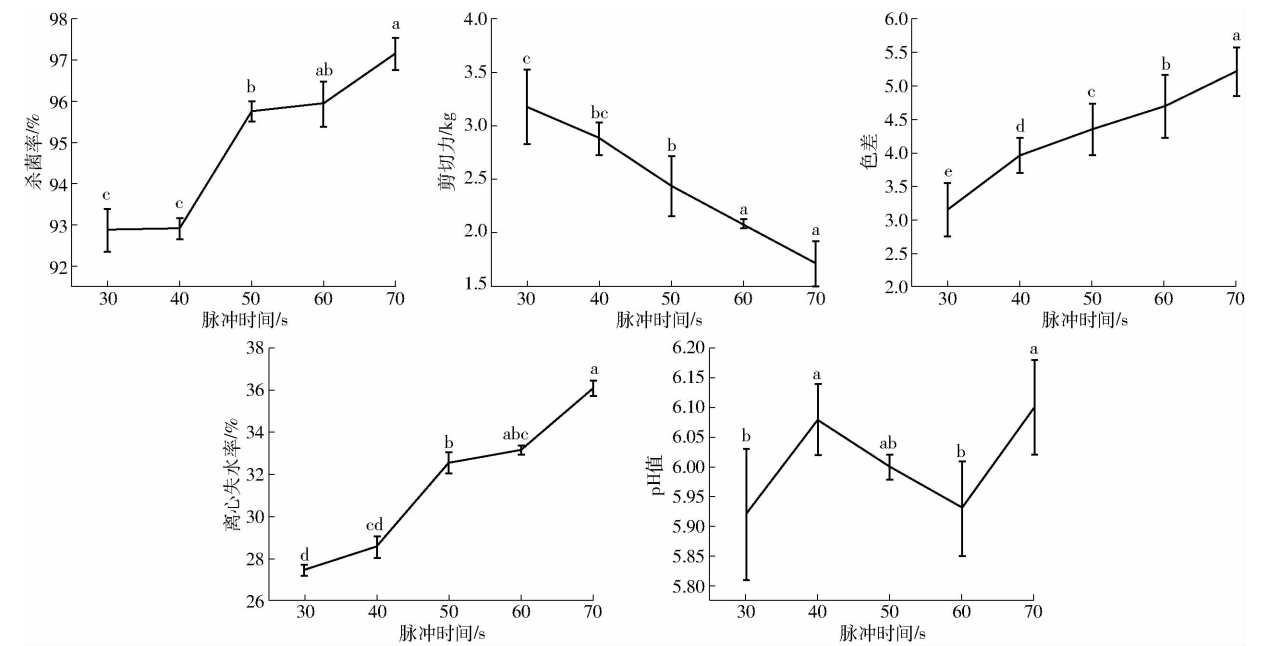


图3 脉冲时间对冷却分割鸡胸肉杀菌率、剪切力、离心失水率、色差及 pH 值的影响

Fig.3 Effect of pulse time on sterilization effect, shear force, centrifugal water loss rate, color and pH value of chicken breast meat

小的前提下,减少脉冲时间可以节约能源及仪器损耗^[23]。因此,将脉冲时间设为40~60 s对冷却分割鸡胸肉进行杀菌处理。

2.2 响应面回归模型建立及分析

试验方案如表1所示。利用 Design-Expert 8.0.6 软件进行响应面试验设计并优化,得到17组试验的结果见表2(表中A、B、C表示脉冲能量、脉冲距离、脉冲时间的编码值)。根据表2的试验结果,将试验数据进行逐步回归拟合,分别得到杀菌率、剪切力、离心失水率、色差对脉冲能量、脉冲距

离、脉冲时间的二次多项回归方程,并对回归模型进行方差分析。

表1 响应面试验因素编码			
Tab.1 Factors codes of experiment of response surface analysis			
编码	因素		
	脉冲能量/J	脉冲距离/cm	脉冲时间/s
-1	300	9	40
0	400	12	50
1	500	15	60

表 2 Box – Benhnken 试验设计及结果

Tab.2 Box – Benhnken experimental design and corresponding results

试验 序号	A	B	C	杀菌率 $Y_1/\%$	剪切力 Y_2/kg	离心失水 率 $Y_3/\%$	色差 Y_4
1	0	-1	-1	91.03	2.53	30	3.51
2	-1	-1	0	85.95	3.36	25	3.19
3	1	0	1	92.66	2.33	30	4.83
4	-1	0	1	84.55	3.35	27	3.55
5	1	1	0	86.23	3.25	29	3.70
6	0	0	0	90.00	2.86	32	3.31
7	0	0	0	90.18	2.58	30	3.48
8	0	1	1	88.49	2.55	29	3.11
9	0	0	0	89.97	2.43	30	3.78
10	0	0	0	91.02	2.58	30	3.56
11	0	-1	1	92.32	2.36	30	4.39
12	0	1	-1	87.12	2.74	28	3.20
13	1	-1	0	95.17	2.05	31	5.03
14	-1	1	0	82.62	2.51	26	2.96
15	1	0	-1	91.10	2.50	30	4.11
16	0	0	0	89.00	2.34	30	3.40
17	-1	0	-1	82.75	2.35	26	3.00

对杀菌率及各品质指标响应面方差分析中的数据进行二次多元回归拟合,得到杀菌率(Y_1)、剪切力(Y_2)、离心失水率(Y_3)、色差(Y_4)对脉冲能量、距离、时间的二次多项回归方程分别为

$$Y_1 = 90.0354 + 3.6623A - 2.5007B + 0.7506C - 1.4032AB - 2.2755A^2 \quad (P < 0.0001, R^2_{Adj} = 0.9508)$$
$$Y_2 = 2.6274 - 0.1792A + 0.0951B + 0.0591C + 0.5125AB - 0.2917AC \quad (P < 0.0001, R^2_{Adj} = 0.6731)$$
$$Y_3 = 30.31 + 0.0179A - 0.0063B - 0.0078AB - 0.0174A^2 - 0.0099B^2 \quad (P < 0.0001, R^2_{Adj} = 0.8536)$$
$$Y_4 = 3.5263 + 0.6219A - 0.3937B + 0.2568C - 0.2776AB - 0.2424BC + 0.2699A^2 \quad (P < 0.0001, R^2_{Adj} = 0.9405)$$

各个模型 $P < 0.0001$,表示模型是极显著的,证明模型成立,本试验方法可靠。杀菌率模型校正复相关系数的平方(R^2_{Adj})为 0.9508,一次项系数 A 、 B 、 C 都极显著($P < 0.0001$),说明脉冲能量、脉冲距离和脉冲时间对冷却鸡胸肉的杀菌率影响有显著作用,可以用这个模型来对脉冲强光对冷却分割鸡胸肉的杀菌率进行分析预测。交互项 AB ($P = 0.0042 < 0.01$)、交互项 A^2 ($P < 0.0001$)的交互作用对杀菌率的影响极显著;剪切力模型 R^2_{Adj} 为 0.6731,表明这个模型拟合程度一般,一次项系数 A 显著 ($P < 0.05$),说明脉冲能量对冷却鸡胸肉剪切力影响有显著作用,脉冲距离和脉冲时间对冷却鸡胸肉剪切力影响不显著。交互项 AB ($P = 0.0006 < 0.01$)、交

互项 AC ($P < 0.05$)的交互作用对剪切力的影响显著;离心失水率模型 R^2_{Adj} 为 0.8536,一次项系数 A 、 B 极显著 ($P < 0.0001$),说明脉冲能量和脉冲距离对冷却鸡胸肉的离心失水率影响显著。交互项 AB ($P = 0.0499 < 0.01$)、交互项 A^2 ($P < 0.0001$)、交互项 B^2 ($P < 0.05$)的交互作用对离心失水率的影响显著。色差模型 R^2_{Adj} 为 0.9405,一次项系数 A 、 B 、 C 极显著 ($P < 0.0001$),说明脉冲能量、脉冲距离和脉冲时间对冷却鸡胸肉的颜色影响有显著作用。交互项 AB ($P = 0.0039 < 0.01$)、交互项 BC ($P = 0.0085 < 0.01$)、交互项 A^2 ($P < 0.01$)的交互作用对色差的影响极显著。

综上所述,脉冲强光对杀菌率、剪切力、离心失水率、色差的影响因素的主次顺序为:脉冲能量、脉冲距离、脉冲时间。

2.3 响应面因素水平的优化与验证

将任一个因素固定在建立好的回归模型的零水平上,其余交互的两因素的结果也将由此得出,二次回归方程的响应面图见图 4~8。根据二次多项回归方程得出脉冲能量 400 J、脉冲距离 12 cm、脉冲时间 50 s 条件下,冷却鸡胸肉的杀菌率达到 90.03%,剪切力为 2.63 kg,离心失水率为 30.31%,色差为 3.53。为检验响应面的可靠性,在最佳杀菌条件下进行 3 次重复验证试验,结果如表 3 所示。

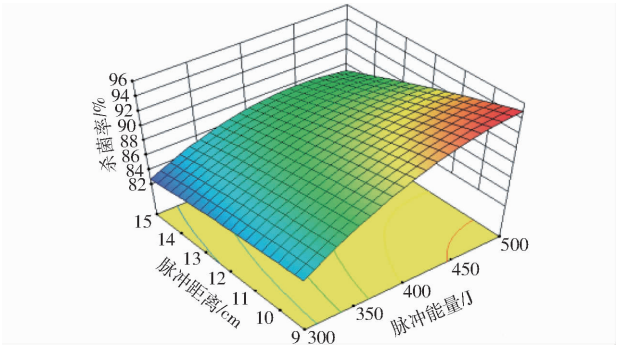


图 4 脉冲能量和脉冲距离对杀菌率的影响

Fig.4 Effect of pulse energy and pulse distance on sterilization rate

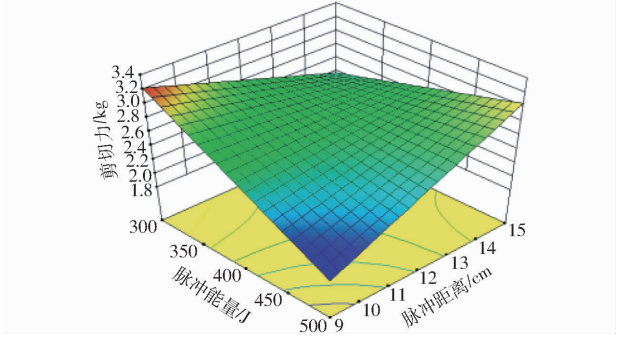


图 5 脉冲能量和脉冲距离对剪切力的影响

Fig.5 Effect of pulse energy and pulse distance on shear force

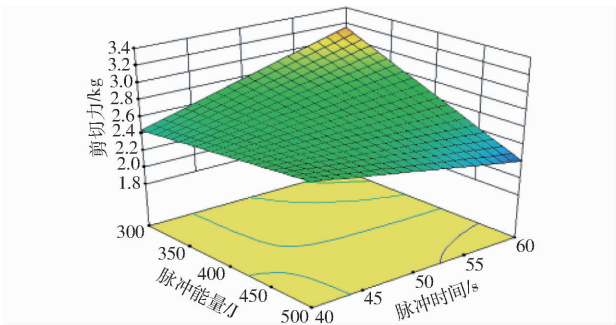


图 6 脉冲能量和脉冲时间对剪切力的影响
Fig.6 Effect of pulse energy and pulse time on shear force

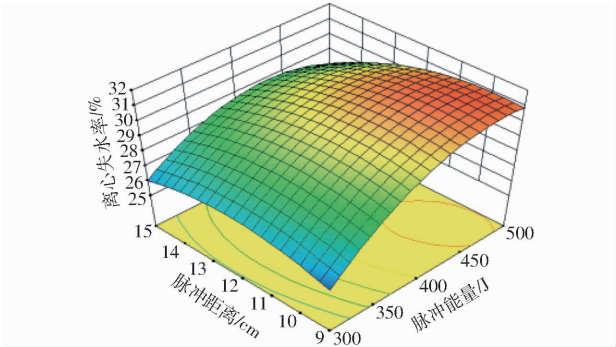


图 7 脉冲能量和脉冲距离对离心失水率的影响
Fig.7 Effect of pulse energy and pulse distance on water loss rate

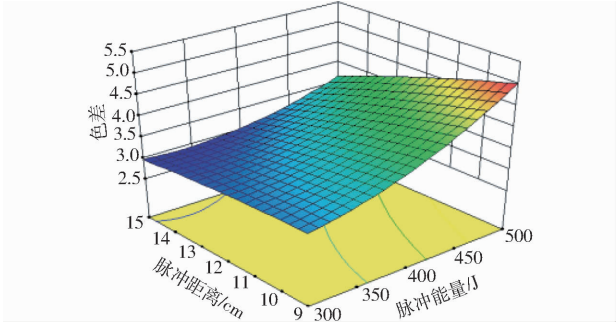


图 8 脉冲能量和脉冲距离对色差的影响
Fig.8 Effect of pulse energy and pulse distance on color

杀菌率、离心失水率、剪切力、色差的试验结果和预测结果的相对误差分别为 1.07%、1.17%、1.54%、2.02%，误差小，验证结果有力地说明了模型的准确性。所以，响应面法适用于脉冲强光对冷却分割鸡胸肉的杀菌条件和品质的回归分析和参数

表 3 验证试验结果

参数	试验组别			实测	预测值
	1	2	3	平均值	
杀菌率/%	90.00	89.97	93.02	91.00	90.03
离心失水率/%	32.00	30.00	30.00	30.67	30.31
剪切力/kg	2.47	2.73	2.56	2.59	2.63
色差	3.45	3.51	3.42	3.46	3.53

优化。

2.4 恒定温度下脉冲前后对货架期的影响

根据响应面优化的最佳杀菌条件,对冷却鸡胸肉进行脉冲处理。由表 4 可知,脉冲前,冷却鸡胸肉微生物菌体浓度为 4.79 lgCFU/g,对应的冷却鸡胸肉在 0℃ 和 4℃ 贮藏时的货架期分别为 8 d 和 6 d;脉冲后,冷却鸡胸肉微生物菌液浓度为 3.60 lgCFU/g,对应的冷却鸡胸肉在 0℃ 和 4℃ 贮藏时货架期分别为 10 d 和 7 d。与上阶段研究的冷却分割鸡胸肉剩余货架期预测模型^[24]的结果基本一致。

表 4 货架期试验结果

贮藏 温度/℃	脉冲前		脉冲后	
	微生物菌体浓度/ (lgCFU·g ⁻¹)	货架 期/d	微生物菌体浓度/ (lgCFU·g ⁻¹)	货架 期/d
0	4.79	8	3.60	10
4	4.79	6	3.60	7

3 结束语

根据试验结果,最终确定了脉冲强光杀菌最佳设备参数为脉冲能量 400 J、脉冲距离 12 cm、脉冲时间 50 s。在此条件下,菌落总数的杀菌率达到 90.03%,剪切力 2.63 kg,离心失水率 30.31%,色差为 3.53。同时对试验结果进行验证,得出杀菌率、离心失水率、剪切力、色差的相对误差分别为 1.07%、1.17%、1.54%、2.02%。由杀菌率可知,脉冲强光杀菌效果不理想,但实际要解决的问题是使冷却分割鸡胸肉放置在 0~4℃ 时,货架期在原有的基础上延长 1~2 d,试验达到了预期目的。

参 考 文 献

[1] FENG Y Z, SUN D W. Determination of total viable count (TVC) in chicken breast fillets by near-infrared hyperspectral imaging and spectroscopic transforms[J]. Talanta, 2013, 105(4):244-249.

[2] 叶藻, 谢晶, 高磊. 工厂实测冷鲜鸡冷却贮藏过程品质的变化[J]. 食品工业科技, 2015, 36(19):332-335. YE Zao, XIE Jing, GAO Lei. On-site tests of the quality changes of cold fresh chicken during chilling and cold storage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(19):332-335. (in Chinese)

[3] GONZALESBARRON U, CADAVEZ V, SHERIDAN J J, et al. Modelling the effect of chilling on the occurrence of salmonella on pig carcasses at study, abattoir and batch levels by meta-analysis[J]. International Journal of Food Microbiology, 2013, 163(2-3):101-113.

- [4] JU X, TU Y, ZOU J, et al. Changes in chilled chicken quality and correlation analysis during different shelf life[J]. *Animal Husbandry & Feed Science*, 2018, 10(2): 90–93.
- [5] PASKEVICIUTE E, BUCHOVEC I, LUKSIENE Z. High-power pulsed light for decontamination of chicken from food pathogens: a study on antimicrobial efficiency and organoleptic properties[J]. *Journal of Food Safety*, 2011, 31(1): 61–68.
- [6] CHEN J H, REN Y, SEOW J, et al. Intervention technologies for ensuring microbiological safety of meat: current and future trends[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science & Food Safety*, 2012, 11(2): 119–132.
- [7] HEINRICH V, ZUNABOVIC M, VARZAKAS T, et al. Pulsed light treatment of different food types with a special focus on meat: a critical review[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2016, 56(4): 591–613.
- [8] ARTIGUEZ M L, MARANON I M D. Improved process for decontamination of whey by a continuous flow-through pulsed light system[J]. *Food Control*, 2015, 47: 599–605.
- [9] TANG M L, CHEN Y J, WANG X L, et al. Application and research progress of PL technology in the food industry[J]. *Food & Fermentation Industries*, 2014, 40(11): 195–201.
- [10] MACGREGOR S J, ROWAN N J, MCLLVANEY L, et al. Light inactivation of food-related pathogenic bacteria using a pulsed power source[J]. *Letters in Applied Microbiology*, 2010, 27(2): 67–70.
- [11] OMS-OLIUL G, AGUILO-AGUAYO I, MARTIN-BELLOSO O, et al. Effects of pulsed light treatments on quality and antioxidant properties of fresh-cut mushrooms (*Agaricus bisporus*) [J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2010, 56(3): 216–222.
- [12] CHARLES F, VIDAL V, OLIVE F, et al. Pulsed light treatment as new method to maintain physical and nutritional quality of fresh-cut mangoes[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2013, 18(12): 190–195.
- [13] CHEN B Y, LUNG H M, YANG B B, et al. Pulsed light sterilization of packaging materials[J]. *Food Packaging & Shelf Life*, 2015, 5: 1–9.
- [14] HWANG H J, CHEIGH C I, CHUNG M S. Construction of a pilot-scale continuous-flow intense pulsed light system and its efficacy in sterilizing sesame seeds[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2017, 39: 1–6.
- [15] 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品 pH 值的测定: GB 5009. 237—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [16] 国家农业部. 肉的食用品质客观评价方法: NY/T 2793—2015[S]. 北京: 中国农业出版社, 2015.
- [17] WANG B, LIU X, TAO M A, et al. Optimization of pulsed light parameters for enhanced sterilization of bacteria on bread surface by using response surface methodology[J]. *Food Science*, 2014, 18: 74–77.
- [18] JOSHI S, YADAY S, DESAI A J. Application of response-surface methodology to evaluate the optimum medium components for the enhanced production of lichenysin by *Bacillus licheniformis* R2[J]. *Biochemical Engineering Journal*, 2008, 41(2): 122–127.
- [19] ZHANG B Q, ZHAO Y. Optimization of pulsed light enhancing sterilization of bacteria on fresh-cut lettuce by response surface methodology[J]. *Food & Fermentation Industries*, 2016, 42(1): 124–127.
- [20] 陈苗. 脉冲强光对牛奶中阪崎肠杆菌杂菌效果的影响[J]. *现代食品*, 2017, 11(22): 82–86.
- CHEN Miao. Optimization of sterilization on enterobacter sakazakii in milk by response surface method with pulsed light[J]. *Modern Food*, 2017, 11(22): 82–86. (in Chinese)
- [21] TOMASEVIC' I. The effect of intense light pulses on the sensory quality and instrumental color of meat from different animal breeds[J]. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 2015, 31(2): 273–281.
- [22] HEINRICH V, ZUNABOVIC M, BERGMAIR J, et al. Post-packaging application of pulsed light for microbial decontamination of solid foods: a review[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2015, 30: 145–156.
- [23] HAUGHTON P N, LVNG J G, MORGAN D J, et al. Efficacy of high-intensity pulsed light for the microbiological decontamination of chicken, associated packaging, and contact surfaces[J]. *Foodborne Pathogens & Disease*, 2011, 8(1): 109.
- [24] 董飒爽, 李传令, 赵改名, 等. 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[J]. *现代食品科技*, 2016, 32(8): 183–190.
- DONG Sashuang, LI Chuanling, ZHAO Gaiming, et al. On-site tests of aerobic bacterial count changes during chilled chicken chops production and establishment of shelf-life prediction model[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2016, 32(8): 183–190. (in Chinese)