

用于调理鸡肉的大气等离子体冷杀菌工艺优化

刘政 李娜 伍军 孙运金*

(1.北京农学院食品科学与工程学院,食品质量与安全北京实验室,北京 102206;
2.北京农学院食品科学与工程学院,农产品有害微生物
及农残安全检测与控制北京市重点实验室,北京 102206)

摘要: 本文采用大气等离子体放电技术处理调理鸡肉表面,在不损伤风味的情况下对其杀菌工艺进行研究。本研究以调理鸡肉的杀菌率和感官评价为指标,通过放电功率、处理时间、气体流量单因素实验探究冷杀菌工艺条件,并采用响应面法对其进行优化。结果表明,大气等离子体放电处理调理鸡肉的优化参数为气体流量为 40 L/min,放电时间 52 s,放电功率 450 W,杀菌率达到 96.34% ± 0.32%,与理论杀菌率相差 3.04%。这些数据表明,大气等离子体技术可对食品表面进行非热处理,具有明显的杀菌效果。

关键词: 调理鸡肉,大气等离子体,冷杀菌,工艺优化

Process Optimization of Nonthermal Sterilization of Atmospheric Plasma Technology Applied on Pre-processed Chicken

LIU Zheng, LI Na, WU Jun, SUN Yun-Jin*

(1.Beijing Laboratory of Food Quality and Safety, College of Food Science and Engineering, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China;
2.Beijing Key Laboratory of Agricultural Product Detection and Control for Spoilage Organisms and Pesticides, College of Food Science and Engineering, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China)

Abstract: The atmospheric plasma discharge technology was adopted in this study to treat the surface of pre-processed chicken of which sterilization process was studied while keeping the flavor of product. Based on the measurement of the sterilization rate and sensory evaluation, the single-factor test, such as discharge power, treatment time and gas flow, was investigated, then further optimized by response surface method. The results indicated that, the optimized parameters for atmospheric plasma discharge technology treatment of pre-processed chicken were gas flow rate of 40 L/min, discharge time of 52 s and discharge power of 450 W, reached experimental sterilization rate of 96.34% ± 0.32%, nearing the theoretical values by 3.04% difference. These data indicated that atmospheric plasma technology could treat food surface in a nonthermal condition with significant sterilized effect.

Key words: pre-processed chicken; atmospheric plasma; cold sterilization; process optimization

中图分类号: TS251.1

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2019)16-0145-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2019.16.024

引文格式: 刘政,李娜,伍军,等.用于调理鸡肉的大气等离子体冷杀菌工艺优化[J].食品工业科技,2019,40(16): 145-150.

预制鸡肉又称调理鸡肉,是以新鲜鸡胸肉为原材料,适当添加辅料,经滚揉、腌制、分切、加工等工艺加工而成的系列风味肉制品,并以不同的包装(袋装、盒装)、贮藏方式(冷冻、冷藏)进行储运、销售的产品^[1]。调理鸡肉,不仅营养丰富,方便快捷,而且节能省时,加热即可食用,逐渐受到年轻消费群体的喜

爱。但是调理鸡肉的食用品质易受到蛋白质、脂肪氧化以及微生物污染等因素的影响,造成了储藏期较短的缺点。市场上的调理肉制品大多采用 PE 普通托盘包装,没有经过系统的杀菌预处理及贮藏保鲜包装,货架期为 2~3 d。如何有效解决调理肉制品贮藏保鲜的技术问题是解决其应用和发展的关键。

收稿日期: 2018-11-12

作者简介: 刘政(1994-),男,硕士研究生,研究方向:食品加工与安全, E-mail: 18810234346@163.com。

* 通讯作者: 孙运金(1982-),男,博士,讲师,研究方向:食品包装工程, E-mail: aosdf2@163.com。

基金项目:北京市教育委员会科技计划一般项目(KM201910020003)。

大气等离子体是在大气状态下实现的一种放电等离子体,含有电子、离子、激发态分子、高能粒子、原子、活性氧、活性氮等活性成分,对细菌、孢子、病毒、真菌均具有杀菌作用^[2-5]。包括辉光放电^[6-7]、滑动弧放电^[8]、介质阻挡放电^[9-11]、射流放电^[12]、电晕放电^[13]等。李兆杰等^[14]研究辉光放电等离子体对鱼肉、奶粉、牛奶、淀粉、橙汁等五种食品进行杀菌处理,研究表明有明显的杀菌效果。王卓等^[15]通过介质阻挡放电等离子体对蓝莓进行杀菌处理,在45 kV,50 s工艺条件下,细菌以及真菌分别降低1.75,1.77 lg(CFU/g),显著降低了蓝莓腐败率。黄明明等^[16]对介质阻挡放电等离子体处理气调包装的生鲜牛肉的研究表明,等离子体可有效抑制牛肉中腐败菌的生长和生物胺的形成。李天琪^[17]研究结果表明介质阻挡放电等离子体在60 kV、60 s杀菌参数下对鱿鱼的杀菌效果最好,可将细菌和真菌降低至 0.01×10^3 (CFU/g)以下。上述放电方式例如辉光放电,介质阻挡放电等杀菌效果较显著,但均存在能耗高、处理样品较小的特点。相比之下,滑动弧放电技术杀菌能力强,能耗低,高效率,具有工业化应用的潜力。例如张志伟^[18]研究滑动弧放电对鲜切萝卜杀菌效果的影响,在170 V,5 min时杀菌率达到92.35%。鉴于等离子体在冷杀菌领域彰显的杀菌效果和非热特点,本文选取其中的一种大气等离子体技术——滑动弧放电技术,对调理鸡肉进行杀菌处理,优化大气离子体对调理鸡肉的处理工艺,达到延长调理鸡肉贮藏期的效果。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

鸡胸肉 北京昌平区华都肉联厂/低温冷链配(4℃);平板计数培养基、无菌均质袋(17 cm × 30 cm) 北京畅华试剂公司。

大气等离子体放电装置 实验室自制;YX-280 高压灭菌锅 江阴滨江医疗设备厂;JB-CJ-2FC 超净工作台 苏州佳宝净化工程设备有限公司;HWHS-250L 恒温恒湿培养箱 上海衡鼎仪器设备有限公司;SCIENTZ-11 无菌均质器 宁波新芝生物科技股份有限公司;OTS-800 无油空气压缩机 台州市奥突斯工贸有限公司;BCD-323WLDPN 冰箱 青岛海尔股份有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 大气等离子体放电装置 大气等离子体放电处理器主要由电源、处理反应室、气体流量测试表等组成,见图1。反应室内有两个平行铜电极(长度93 mm,厚度3.6 mm),气体从反应器顶端通入。调理鸡肉样品放在反应器端口下部,气体经过反应器时被两铜片间10 kV电压击穿,产生滑动弧放电,处理反应器下端的调理鸡肉样品。等离子体放电的处理参数包括滑动弧放电功率,气体流量以及处理时间。

1.2.2 样品处理 将案板、菜刀、PE保鲜膜、PP食品级托盘等所有试验相关的用品放入超净工作台,紫外灯照射30 min。把新鲜鸡胸肉放入超净工作台,

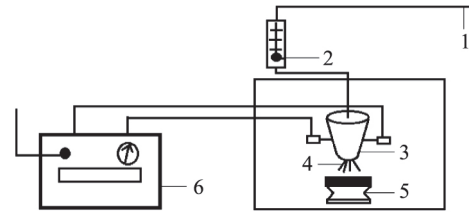


图1 大气等离子体放电设备

Fig.1 Atmospheric plasma discharge equipment

注:1.气源;2.气体流量测试计;3.反应器;

4.滑动弧放电;5.样品台;6.电源。

进行预处理(去皮、去骨),切丁(2.0 cm × 2.0 cm × 1.5 cm)称取20 g为一组,加辅料(食盐2%、料酒2%、淀粉8%、五香粉12%、味精0.5%以及一定量的酱油、葱、姜、蒜)配制后在4℃冰箱腌制3 h。随机抽取三组记为对照组,其余按照不同杀菌条件进行等离子体处理(每个样品做五次平行实验)。

1.2.3 大气等离子体放电对调理鸡肉杀菌工艺的研究

1.2.3.1 单因素实验 放电功率对调理鸡肉杀菌率及感官的影响,气体流量选取40 L/min,处理时间选取60 s,功率设定0、300、350、400、450、500 W;不同处理时间对调理鸡肉杀菌率及感官的影响,气体流量选取40 L/min,放电功率选取450 W,处理时间分别为0、30、60、90、120、150 s;不同气体流量对调理鸡肉杀菌率及感官的影响,处理时间选取60 s,杀菌功率选取450 W,气体流量为0、20、40、60、80、100 L/min。

1.2.3.2 响应面试验 根据响应面 Box-Behnken 设计原理以及结合单因素结果,在此以放电功率、处理时间、气体流量设计三因素三水平的响应面分析试验,以杀菌率为响应值进行响应面分析,得到并通过回归方程和模型确定出大气等离子体对调理鸡肉杀菌最优参数。

表1 响应面分析因素与水平

Table 1 Factors and levels in response surface design

水平	因素		
	A 放电功率 (W)	B 处理时间 (s)	C 气体流量 (L/min)
-1	350	30	20
0	400	60	40
1	450	90	60

1.2.3.3 杀菌率 取肉样20 g放于均质袋中,加入180 mL生理盐水,封口,均质器以15次/s拍打30 s,梯度稀释后选取适宜稀释度进行涂平板(本实验选取稀释度:10⁻¹、10⁻²、10⁻³ CFU/mL),然后37℃培养24 h计数,计算其杀菌率^[19]。

杀菌率计算公式如下:

$$\text{杀菌率}(\%) = \frac{N_0 - N_p}{N_0} \times 100$$

式中: N₀: 对照组菌落数, (CFU/g), N_p: 处理组菌落数, (CFU/g)。

1.2.4 感官评价 调理鸡肉感官评价指标包括肉样的色泽、粘度、气味、弹性,邀请食品专业的学生12

人(男女比例 1:1)组成固定评定小组,根据表 2 调理鸡肉评价标准进行感官评价。评分参照 GB 16869-2005《鲜冻禽产品》和 GB/T 22210-2008《肉与肉制品感官评定规范》,每项指标占 25% 分值,总分值 10 分(综合评价) 8 分及 8 分以上为新鲜肉样。

表 2 调理鸡肉感官评价标准

项目	感官评定标准	得分(分)
色泽	肉色正常,有光泽	8~10
	肉色光泽度降低	6~8
	肉色暗淡	1~6
粘度	表明微湿、不粘手	8~10
	表面发干、不粘手	6~8
气味	粘手	1~6
	气味正常	8~10
	轻微异味	6~8
	腐败味	1~6
弹性	弹性较好	8~10
	弹性差	6~8
	无弹性	1~6
综合评价	权衡以上 4 个指标	1~10

1.3 数据处理

单因素实验结果用 Origin 9 软件分析作图,用 Design-Expert V8.0.6.1 软件处理响应面试验结果,并用最小二乘法进行二次多项式回归统计分析。

2 结果与分析

2.1 等离子体放电工艺对调理鸡肉的杀菌率和感官性能的影响

2.1.1 放电功率对杀菌率的影响 从图 2 与表 3 中可知,随着放电功率的增加,杀菌率呈先上升后平缓的趋势,调理鸡肉的感官品质随杀菌功率增大逐渐降低。功率升高将提高电极间的电离度,产生更高浓度的活性带电粒子,提高了杀菌率。但当功率达到 450 W 之后,电离气体虽可有效、完全灭杀产品表面的微生物,但不能灭杀产品内部微生物。因此,杀菌率随功率的升高达到了一个恒定值。活性带电粒子在灭菌的同时还对样品表面产生一定程度的轰击作用^[20],导致感官评价下降。

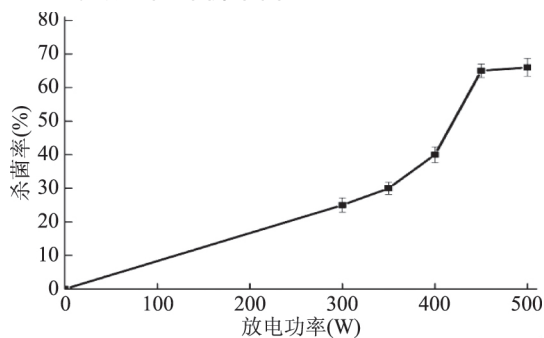


图 2 放电功率对调理鸡肉杀菌率的影响

Fig.2 Effect of discharge power on sterilization rate of pre-processed chicken

在处理时间 60 s 和气体流量为 40 L/min 时,随着

表 3 放电功率对调理鸡肉感官性能的影响(分)

Table 3 Effect of discharge power on sensory performance of pre-processed chicken(scores)

杀菌功率(W)	0	300	350	400	450	500
色泽	10	9	9	9	8	7
粘度	10	8	8	8	8	6
气味	10	9	8	8	8	8
弹性	10	8	8	8	8	7
综合评分	10	8.5	8.3	8.3	8	7

功率逐渐增加,处理组的感官评价均低于对照组。综合考虑杀菌率与感官评价,选择放电功率 350~450 W 进行响应面实验。

2.1.2 处理时间对杀菌率的影响 由图 3 可知,60 s 之前随着放电处理时间的延长,杀菌率上升明显;当处理时间超过 60 s 时,杀菌率维持在恒定水平。放电处理时间的延长可增加电离气体中活性带电粒子与调理鸡肉的作用时间,使其杀菌效果更好。

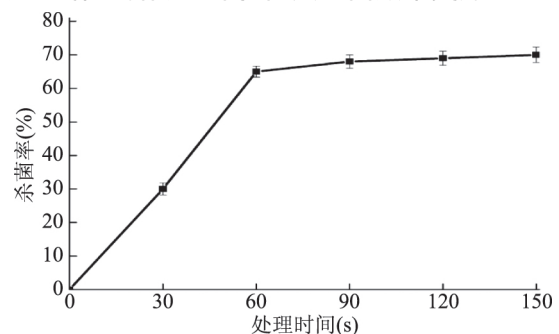


图 3 处理时间对调理鸡肉杀菌率的影响

Fig.3 Effect of treatment time on the sterilization rate of pre-processed chicken

从表 4 可知,随杀菌时间的延长,调理鸡肉的感官评价逐渐降低,在杀菌 60 s 之前,能保持肉样原有的感官品质的 80%,90 s 之后,肉样会出现表面变干,肉色暗淡,150 s 时有异味产生,感官品质下降至 50%。电离的气体除了与微生物的相互作用之外,还对调理鸡肉的表面产生一定的损伤,具体表现在鸡肉中的水分在电离气体的作用下分解,迅速脱离肉体表面,造成调理鸡肉表面发干。同时,等离子体产生的活性氧、活性氮等物质具有氧化性^[21-22],在达到一定处理时间后对调理鸡肉的色泽产生一定的影响。因此,在不影响感官评价的前提下,合理的等离子体处理时间为 30~60 s。

表 4 处理时间对调理鸡肉感官性能的影响(分)

Table 4 Effect of treatment time on sensory performance of pre-processed chicken(score)

杀菌时间(s)	0	30	60	90	120	150
色泽	10	9	8	6	5	5
粘度	10	10	8	6	4	5
气味	10	8	7	5	5	4
弹性	10	9	9	7	6	6
综合评分	10	9	8	6	5	5

2.1.3 气体流量对杀菌率的影响 由图 4 可知,在其

他条件保持不变时,气体流量对调理鸡肉的杀菌率有一定的影响。当气体流量较低时,电离的气体到达调理鸡肉表面时间较长,内部的活性粒子成分有可能湮灭,导致杀菌率较低。当气体流量升至为40 L/min时,杀菌率达到最高;气体流量高于40 L/min,杀菌率逐渐降低,这可能是较快的气体流量降低了等离子体的电离度,使得电离不完全,从而降低了杀菌效果。

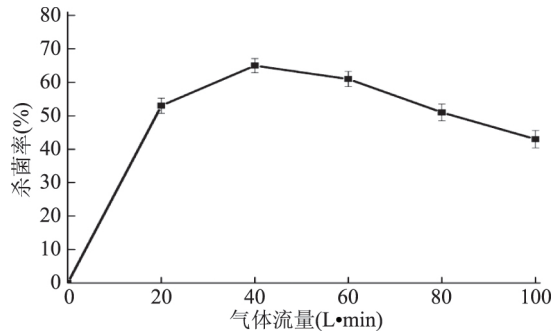


图4 气体流量对调理鸡肉杀菌率的影响

Fig.4 Effect of gas flow rate on sterilization rate of pre-processed chicken

从表5可看出,气体流量的变化对调理鸡肉的感官性能影响较小。随着气体流量的增高,调理鸡肉表面的离子、电子、高能粒子等随之增多,提高了灭菌率,大气等离子体处理对调理鸡肉的感官评价没有较大的影响。综合评价,选择20~60 L/min为气体流量。

2.2 响应面试验结果

2.2.1 回归模型建立以及显著性分析 在单因素的基础上,通过选取放电功率(A)、处理时间(B)、气体流量(C)等因素进行响应面 Box-Behnken 设计,研究其对杀菌率(Y)的影响。各组实验设计及杀菌率结果见表6。利用 Design-Expert V8.0.6.1 软件进行设计之间的多元回归拟合,得到以杀菌率(Y)为目标函数的二次多项回归方程:

$$Y = 84.83 + 3.83A - 2.01B + 0.095C - 4.33AB - 0.028AC - 2.25BC + 9.91A^2 - 12.41B^2 - 17.27C^2$$

表5 气体流量对调理鸡肉感官性能的影响(分)

气体流量 (L/min)	0	20	40	60	80	100
色泽	10	9	8	7	8	9
粘度	10	9	8	8	8	8
气味	10	8	9	8	8	8
弹性	10	9	8	8	8	8
综合评分	10	8.8	8.3	7.8	8.0	8.3

表6 响应面设计及结果

Table 6 Experiment design and results for response surface analysis

实验号	A	B	C	Y 杀菌率 (%)
1	-1	-1	0	75.55
2	1	-1	0	89.45
3	-1	1	0	83.86
4	1	1	0	80.45
5	-1	0	-1	75.43
6	1	0	-1	85.54
7	-1	0	1	69.45
8	1	0	1	79.45
9	0	-1	-1	53.53
10	0	1	-1	50.34
11	0	-1	1	64.45
12	0	1	1	52.25
13	0	0	0	88.03
14	0	0	0	81.35
15	0	0	0	83.35
16	0	0	0	84.46
17	0	0	0	86.96

由表7中的方差分析可知,实验设计模型 $p =$

表7 杀菌率回归模型方差分析

Table 7 Variance analysis of bactericidal rate regression model

	平方和	自由度	均方	F 值	p 值	显著性
Model	2539.16	9	282.13	13.60	0.0012	**
A	117.05	1	117.05	5.64	0.0492	*
B	32.32	1	32.32	1.56	0.2521	-
C	0.07	1	0.07	0.82	0.9546	-
AB	74.91	1	74.91	3.61	0.0992	-
AC	0.06	1	0.06	0.76	0.9907	-
BC	20.30	1	20.30	0.98	0.3556	-
A ²	413.78	1	413.78	19.95	0.0029	**
B ²	648.64	1	648.64	31.27	0.0008	**
C ²	1256.06	1	1256.06	60.55	0.0001	**
残差项	145.21	7	20.74			
失拟项	116.08	3	38.69	5.31	0.0702	*
纯误差	29.13	4	7.28			
总和	2684.37	16				

注: **表示差异极显著($p < 0.01$); *表示差异显著($p < 0.05$); -表示无显著性差异($p > 0.05$)。

0.0012 < 0.01 极显著; 失拟项 $p = 0.0702 > 0.05$ 不显著, 表明建立的二次回归模型能有效对响应值进行预测。通过表 7 回归模型系数显著性分析结果可知, 影响杀菌率 (Y) 的各因素按主次顺序排列为: 放电功率 (A) > 处理时间 (B) > 气体流量 (C), A^2 、 B^2 和 C^2 对指标影响极显著 ($p < 0.01$), A 对指标影响显著 ($p < 0.05$), 其他因素的影响均不显著。

2.2.2 响应面模型交互作用 通过分析模型的响应曲面图, 如图 5~图 7 所示, 响应面的弯曲程度反映两因素的交互作用对指标的影响程度, 曲面越大, 说明因素与变量交互越显著; 反之越弱。由此可知, 三种因素的两两交互作用对响应值的影响不显著。从图 5 可以看出, 放电功率比处理时间的曲面斜率更大, 表明放电功率对杀菌率的影响更显著。从图 6 可以看出, 处理时间比气体流量的曲面斜率更大, 表明处理时间对杀菌率的影响更显著。从图 7 可以看出, 放电功率比气体流量的曲面斜率更大, 表明放电功率对杀菌率的影响更显著。

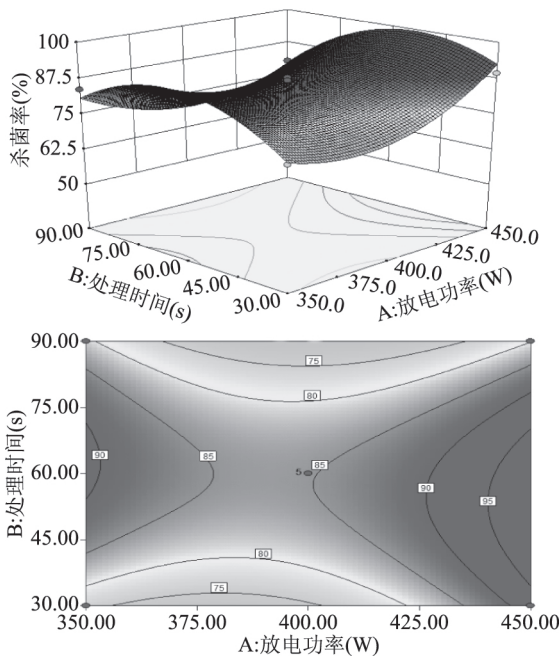


图 5 放电功率和处理时间对杀菌率交互作用的响应面图

Fig.5 Response surface diagram of the interaction between discharge power and treatment time on sterilization rate

2.3 验证试验

通过响应面优化出最优条件: 放电功率 450 W, 处理时间 52.25 s, 气体流量 40.39 L/min, 预测杀菌率达到 99.38%。根据实际情况, 校正处理时间 52 s, 气体流量 40 L/min。在此工艺下进行三次验证实验, 测出杀菌率为 $96.34\% \pm 0.32\%$, 与理论杀菌率相差 3.04%, 表明了该方程与实际拟合较好, 验证了此模型的合理性。

3 结论

本研究通过大气等离子体冷杀菌技术对调理鸡肉进行处理, 表明大气等离子体对调理鸡肉表面具有良好的杀菌效果。根据实际情况选取处理工艺: 灭菌功率 450 W, 处理时间 52 s, 气体流量 40 L/min。

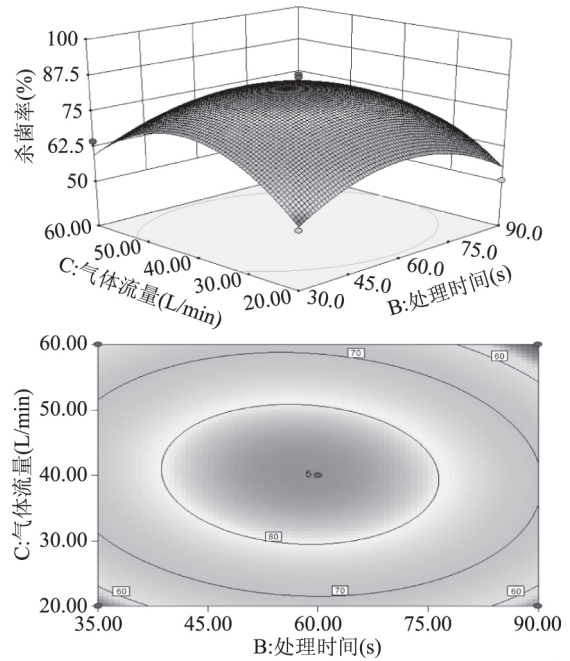


图 6 处理时间和气体流量对杀菌率交互作用的响应面图

Fig.6 Response surface diagram of the interaction between treatment time and gas flow on sterilization rate

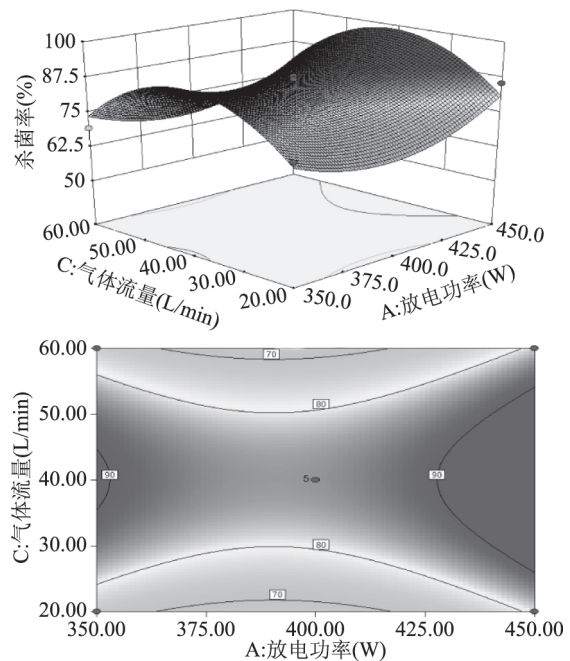


图 7 放电功率和气体流量对杀菌率交互作用的响应面图

Fig.7 Response surface diagram of the interaction

between discharge power and gas flow on sterilization rate

验证实验测得杀菌率为 $96.34\% \pm 0.32\%$ 。与预测值相对误差小于 5%, 杀菌效果明显。本实验为延长调理鸡肉贮藏期的研究提供前期的杀菌基础理论, 后期通过大气等离子体杀菌处理技术结合其他保鲜技术研究贮藏期。

参考文献

[1] 刘琳, 张德权, 贺雅非. 调理肉制品保鲜技术研究进展 [J]. 肉类研究, 2008(5): 3-4.
[2] 寇艳芹. 脉冲电场和等离子体杀灭水中微生物的实验研

究[D].浙江:浙江大学 2015.

[3]江敏,易志健,黄逸凡,等.基于悬浮电极介质阻挡放电的低温等离子体灭菌实验研究[J].集成技术,2018,38(4):53-59.

[4]Sun Y,Zhang Z,Wang S.Study on the bactericidal mechanism of atmospheric - pressure low - temperature plasma against *Escherichia coli* and its application in fresh-cut cucumbers [J].Molecules 2018 23(4):975.

[5]Brun P,Bernabè G, Marchiori C, et al. Antibacterial efficacy and mechanisms of action of low power atmospheric pressure cold plasma: Membrane permeability, biofilm penetration, and antimicrobial sensitization [J].Journal of Applied Microbiology, 2018, 125(2):398-408.

[6]李沛,刘文正,李成柳,等.辉光放电等离子体灭菌技术的研究[J].微计算机信息 2009 25(5):260-262.

[7]周倩倩,黄城.低气压高密度等离子体放电研究[J].集成电路应用 2018(9):58-59.

[8]Kwon,Woo-Taeg, Lee,Woo-Sik. A study on combined processes of sliding arc plasma and corona dielectric barrier discharge for improve the efficiency treatment of harmful substance [J].Fire Science and Engineering, 2014, 28(6):108-113.

[9]孙岩洲,石兴民,王辉,等.介质阻挡放电杀灭枯草杆菌芽孢的电镜观察[J].高压电器 2005 41(1):10-12.

[10]张梅.低温等离子体灭菌实验研究[D].上海:东华大学 2007.

[11]贾建平.介质阻挡放电等离子体灭菌消毒实验研究[D].湖北:华中科技大学 2007.

[12]张健,曹昕明,安英英.大气压射流气体放电与等离子体应用[J].信息记录材料 2018(7):19-20.

[13]倪盈.低温等离子体杀菌的实验研究[D].北京:北京工业大学 2009.

[14]李兆杰,刘小菁,杨丽君,等.辉光放电低温等离子体技术对食品的杀菌及其品质影响研究[J].安徽农业科学 2015, 43(8):310-312.

[15]王卓,周丹丹,彭菁,等.低温等离子体对蓝莓果实的杀菌效果及其品质的影响[J].食品科学,2018,39(15):101-106.

[16]黄明明,乔维维,章建造,等.低温等离子体冷杀菌对生鲜牛肉主要腐败菌及生物胺抑制效应研究[J].食品科学技术学报 2018 36(4):17-31.

[17]李天琪.低温等离子体对即食鱿鱼丝品质的影响研究[D].浙江:浙江海洋大学 2017.

[18]张志伟.常压低温等离子体对鲜切胡萝卜表面金黄色葡萄球菌的杀菌效果及品质影响[J].粮油食品科技 2018 26(3):50-55.

[19]乔维维,黄明明,王佳媚,等.低温等离子体对生鲜牛肉杀菌效果及色泽的影响[J].食品科学 2017, 38(23):237-242.

[20]Hu Miao,Guo Yun.The effect of air plasma on sterilization of *Escherichia coli* in dielectric barrier discharge [J].Plasma Science and Technology 2012 14(8):735-741.

[21]Yan X,Meng Z,Ouyang J, et al. Cytoprotective effects of atmospheric-pressure plasmas against hypoxia-induced neuronal injuries [J].Journal of Physics D Applied Physics 2018 51(8):1361-1376.

[22]Arndt S,Unger P,Berneburg M, et al. Cold atmospheric plasma (CAP) activates angiogenesis-related molecules in skin keratinocytes, fibroblasts and endothelial cells and improves wound angiogenesis in an autocrine and paracrine mode [J].Journal of Dermatological Science 2018 89(2):181-190.

(上接第144页)

参考文献

[1]石瑞君,李红玉,刘锦文,等.绿茶副产物中提取茶多酚及酯型儿茶素[J].安徽农业科学 2010 38(29):16452-16455.

[2]尚进,江波,张燕,等.响应面法优化铁观音茶梗中茶多糖提取工艺[J].基因组学与应用生物学 2017 36(11):4811-4817.

[3]江伟杰,江贵波,郑纳勇,等.茶末和茶梗叶绿素与茶多酚的提取与应用[J].轻工科技 2016(2):8-9.

[4]陈沛鑫,高英,李卫民.正交试验优选茶梗中茶氨酸的提取工艺[J].中国实验方剂学杂志 2012 18(17):39-41.

[5]许丽梅,陈泳诗,林婷婷,等.由茶梗改性制备磁性纤维素材料及其对废水中 Cu(II) 的吸附性能[J].纤维素科学与技术 2018 26(2):9-16.

[6]向文英,谢冰冰,胡军涛,等.铁观音茶梗对废水中 Cr(VI) 的还原吸附[J].重庆大学学报 2018 41(10):103-116.

[7]吴昌正,蔡慧农,倪辉,等.茶梗固态生料发酵产单宁酶研究[J].茶叶科学 2014 34(1):79-86.

[8]王伟伟,施莉婷,俞露婷,等.不同茶类加工副产物的化学成分分析[J].食品工业科技 2018 39(24):260-265.

[9]Xia T, Shi S Q, Wan X C. Impact of ultrasonic - assisted extraction on the chemical and sensory quality of tea infusion [J].Journal of Food Engineering 2006 74(4):557-560.

[10]陈钢,李栋林,史建鑫,等.响应面法优化超声耦合双水相体系提取茶多酚工艺[J].食品科学,2016,37(6):95-100.

[11]陆晨,邹雨虹,张士康,等.响应面法优化超声辅助提取茶渣蛋白质的工艺条件[J].食品与生物技术学报 2012 31(3):319-325.

[12]陈义勇,窦祥龙,黄友如,等.响应面法优化超声-微波协同辅助提取茶多糖工艺[J].食品科学 2012 33(4):100-103.

[13]杨刘艳,江和源,张建勇,等.速溶茶提取技术研究进展[J].食品安全质量检测学报 2015 6(4):1193-1198.

[14]欧阳晓江.冷溶速溶红茶粉的工艺研究[D].福州:福建农林大学 2009.

[15]中华人民共和国工业和信息化部.QB/T 4068-2010 食品工业用茶浓缩液[S].北京:中国标准出版社 2010.

[16]中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.GB/T 23776-2018 茶叶感官审评方法[S].北京:中国标准出版社 2018.

[17]陈云.超声波辅助提取碧螺春茶多酚工艺研究[J].中国食品添加剂 2018(2):105-111.

[18]Ramalho S A, Nigam N, Barbosa G. Effect of infusion time on phenolic compounds and caffeine content in black tea [J].Food Research International 2013 51(1):155-161.