

常压低温等离子体对黄瓜表面大肠杆菌杀菌效果及品质的影响

孙 艳^{1,2}, 张志伟^{1,2}, 王世清^{1,2}

(1. 青岛农业大学 食品科学与工程学院, 山东 青岛 266000;

2. 青岛市现代农业质量与安全工程重点实验室, 山东 青岛 266000)

摘 要:采用常压低温等离子体 (Atmospheric Pressure Low - Temperature Plasma, APLTP) 对鲜切黄瓜表面进行杀菌处理, 研究 APLTP 对鲜切黄瓜表面大肠杆菌的杀菌效果。在单因素的实验基础上, 利用响应面分析方法建立大肠杆菌杀菌率的二次项数学模型, 利用模型对处理电压、处理时间和处理极距及其相互作用进行分析, 并在最佳工艺条件下处理鲜切黄瓜, 研究其品质的变化。结果表明: APLTP 能有效杀死鲜切黄瓜表面的大肠杆菌, 各因子对杀菌率的影响大小依次是处理电压 > 处理极距 > 处理时间, 最佳工艺条件为处理电压 170 V, 处理时间 5 min, 处理极距 2.5 cm, 此时杀菌率高达 99.65%, 与预测值 99.60% 接近, 提高了鲜切黄瓜食用安全性。APLTP 处理前后黄瓜的水分含量、可溶性固形物、pH 值、色泽、相对电导率、丙二醛及 Vc 含量变化均不显著 ($P > 0.05$), 较好的保持了黄瓜的水分、糖度、酸度和颜色, 同时维持了细胞膜的通透性及抗氧化能力。

关键词:常压低温等离子体; 鲜切黄瓜; 大肠杆菌; 杀菌率

中图分类号: TS 207.4 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2018)01-0061-07

Effect of atmospheric pressure low temperature plasma on sterilization rate of escherichia coli on sliced cucumber surface and quality attributes

SUN Yan^{1,2}, ZHANG Zhi-wei^{1,2}, WANG Shi-qing^{1,2}

(1. College of Food Science and Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao Shandong 266000;

2. Qingdao Key Laboratory of Modern Agricultural Quality and Safety Engineering, Qingdao Shandong 266000)

Abstract: The surface of fresh cucumber was sterilized by atmospheric pressure low temperature plasma to study sterilization effect of atmospheric pressure low temperature plasma on *Escherichia coli* (*E. coli*) on the fresh sliced cucumber surface. On the basis of single factor test, a quadratic polynomial mathematical model for the sterilization rate of *E. coli* was established by response surface methodology to analyze the effects of processing voltage, time and pole distance, and their pairwise interactions, and the quality of cucumber was studied under the optimum conditions. The experimental results showed that *E. coli* on the fresh sliced cucumber surface could be effectively killed by atmospheric pressure low temperature plasma. Factors influencing the sterilization rate were in order as processing voltage > processing pole distance > processing time. The conditions were optimized as follows: processing voltage 170 V, processing time 5 min, processing pole distance 2.5 cm. the sterilization rate reached to 99.65% under these conditions, which closed to the predicted value of 99.60%, and improved the edible safety of fresh sliced cucumber. The factors, include water content, soluble solids, pH value, color, relative conductivity, malondialdehyde and Vc content of cucumber, were not significantly changed ($P > 0.05$). The fresh sliced cucumber remained

收稿日期: 2017-08-29

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31271963); 山东省农业产业技术体系蔬菜创新团队 (SDAIT-5-21); 青岛农业大学高层次人才启动基金 (66311115045)

作者简介: 孙艳, 1993 年出生, 硕士研究生。

通信作者: 王世清, 1961 年出生, 男, 教授, 博士。

the moisture, sugar, acidity and color, as well as the cell membrane permeability and antioxidant capacity.

Key words: atmospheric pressure low temperature plasma; sliced cucumber; escherichia coli; sterilization rate

鲜切果蔬是以新鲜果蔬为原料,经一系列加工后,再经低温运输进入各地销售的成品^[1]。鲜切果蔬属于干净的菜品,既保持了果蔬自然的新鲜度,又使产品洁净、新鲜、自然、便利、健康以及可即食,能够满足当代人们追求安全、健康的生活需求和快节奏的生活方式^[2-3]。但鲜切加工操作(如去皮、切割及切片等)使果蔬失去了天然保护防御机制,去皮、切割等处理破坏了具有保护作用的各种组织结构,大面积的汁液流失给予微生物滋生有利的环境条件,提高病原微生物的侵染率,给成品带来安全隐患^[4-7]。美国早在1963年就开始对食源性致病菌高度重视,并在20、21世纪对食品中食源性致病菌的杀菌方法进行了大量的研究。目前,我国对鲜切蔬菜中食源性致病菌的专题研究还没有引起有足够的重视^[8-11]。

大肠杆菌(*Escherichia coli*, *E. coli*)是目前世界公认引起食源性疾病的重要致病菌之一,是肠道中的寄居菌,产生毒素造成人和动物患病^[12]。食用被大肠杆菌侵染的食品会出现恶心、呕吐、腹痛等症状^[13]。近年来在鲜切果蔬中常检测出大肠杆菌的存在,故抑制和消除鲜切果蔬中的大肠杆菌对于提高其食品安全性具有重要意义^[14]。

等离子体杀菌作为一种新兴的绿色灭菌技术,能高效产生杀死或失活微生物的自由基及活性成分,有效地消灭细菌,具有温度低、耗时短、效率高、无污染、无毒素等优点,等离子体杀菌能以最大的程度维持食品的色、香、味、形,在食品应用领域得到广泛普及^[15-21]。随着研究的不断深入,等离子体技术取得了很大进展,但常压低温等离子体(Atmospheric Pressure Low-Temperature Plasma, APLTP)设备对鲜切果蔬微生物的研究较少^[22-30]。

本实验以鲜切果蔬的代表黄瓜为原料,研究APLTP在不同的电压、极距、时间条件下对大肠杆菌的影响,在单因素实验的基础上,利用响应面优化APLTP杀菌条件,并在最佳条件下处理鲜切黄瓜,比较处理前后品质的变化,以期在APLTP杀菌

方面得到较为科学的理论依据。

1 材料与方法

1.1 样品与试剂

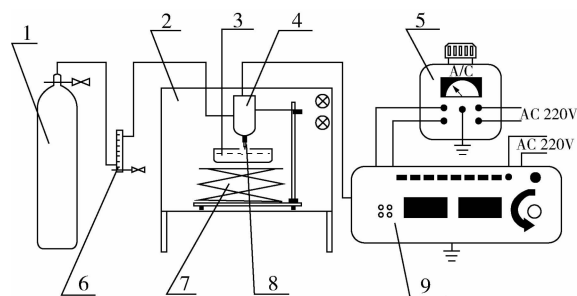
黄瓜:购自青岛市城阳区大润发超市;0.1%无菌蛋白胨水溶液、LB肉汤、LB营养琼脂:青岛高科技园海博生物技术有限公司;大肠杆菌:青岛农业大学中韩食品生物技术室保存菌种;钼酸铵:天津市风船化学试剂科技有限公司;硫代巴比妥酸:上海山浦化工有限公司。

1.2 仪器与设备

洁净工作台:苏净集团安泰公司;电热恒温培养箱:龙口市先科仪器公司;AR224CN电子天平:奥豪斯仪器有限公司;BS-1500L电子天平:启东友铭衡器有限公司;远红外干燥箱:江苏东台电器厂;BKQP-50L高压蒸汽灭菌锅:济南博鑫生物技术有限公司;BAGMIXER-400W型均质器:法国INTER-SCIENCE公司;PAL-福折射仪:广州爱宕科学仪器有限公司;pHS-3C pH计:杭州齐威有限公司;CR-400色差仪:日本柯尼卡美能达公司;TU-1810紫外分光光度计:北京普析通用仪器有限责任公司;FE38电导率仪:上海METTLER-TOLEDO仪器有限公司。

1.3 常压等离子体实验装置

常压等离子体实验装置由中国科学院等离子体物理研究所研制,构成如图1所示。



1—氟气瓶,2—超净工作台,3—样品,4—等离子体电极,5—TDGC2-2型接触调压器,6—LZB-10浮子流量计,7—高度调节器,8—等离子体,9—高频电压交流电源

图1 常压等离子体实验装置

1.4 实验方法

1.4.1 微生物检测

1.4.1.1 菌悬液制备 用无菌接种环取适量斜面培养的大肠杆菌于灭菌的 LB 肉汤中,放在 37 ℃ 摇床中过夜培养,制备浓度约为 8 log CFU/mL 的菌悬液。

1.4.1.2 样品制备及处理 在常温无菌操作室内,将新鲜黄瓜用无菌水冲洗干净后,用消毒的无菌刀将黄瓜切成片状,每 25 g 鲜切样品接种 1 mL 大肠杆菌菌液,于无菌操作室中的生物安全柜中干燥 30 min 后进行 APLTP 处理。

1.4.1.3 大肠杆菌计数 将处理好的样品装入无菌袋中,倒入 225 mL 无菌蛋白胨水(0.1%),置于均质器中,速度设置为 6 h/s,时间为 1 min,制备 1:10 的稀释液,然后取袋内溶液 1 mL,进行不同梯度的浓度稀释。选取合适梯度的稀释液 1 mL 于平板中心,倾注灭菌冷却的 LB 营养琼脂摇晃使其混合均匀。待琼脂凝固于 37 ℃ 培养 18~24 h 后计数。每个梯度重复 3 次。

1.4.1.4 单因素实验 设计选取处理电压为 150、155、160、165、170 V,处理时间 3 min,处理极距 3 cm,研究 APLTP 处理电压对大肠杆菌杀菌率的影响。

选取处理时间为 1、2、3、4、5 min,处理电压 170 V,处理极距 3 cm,研究 APLTP 处理时间对大肠杆菌杀菌率的影响。

选取处理极距为 2、2.5、3、3.5、4 cm,处理电压 170 V,处理时间 3 min,研究 APLTP 处理极距对大肠杆菌杀菌率的影响。

1.4.1.5 响应面法优化 APLTP 对鲜切黄瓜表面杀菌效果的影响 在单因素实验基础上,利用 Box-Behnken 实验设计以处理电压、处理时间、处理极距为考察变量,分别以 A、B、C 表示,以杀菌率 Y 为响应值,以 -1、0、+1 分别代表自变量的低、中、高水平进行编码,实验因子及水平见表 1。

表 1 响应面法实验设计的因子和水平

因子	水 平		
	-1	0	1
处理电压 A/V	160	165	170
处理时间 B/min	3	4	5
处理极距 C/cm	2	2.5	3

1.4.1.6 微生物计数 采用大肠杆菌杀菌率分析各因素对常压等离子体杀菌效果的研究,杀菌率公式按公式(1)计算。

$$R = \frac{N_0 - N}{N_0} \times 100 \quad (1)$$

式中: N_0 为 APLTP 处理前大肠杆菌菌落数; N 为 APLTP 处理后大肠杆菌菌落数; R 为杀菌率,%。

1.4.2 理化指标测定

水分含量测定:参照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》;可溶性固形物(TSS):用数显折光仪测定;pH:采用 pH 计测定;丙二醛含量测定:采用硫代巴比妥酸比色法;抗坏血酸(Vc)的测定采用钼蓝比色法^[31]测定;果肉色泽的测定使用 CR-400 色差仪测定色差,测定参数为 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值。所有测定均重复 3 次。

相对电导率测定:将黄瓜切成大小一致厚薄均匀的薄片,准确称取 2 g 于 50 mL 的蒸馏水中浸泡 2 h,用电导率仪测定其电导率记录数据。再经加热煮沸处理 20 min,待冷却后测定电导率。每个样品重复 3 次。相对电导率按公式(2)计算。

$$R/\% = \frac{R_1}{R_2} \times 100 \quad (2)$$

式中, R 为相对电导率, $\mu\text{S}/\text{m}$; R_1 为煮沸前电导值, $\mu\text{S}/\text{m}$; R_2 为煮沸后电导值,%。

1.4.3 数据处理与分析

采用 Microcal Origin 7.5 软件制图并对数据进行方差分析(ANOVA),显著性水平为 0.05,当 $P < 0.05$ 时表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 APLTP 对杀菌效果影响

2.1.1 处理电压、处理时间及处理极距对鲜切黄瓜表面大肠杆菌的影响

从图 2 可以看出,APLTP 对鲜切黄瓜表面的大肠杆菌具有明显的致死作用,在处理时间 3 min、处理极距 3 cm 的条件下,随着电压的升高,APLTP 对大肠杆菌的杀菌效果逐渐增强,160 V 以上时杀菌效果趋于平稳,在 170 V 时鲜切黄瓜表面的大肠杆菌致死 86.27%。与 Kim 等^[32]研究等离子体对辣椒表面的杀菌作用结果一致,等离子体电压对杀菌效率有显著影响,电压增高,杀菌率增大。

从图 3 可以看出,在处理电压 170 V、处理极距

3 cm 的条件下,APLTP 处理时间对鲜切黄瓜表面大肠杆菌的影响。当处理时间 3 min 后杀菌率趋于平缓,在 5 min 时,杀菌率达到 91.18%。Misra 等^[33]的研究表明杀菌率随时间延长先上升后平缓,与本研究结果一致。

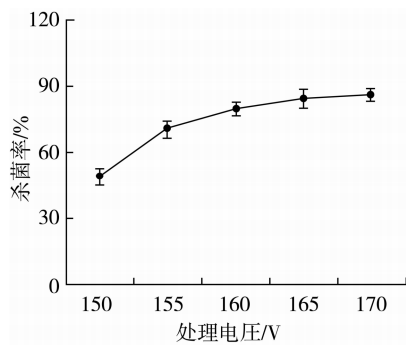


图 2 处理电压对鲜切黄瓜表面大肠杆菌的影响

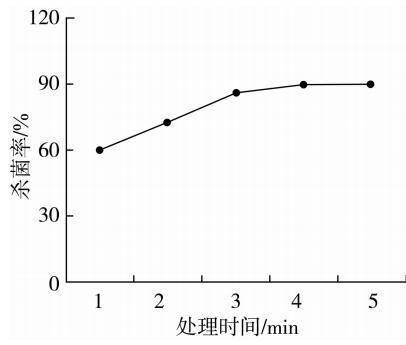


图 3 处理时间对鲜切黄瓜表面大肠杆菌的影响

图 4 显示在处理电压 170 V、处理时间 3 min 条件下,APLTP 处理极距与鲜切黄瓜表面大肠杆菌的致死率成反比,2 cm 时杀菌率可达 91.14%。

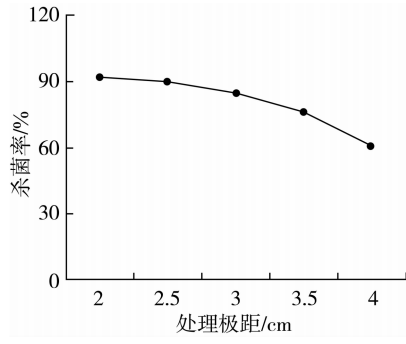


图 4 处理极距对鲜切黄瓜表面大肠杆菌的影响

2.1.2 实验模型建立及显著性检验

为进一步优化 APLTP 处理条件,根据 Box - Behnken 实验设计原理,选取处理电压(A)、处理时间(B)和处理极距(C)这 3 个对鲜切黄瓜表面大肠杆菌杀菌率影响显著的因素,采用 3 因素 3 水平的响应面分析方法进行实验设计。表 2 列出了实验设

计及其结果,以 3 次实验所得杀菌率的平均值为响应值(Y),表 3 列出了响应面方差分析结果。

表 2 响应面实验设计及其结果

实验号	A:处理电压 /V	B:处理时间 /min	C:处理极距 /cm	Y:杀菌率 /%
1	-1	-1	0	88.95
2	1	-1	0	88.63
3	-1	1	0	86.81
4	1	1	0	99.11
5	-1	0	-1	87.51
6	1	0	-1	91.57
7	-1	0	1	80.35
8	1	0	1	91.53
9	0	-1	-1	91.99
10	0	1	-1	97.17
11	0	-1	1	87.45
12	0	1	1	89.78
13	0	0	0	92.91
14	0	0	0	94.5
15	0	0	0	92.87
16	0	0	0	93.57
17	0	0	0	92.96

表 3 响应面方差分析结果

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	296.15	9	32.91	37.41	<0.000 1	***
A	92.62	1	92.62	105.29	<0.000 1	***
B	31.40	1	31.40	35.70	0.000 6	***
C	45.74	1	45.74	52.00	0.000 2	***
AB	39.82	1	38.82	45.26	0.000 3	***
AC	12.67	1	12.67	14.41	0.006 8	***
BC	2.03	1	2.03	2.31	0.172 5	*
A ²	42.37	1	42.37	48.17	0.000 2	***
B ²	1.98	1	1.98	2.25	0.177 5	*
C ²	25.27	1	25.27	28.73	0.001 1	***
残差	6.16	7	0.88			
失拟项	4.21	3	1.40	2.88	0.166 2	*
纯误差	1.95	4	0.49			
总差	302.31	16				
R ²	0.979 6					

注: * 为差异不显著($P>0.05$); ** 为差异显著($P<0.05$); *** 为差异极显著($P<0.01$)。

由表 2 的实验结果经 Design - Expert 软件对数据进行回归分析拟合,得到二次多项回归方程见公式(3):

$$Y=93.36+3.4A+1.98B-2.39C+3.15AB+1.78AC-0.71BC-3.17A^2+0.69B^2-2.45C^2 \quad (3)$$

式中:A 为处理电压,V;B 为处理时间,min;C 为处理极距,cm。

由表3可知,回归模型显著,失拟项不显著, $R^2=0.979\ 6>0.96$,说明该方程拟合得较好,能有效表现出 APLTP 杀菌效果与处理电压、处理时间、处理极距间的关系。表3显示一次项A、B、C、交互项AB、AC、二次项 A^2 、 C^2 是极显著的,因此处理电压、处理时间及处理极距对杀菌率的影响不是一般线性关系。各因素对杀菌率的影响由强到弱依次是 $A>C>B$,即处理电压>处理极距>处理时间。

2.1.3 APLTP 对鲜切黄瓜表面大肠杆菌杀菌率的响应面分析

图5为处理极距为2.5 cm时,处理电压和处理时间对鲜切黄瓜表面大肠杆菌杀菌效果的交互作用。响应面显示坡度较陡,表明处理电压和处理时间的交互作用显著。等高线图反映,处理时间一定时,杀菌效果随着处理电压的增大逐渐增强;处理电压一定时,杀菌效果随着处理时间的增加逐渐增强。图6显示处理时间为4 min时,处理电压和处理极距对杀菌效果的交互作用,等高线图反映处理电压一定时,处理极距与杀菌率成反比。图7显示处理电压为165 V时,处理时间和处理极距对杀菌效果的作用,响应面比较平缓反应处理时间和处理极距的交互作用不明显。等高线图反映处理极距一定时,杀菌率随着处理时间的增大而增大;处理时间一定时,杀菌率随着处理极距的增大而减小。

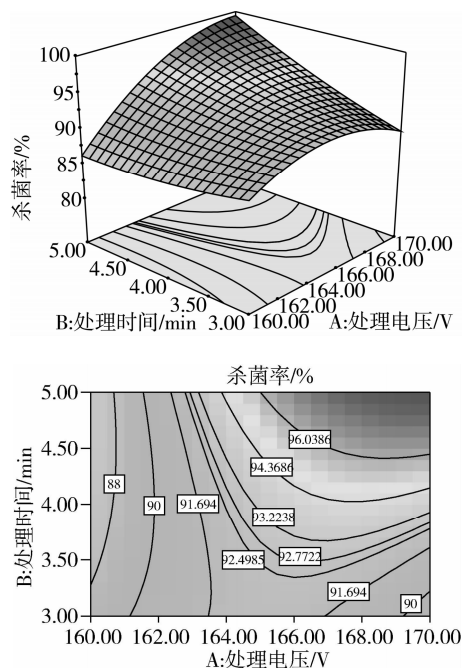


图5 处理电压与处理时间交互影响杀菌效果的响应面图和等高线图

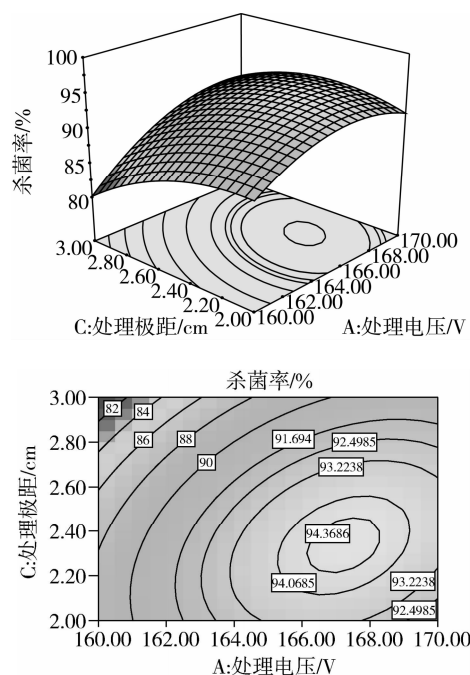


图6 处理电压与处理极距交互影响杀菌效果的响应面图和等高线图

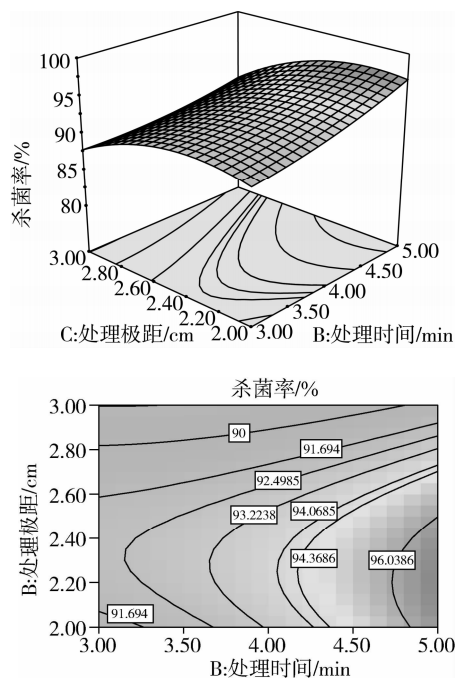


图7 处理时间与处理极距交互影响杀菌效果的响应面图和等高线图

由二次多项式的回归方程经数学分析,得到杀菌率的最大值。确定最优实验条件为处理电压169.77 V,处理时间5 min,处理极距2.36 cm,此时杀菌率可达99.60%。根据 APLTP 的设备要求以及杀菌效果,将最佳杀菌条件调整为处理电压170 V,处理时间5 min,处理极距2.5 cm。为验证实验结果,重复3次最优条件取平均值,鲜切黄瓜表面大肠

杆菌杀菌率为99.65%，与预测值仅仅相差0.05%，处理前后菌落变化比较图见图8。

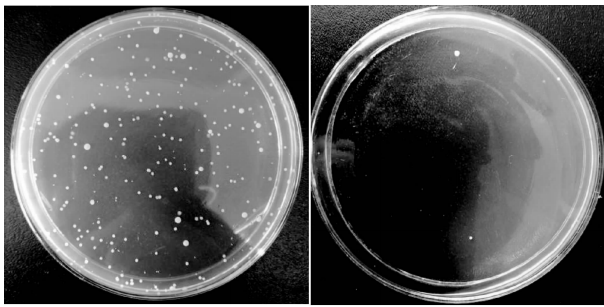


图8 处理前后菌落比较图

2.2 APLTP 处理对鲜切黄瓜品质的影响

鲜切黄瓜的品质指标主要包括水分含量、可溶性固形物、pH、颜色、滋味、外形等。APLTP 处理前后对鲜切黄瓜感官品质变化如表4所示,经170 V、5 min、2.5 cm 常压等离子体处理后鲜切黄瓜水分含量、可溶性固形物、pH 值及色泽参数(L^* 、 a^* 、 b^*)变化均不显著($P>0.05$),说明 APLTP 处理后鲜切黄瓜的水分和颜色、糖度、酸度得到了较好的保持。

表4 APLTP 处理对鲜切黄瓜品质的影响

指标	处理前	处理后
水分含量/%	95.926±0.07 ^a	95.920±0.07 ^a
Vc/(mg/100 g)	20.02±0.23 ^a	20.34±0.10 ^a
相对电导率/%	9.41±0.39 ^a	9.58±0.25 ^a
丙二醛/(μmol/L)	0.001 25±0.000 18 ^a	0.001 29±0.000 24 ^a
可溶性固形物/°Brix	3.8±0.15 ^a	3.7±0.21 ^a
pH	6.00±0.35 ^a	5.98±0.35 ^a
L^*	64.57±0.38 ^a	63.66±0.54 ^a
a^*	-6.12±0.11 ^a	-5.95±0.16 ^a
b^*	16.63±0.10 ^a	16.68±0.45 ^a
ΔE	0	0.93±0.72

注:同列肩标小写字母相同,表示差异不显著($P>0.05$)。

相对电导率是反映果蔬细胞膜透性的重要指标之一,相对电导率越高,说明细胞膜透性越大,细胞受损程度也就越严重^[34]。丙二醛(MDA)是膜脂过氧化分解的产物,通常将丙二醛作为膜脂过氧化的重要指标^[35],用来表示细胞膜脂过氧化程度和逆境伤害的强弱。如表4所示,相对电导率及MDA的含量都有少许的增加,但变化并不明显($P>0.05$),说明 APLTP 对细胞膜有一定的影响,但影响可以忽略不计。Vc 是黄瓜重要的品质指标,经过 APLTP

处理的黄瓜 Vc 含量变化不明显($P>0.05$),说明 APLTP 能够较好的保持了黄瓜的 Vc 含量。这与崔海英^[36]等人的研究相近,APLTP 较好地保持了黄瓜品质。

3 结论

本实验研究了 APLTP 处理鲜切黄瓜表面大肠杆菌的杀菌效果,比较不同的处理电压、处理时间、处理极距对杀菌率的影响。结果表明:APLTP 对鲜切黄瓜表面大肠杆菌具有显著的杀菌效果,固定处理时间和处理极距时,杀菌率随着处理电压的升高而增加;固定处理电压和处理极距时,杀菌率随着处理时间的延长而增加;固定处理电压和处理时间时,杀菌率与处理极距成反比,杀菌率随着处理极距的增高而降低。

在单因素实验基础上,利用响应面法建立了 APLTP 对鲜切黄瓜表面大肠杆菌杀菌效果的二次多项数学模型,当处理电压为170 V、处理时间为5 min、处理极距为2.5 cm 时大肠杆菌杀菌率可达99.65%,与预测值99.60%接近,说明该模型可用于实际预测。

在响应面法的基础上得到最佳工艺条件,用最佳条件170 V、5 min、2.5 cm 的 APLTP 处理黄瓜,测定处理前后黄瓜的水分含量、可溶性固形物、pH 值、色泽、相对电导率、丙二醛及 Vc 含量变化。结果表明各指标变化均不显著($P>0.05$),说明 APLTP 能够较好的保持了黄瓜的水分、糖度、酸度和颜色,APLTP 并没有对细胞膜造成损害,维持了细胞膜的通透性及脂质氧化程度,同时 Vc 含量也得到了较好的保持。

参考文献:

[1] Santos J, Herrero M, Mendiola J A, et al. Fresh-cut aromatic herbs: Nutritional quality stability during shelf-life [J]. LWT - Food Sci Technol, 2014, 59: 101 - 107.

[2] Abadisa M, Alegre I, Oliveira M, et al. Growth potential of Escherichia coli O157: H7 on fresh-cut fruits (melon and pineapple) and vegetables (carrot and escarole) stored under different conditions [J]. Food Control, 2012, 27: 37 - 44.

[3] Francis G A, Gallone A, Nychas G J, et al. Factors affecting quality and safety of fresh-cut produce [J]. Crit Rev Food Sci, 2012, 52

- (7):595-610.
- [4] Posada - Izquierdo G D, Pérez - Rodríguez F, López - Gálvez F, et al. Modelling growth of *Escherichia coli* O157 : H7 in fresh - cut lettuce submitted to commercial process conditions: Chlorine washing and modified atmosphere packaging [J]. Food Microbiology, 2013, 33:131-138.
- [5] Caleb O, Mahajan P, Al - Said F, et al. Modified atmosphere packaging technology of fresh and fresh - cut produce and the microbial consequence sea review [J]. Food Bioproc Technol, 2013, 6 (2): 303-329.
- [6] Alarcón - Flores M I, Romero - González R, Martínez V J L, et al. Monitoring of phytochemicals in fresh and fresh - cut vegetables: a comparison [J]. Food Chem, 2014, 142:392-399.
- [7] 陈晨, 胡文忠, 姜爱丽, 等. 鲜切果蔬天然抗菌剂的研究进展 [J]. 食品工业科技, 2013, 34(10):362-365, 369.
- [8] Taomina P J, Beuchat L R. Comparison of chemical treatments to eliminate enterohemorrhagic *Escherichia coli* O157 : H7 on alfalfa seeds [J]. Journal of Food Protection, 1999, 62:318-324.
- [9] 刘超. 草莓辐照保鲜贮藏及其生理品质变化的研究 [J]. 安徽农业科学, 2003, 31(5):744-745.
- [10] 白艳红, 赵电波, 毛多斌, 等. 电子束辐照冷却猪肉杀菌工艺优化 [J]. 农业工程学报, 2009, 25(12):312-317.
- [11] McKee S R. Effect of electron beam irradiation on poultry meat safety and quality [J]. Poultry Science, 2002, 81(6):896-903.
- [12] XU Wenqing, CHEN Haiqiang, HUANG Yao xin, et al. Decontamination of *Escherichia coli* O157 : H7 on green onions using pulsed light (PL) and PL - surfactant - sanitizer combinations [J]. International Journal of Food Microbiology, 2013, 166(1):102-108.
- [13] 夏爱萍, 龚鸿萍, 郑睿行. 微生物对食品安全的危害及其快速检测技术 [J]. 生命科学仪器, 2012, 10(5):8-12.
- [14] Rangel J M, Sparling P H, Crowe C, et al. Epidemiology of *Escherichia coli* O157 : H7 outbreaks, United States, 1982-2002 [J]. Emerging and Infectious Diseases, 2005, 11:603-609.
- [15] Moreira A J, Mansano B D, Pinto T J A, et al. Sterilization by oxygen plasma [J]. Applied Surface Science, 2004, 235:151-155.
- [16] Moisanm, Barbeauj, Moreaus. Low temperature sterilization using gas plasma: A Review of the experiment sandan analysis of the inactivation mechanisms [J]. Int J Pharmaceutics, 2001, 226(1/2): 1-21.
- [17] 孟月东, 钟少锋, 熊新阳. 低温等离子体技术应用研究进展 [J]. 物理, 2006(2):140-146.
- [18] 刘真, 王世清, 肖军霞, 等. 花生中的物质成分对低温射频等离子体降解黄曲霉毒素 B₁ 的影响 [J]. 食品科学, 2016(21): 219-223.
- [19] 任翠荣, 肖军霞, 王世清, 等. 花生组分对常压等离子体降解黄曲霉毒素 B₁ 的影响 [J]. 粮油食品科技, 2017(2):28-33.
- [20] 林向阳, 黄彬红, 李雁晖, 等. 低温等离子体杀灭橙汁 *S. aureus* 的研究 [J]. 中国农学通报, 2011(5):439-446.
- [21] 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(18): 310-312, 315.
- [22] 王世清, 孟娟, 张岩, 等. 等离子体对苹果和大白菜中氧化乐果降解效果的影响 [J]. 农业工程学报, 2009(12):318-323.
- [23] Xu L, Hu P, Zhan R J, et al. Experimental study and sterilizing application of atmospheric pressure plasmas [J]. Thin Solid Films, 2006, 506:400-403.
- [24] Deng X T, Shi J J, Shama G, et al. Effects of microbial loading and sporulation temperature on atmospheric plasma inactivation of *Bacillus subtilis* spores [J]. Applied Physics Letters, 2005, 87(15): 1-3.
- [25] Philip N, Saoudi B, crevier M C, et al. The respective roles of UV photons and oxygen atoms in plasma [J]. IEEE Trans Plasma Science, 2002, 30(4):1429-1436.
- [26] 郑超, 徐羽贞, 黄逸凡, 刘振, 闫克平. 低温等离子体灭菌及生物医药技术研究进展 [J]. 化工进展, 2013(9):2185-2193.
- [27] 邹岚, 张晓文, 解新创, 等. 低温等离子体杀菌技术及在设施农业应用展望 [J]. 农机化研究, 2014(12):7-10, 23.
- [28] 王学扬, 齐志华, 宋颖, 等. 等离子体放电电话化生理盐水杀菌应用研究 [J]. 物理学报, 2016(12):86-91.
- [29] 江洁, 胡文忠. 鲜切果蔬的微生物污染及其杀菌技术 [J]. 食品工业科技, 2009(9):319-324.
- [30] 李超, 冯志宏, 陈会燕, 王春生. 鲜切果蔬保鲜技术的研究进展 [J]. 保鲜与加工, 2010(1):3-6.
- [31] 高俊风. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [32] KIM J E, LEE D U, MIN S C. Microbial decontamination of red pepper powder by coldplasma [J]. Food Microbiology, 2014, 38(7): 128-136.
- [33] MISRA NN, PATIL S, MOISEEV T, et al. In - package atmospheric pressure cold plasma treatment of strawberries [J]. Journal of Food Engineering, 2014, 125(3):131-138.
- [34] 魏宝东, 赵银玲, 白冰, 等. 采前喷钙对黄瓜采后冷藏品质的影响 [J]. 食品科学, 2015(18):225-230.
- [35] 沈丽雯, 刘娟, 董红敏, 等. 热激处理对黄瓜低温贮藏特性的影响 [J]. 食品工业科技, 2015(2):343-348.
- [36] 崔海英, 柏梅, 戴锦铭, 等. 冷等离子体技术对黄瓜表面大肠杆菌 O157 : H7 生物膜的清除作用研究 [J]. 食品工业科技, 2017(2):162-165. 完