

低温等离子体处理对生姜片杀菌效果及品质的影响

徐艳阳, 李雪凤

(吉林大学食品科学与工程学院 长春 130062)

摘要 目的:探究低温等离子体处理对生姜切片表面微生物的杀菌效果,以及对生姜切片多酚类化合物含量和抗氧化活性的影响,获得优化工艺,为生姜切片的保鲜和杀菌提供新方法。方法:以生姜切片表面微生物的杀菌率为指标,测定放电电源功率和低温等离子体处理时间的杀菌效果,然后,应用二因素三水平响应面优化设计,得到最佳杀菌处理条件。测定低温等离子体处理对生姜切片中总多酚含量、总黄酮含量、姜辣素含量及抗氧化活性的影响。结果:影响低温等离子体杀菌效果的因素排序为处理时间>放电电源功率。最佳处理条件为:放电电源功率 400 W、处理时间 4.6 min,杀菌率为 99.89%。与对照组相比,应用低温等离子体处理的生姜切片中总多酚和总黄酮含量无显著性差异,而姜辣素含量降低了 35.18%,DPPH 自由基的清除率提高了 65.32%,对生姜片的颜色无明显影响。结论:低温等离子体技术对生姜切片表面微生物的杀菌作用显著,其是一种有效、方便的非热杀菌方法。

关键词 低温等离子体; 生姜切片; 杀菌效果; 总多酚含量; 总黄酮含量; 姜辣素含量; 抗氧化活性

文章编号 1009-7848(2023)02-0192-10 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.02.019

生姜(*Zingiber officinale* Rosc.)是姜科姜属多年生草本植物,主要分布于亚洲,而我国是世界上生姜种植面积最大且产量最多的国家^[1]。生姜作为一种药食同源的新鲜根茎,含有多种功能成分,如多酚类化合物、黄酮类化合物、姜辣素、挥发油等^[2-4],具有抗氧化、降血脂、抗炎、抗肿瘤、抗菌等多种生物学和药理特性^[5-8]。然而,生姜在加工和贮藏过程中非常容易出现褐变、失水及组织软化等问题,使其营养价值及食用品质降低,甚至导致霉变,无法长期贮藏^[9]。

随着人们对鲜切果蔬需求的日益增长,近年来非热杀菌技术成为食品杀菌研究的热点。目前主要的非热杀菌技术包括超高压处理、辐照、超声波、紫外线、臭氧、高压脉冲电场等^[10],其中最大的超高压设备可以容纳 600 L 物料,不能满足大型工业化、大批量的生产需求,而且其容器壁需要采用较厚的钢作为材料,来满足承受压力的需求,因此设备质量以及所占空间较大^[11];脉冲电场技术因处理过程中电极与食品直接接触,易发生二次污染^[12];辐照技术的基本建设投资大,且对操作人

员的要求更严格。为满足消费者对食品新鲜度和安全性的更高需求,尤其是生鲜及热敏性食品,研发新型的冷杀菌技术成为研究热点。

与传统的热杀菌相比,低温等离子体处理作为一种新兴的非热加工技术,对细菌、真菌及抗逆性较强的生物膜^[13]表现出优良的杀菌效果,并且能更好地保留果蔬的新鲜度、营养及品质。有研究表明,低温等离子体技术可用于农产品的杀菌保鲜,多酚类化合物的辅助提取^[14],辅助提高干燥速率,真菌毒素的降解^[17]等方面。此外,低温等离子体技术应用于全谷物食品可以减少其蒸煮时间、淀粉变性,促进萌芽^[18];并降解农药残留等^[19]。

Zhang 等^[20]研究发现大气冷等离子体处理鲜切梨表面的微生物时,对嗜温需氧菌、酵母和霉菌有较好的抑制作用,并延长了鲜切梨的货架期。王卓等^[21]利用介质阻挡放电低温等离子体处理“灿烂”蓝莓,在 45 kV 电压下作用 50 s,能显著抑制蓝莓的腐烂。Tappi 等^[22]使用介质阻挡放电发生器在鲜切甜瓜两侧分别处理 15 min 和 30 min,发现该处理对鲜切甜瓜品质的影响很小,并显著延长货架期。Lee 等^[23]发现在处理功率 400 W 和处理时间 10 min 时,生菜上的单核细胞增生李斯特菌含量下降了 $(1.8 \pm 0.2) \lg(\text{CFU/g})$ 。Lacombe 等^[24]使用低温等离子体处理蓝莓 15, 30, 45, 60, 90, 120 s,发现与对照组相比,第 1 天和第 7 天霉菌和酵母

收稿日期: 2022-02-06

基金项目: 吉林省科技发展计划项目(20200402064NC)

第一作者: 徐艳阳,女,博士,副教授

E-mail: xuyy@jlu.edu.cn

的数量降低幅度分别为0.8~1.6 lg(CFU/g)和1.5~2.0 lg(CFU/g);这表明低温等离子体在果蔬杀菌上具有一定的发展前景。

有研究表明等离子体处理可能对食品中的酚类物质产生影响。Li等^[25]利用介质阻挡放电低温等离子体在45 kV工作电压下处理草莓1 min,在贮藏期间特别是在第1,3天和5天,总酚、花青素和类黄酮的含量显著增加。Li等^[26]用低温等离子体处理鲜切火龙果发现在储存期间酚类的含量增加。Elez Garofulić等^[27]发现常压等离子体处理使樱桃桃汁中的酚类物质含量提高,这可能是等离子体解离多酚的聚集体。然而,Charoux等^[28]发现等离子体处理和未处理的黑胡椒总酚含量无显著性差异;Amini等^[29]发现对鲜核桃和干核桃进行等离子体喷射处理11 min,其总酚含量和抗氧化活性与未处理组相比无显著性差异。这可能是由于等离子体处理对未切割食品和加工食品中的酚类化合物影响较小^[30]。

目前未见等离子体技术在生姜处理方面的研究报告。本文利用低温等离子体技术对生姜切片进行前处理,探讨对生姜切片表面微生物的杀菌效果以及对其品质的影响,为低温等离子体技术在果蔬类农产品的杀菌保鲜应用提供依据。

1 材料与仪器

1.1 材料与试剂

1.1.1 原料 生姜产于山东潍坊昌邑,购自长春市欧亚超市。

1.1.2 试剂 胰蛋白胨(生物纯级)、酵母浸粉(生物纯级),北京奥博星生物技术有限责任公司;没食子酸(分析纯级)、硫酸锂(分析纯级),天津市华东试剂厂;钼酸钠(分析纯级),天津市福晨化学试剂厂;钨酸钠(分析纯级),天津市化学试剂四厂;无水碳酸钠、亚硝酸钠、硝酸铝、抗坏血酸(均为分析纯级),北京化工厂;香草醛,上海惠世生化试剂有限公司;1,1-二苯基-2-苦基肼(HPLC≥98%),上海源叶生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

SY-DT02S低温等离子体处理仪,苏州市奥普斯等离子体科技有限公司;UV-4802紫外-可见分光光度计,尤尼科(上海)仪器有限公司;VOSHIN-

800R 无菌均质器,无锡沃信仪器有限公司;DK-98-II 电热恒温水浴锅,天津市泰斯特仪器有限公司;SW-CJ-1FD 洁净工作台,苏州安泰空气技术有限公司;BXM-30R 立式压力蒸汽灭菌锅,HFP-9227 数显电热培养箱,上海博讯实业有限公司医疗设备厂;CR-400 色差计,深圳市三恩时科技有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 菌落计数的方法 按照GB/T4789.2-2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》^[31]检测姜片表面菌落总数,并计算其杀菌率,即:

$$Y(\%) = \frac{N_0 - N_1}{N_0} \times 100 \quad (1)$$

式中,Y——样品的杀菌率,%;N₀——低温等离子体处理前样品的菌落数,CFU/g;N₁——处理后样品的菌落数,CFU/g。

1.3.2 菌悬液的制备 称取25 g生姜置于盛有225 mL磷酸盐缓冲溶液的无菌均质袋中,然后均质2 min,制成1:10样品匀液。吸取2 mL样品匀液于200 mL液体培养基中,在36℃振荡培养48 h,制备浓度为8~9 lg(CFU/mL)菌悬液。

1.3.3 样品的制备及处理 先用自来水清洗生姜表面的泥土,然后切成1.5~2.0 mm姜片。将1.3.2节制备的菌悬液稀释10倍后,按照料液比1:5,把姜片浸入其中,30 min后取出、沥干,备用。

1.3.4 低温等离子体处理的工艺流程 低温等离子体处理的工艺流程如下:设定处理参数→放样品于处理腔→开启真空泵(待真空度降至100 Pa以下)→开启放电电源。

1.3.5 单因素实验设计 选择放电电源功率和处理时间两个因素进行考察。每次称取染菌的姜片10 g,设置放电电源功率分别为100,200,300,400,500,600 W,处理时间为3 min,研究放电电源功率对鲜切姜片表面微生物杀菌率的影响;设置低温等离子体处理时间分别为1,2,3,4,5,6 min,放电电源功率为400 W,研究低温等离子体处理时间对鲜切姜片表面微生物杀菌率的影响。

1.3.6 响应面优化试验设计 根据1.3.5节单因素实验的结果,确定放电电源功率(A)和处理时间(B)2个因素水平进行考察,以姜片表面微生物的

杀菌率为响应值,应用中心组合试验设计(CCD)二因素三水平的响应面优化试验,各因素及水平见表1。

表1 CCD试验设计的因素与水平
Table 1 Design factors and level of CCD experiment

| 因素 | 水平 | | | | |
|-------------|--------|-----|-----|-----|--------|
| | -1.414 | -1 | 0 | 1 | 1.414 |
| 放电电源功率(A)/W | 117.16 | 200 | 400 | 600 | 682.84 |
| 处理时间(B)/min | 0.18 | 1 | 3 | 5 | 5.83 |

1.3.7 总多酚、总黄酮及姜辣素的提取及测定

1.3.7.1 总多酚、总黄酮及姜辣素的提取 称取10.0 g鲜切生姜,放入研钵中研磨,采用超声波辅助乙醇提取^[7],将上清液作为样品待测液,进行生姜中总多酚、总黄酮及姜辣素的测定。

1.3.7.2 生姜中总多酚、总黄酮含量的测定 吸取1.3.7.1节制备的待测液2 mL,加蒸馏水至10 mL,参考仇洋^[23]的方法,进行生姜中总多酚含量的测定,分别以没食子酸的含量和吸光度为横坐标、纵坐标,绘制没食子酸标准曲线,回归方程为 $y=0.0105x+0.0383(R^2=0.9987)$ 。总多酚含量以没食子酸质量(μg)/生姜质量(g)表示。

参考邢颖等^[7]的方法进行生姜中总黄酮含量的测定。

1.3.7.3 生姜中姜辣素含量的测定 吸取1 mL样品待测液,加无水乙醇至10 mL,同时做空白,在波长280 nm处测其吸光度。分别以香草醛的质量浓度(2~12 $\mu\text{g}/\text{mL}$)和吸光度为横坐标、为纵坐标,绘制其标准曲线,回归方程为 $y=0.0671x-0.0079(R^2=0.9994)$ 。姜辣素含量的计算公式^[33]如下:

$$Y(\text{mg/g})=\frac{2.003\times C\times N\times V}{M\times 10^3} \quad (2)$$

式中, Y ——姜辣素的含量, mg/g ;2.003——香草醛与姜辣素之间的换算系数; C ——香草醛的质量浓度, $\mu\text{g}/\text{mL}$; N ——提取液的稀释倍数; V ——提取液的总体积, mL ; M ——生姜总质量,g。

1.3.8 生姜抗氧化性的测定 参考文献^[34]中的方法进行DPPH清除率的测定。吸取1 mL 1.3.7.1节制备的样品待测液,然后加入3 mL 0.1 mmol/L DPPH溶液,在室温下避光30 min,在波长517 nm

处测定其吸光度。同时作空白,以1 mg/mL VC为对照。DPPH自由基清除率计算公式如下:

$$\text{DPPH 自由基清除率}(\%)=\frac{A_0-(A_s-A_c)}{A_0}\times 100 \quad (3)$$

式中, A_0 ——1.0 mL蒸馏水+3.0 mL DPPH溶液的吸光度; A_s ——1.0 mL样品溶液+3.0 mL DPPH溶液的吸光度; A_c ——1.0 mL样品溶液+3.0 mL无水乙醇的吸光度。

1.3.9 颜色的测定 利用色差计测定生姜片的颜色,应用参数有亮度值(L^*)、红度值(a^*)和黄度值(b^*)。等离子体处理姜片前、后的色差值按如下公式计算:

$$\Delta E=\sqrt{\Delta L^{*2}+\Delta a^{*2}+\Delta b^{*2}} \quad (4)$$

式中, L^* ——亮度, $L^*=0$ 表示黑色, $L^*=100$ 表示白色; a^* ——红绿度, $a^*>0$ 表示红度,相反则为绿度; b^* ——黄蓝度, $b^*>0$ 表示黄度,相反则为蓝度。

1.4 数据处理与分析

每个试验重复3次,试验数据以 $\bar{x}\pm s$ 的形式表示。应用SPSS 21.0软件进行数据的单因素方差分析;采用Design-Expert 10软件进行响应面优化设计和数据分析;应用Origin 2021软件作图。

2 结果与分析

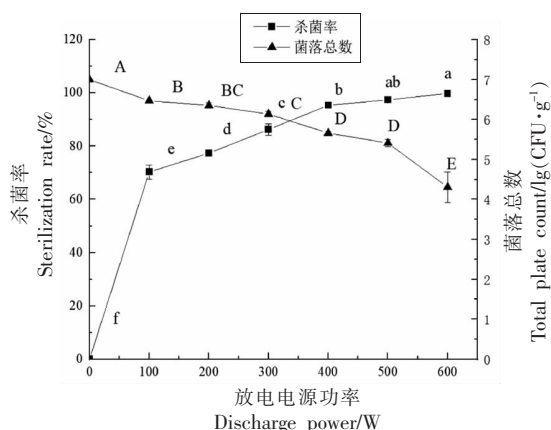
2.1 单因素实验的结果与分析

2.1.1 放电电源功率对姜片表面微生物杀菌效果的影响 如图1所示,随着放电电源功率的增大,姜片表面的微生物数量逐渐减少,杀菌率逐渐增大。在100~400 W之间,菌落总数从6.47 lg(CFU/g)减小到5.66 lg(CFU/g),杀菌率从70.31%提高到95.38%,杀菌效果显著($P<0.05$)。在400~600

W 之间,对姜片表面微生物的杀菌率趋于平缓 ($P>0.05$)。鉴于试验效果考虑,因此确定放电电源功率 400 W 为进一步优化的零水平。

2.1.2 低温等离子体处理时间对姜片表面微生物杀菌效果的影响 如图 2 所示,随着低温等离子体处理时间的延长,姜片表面的微生物数量呈下降的趋势。在 1~4 min 内,姜片表面的微生物数量减少较快,杀菌率逐渐增大。在处理时间 4 min

时,菌落总数下降了 1.72 lg(CFU/g), 杀菌率为 97.84%。4 min 之后,随着处理时间的延长,杀菌率的变化不显著 ($P>0.05$),这与孙艳等^[35]应用低温等离子体处理黄瓜切片的研究结果一致,即杀菌率随处理时间的延长先上升后平缓。因此,确定低温等离子体处理时间为 4 min 为进一步优化的零水平。



注:图中不同大写字母表示菌落总数具有差异性显著 ($P<0.05$),不同小写字母代表杀菌率具有显著性差异 ($P<0.05$),下同。

图 1 放电电源功率对姜片表面微生物杀菌效果的影响
Fig.1 Effects of discharge power on microbial sterilization on ginger slices surface

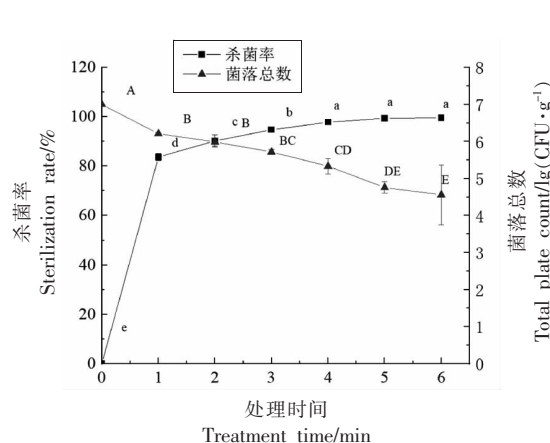


图 2 低温等离子体处理时间对姜片表面微生物杀菌效果的影响

Fig.2 Effects of low temperature plasma treatment time on microbial sterilization on ginger slices surface

2.2 响应面试验结果与分析

根据以上单因素实验的结果,确定放电电源功率、处理时间为自变量,杀菌率为响应值,进行响应面优化设计,试验结果见表 2 和 3。

应用 Design-Expert 10 软件对表 2 的数据进行分析,获得杀菌率(Y)与低温等离子体处理功率

(A)和处理时间(B)之间的二次多项回归方程为:

$$Y = 15.18 + 0.16A + 21.11B - 0.015AB - 9.23A^2 - 1.55B^2 \quad (5)$$

回归方程(5)的决定系数 R^2 为 0.9858,说明此方程拟合性较好。该模型的校正系数 R_{Adj}^2 为 0.9756,表明此模型可解释 90%以上的试验数据

表 2 CCD 试验设计及结果

Table 2 Design and results of CCD experiment

| 试验号 | 放电电源功率 (A)/W | 处理时间 (B)/min | 杀菌率/% | 试验号 | 放电电源功率 (A)/W | 处理时间 (B)/min | 杀菌率/% |
|-----|--------------|--------------|-------|-----|--------------|--------------|-------|
| 1 | 400 | 5.82 | 99.99 | 8 | 400 | 0.17 | 64.91 |
| 2 | 117 | 3.00 | 75.00 | 9 | 400 | 3.00 | 95.79 |
| 3 | 683 | 3.00 | 99.90 | 10 | 400 | 3.00 | 97.09 |
| 4 | 600 | 1.00 | 91.52 | 11 | 400 | 3.00 | 95.47 |
| 5 | 400 | 3.00 | 97.76 | 12 | 400 | 3.00 | 94.89 |
| 6 | 200 | 1.00 | 63.13 | 13 | 600 | 5.00 | 99.99 |
| 7 | 200 | 5.00 | 96.12 | | | | |

表3 回归模型的方差分析

Table 3 Analysis of variance of regression model

| 方差来源 | 平方和 | 自由度 | 均方 | F值 | P值 |
|----------------|----------|-----|----------|--------|-----------|
| 模型 | 2 081.48 | 5 | 416.30 | 96.97 | <0.0001** |
| 放电电源功率(A) | 569.09 | 1 | 569.09 | 132.55 | <0.0001** |
| 处理时间(B) | 1 036.73 | 1 | 1 036.73 | 241.48 | <0.0001** |
| AB | 150.31 | 1 | 150.31 | 35.01 | 0.0006** |
| A ² | 94.72 | 1 | 94.72 | 22.06 | 0.0022** |
| B ² | 266.55 | 1 | 266.55 | 62.09 | 0.0001** |
| 残差 | 30.05 | 7 | 4.29 | | |
| 失拟项 | 24.41 | 3 | 8.14 | 5.77 | 0.0618 |
| 净误差 | 5.64 | 4 | 1.41 | | |
| 总和 | 2 111.54 | 12 | | | |

$R^2=0.9858$; $R_{Adj}^2=0.9756$; $CV=2.30\%$

注:**表示影响极显著($P<0.01$)。

变异性。由表2和3可知,该模型极显著($P<0.01$),失拟项($P=0.0618>0.05$)不显著,说明在整个回归区域的拟合情况良好,可以应用该模型对试验结果进行分析。放电电源功率(A)和处理时间(B)的一次项为极显著($P<0.01$),说明这两个因素对生

姜片表面微生物的杀菌效果极显著。二次项(A^2 、 B^2)和交互项(AB)极显著,表明放电电源功率(A)和处理时间(B)对生姜片表面菌落总数的杀菌率影响不是简单的线性关系,根据F值可知,影响大小的次序为处理时间>放电电源功率。

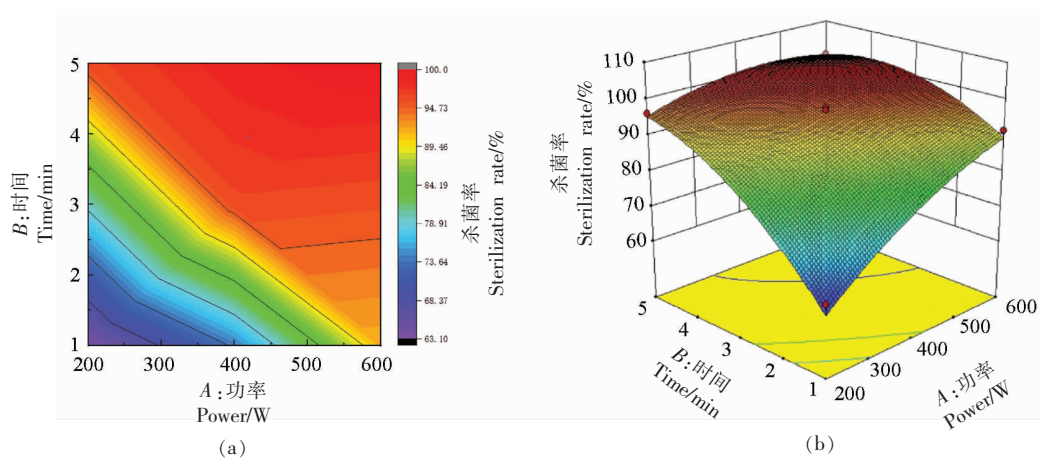


图3 低温等离子体放电电源功率和处理时间交互作用对杀菌率的影响

Fig.3 Effects of interaction between low-temperature plasma discharge power and treatment time on sterilization rate

由图3可知,低温等离子体放电电源功率和处理时间的交互作用极显著,在一定条件下,随着放电电源功率的升高、处理时间的延长,杀菌率逐渐增大。根据响应面分析结果获得低温等离子体最佳杀菌处理条件为:放电电源功率400.779 W、处理时间4.582 min,低温等离子体处理后的姜片表面微生物杀菌率的预测值为99.99%。根据低温

等离子体设备要求以及杀菌效果综合考虑,将最佳杀菌条件调整为放电电源功率400 W、处理时间4.6 min。为验证回归模型的可靠性,在最佳杀菌处理条件下进行了3次验证试验,结果表明生姜片表面微生物的杀菌率为99.89%,相对误差为-0.10%,说明验证试验的结果与模型拟合良好,利用响应面法优化设计低温等离子体对生姜切片

表面微生物杀菌具有可行性。

2.3 低温等离子体处理对生姜片中总多酚、总黄酮及姜辣素含量的影响

生姜切片经低温等离子体处理后的总多酚含量、总黄酮含量与未处理组无显著性差异 ($P > 0.05$), 与 Bao 等^[14]使用高压低温等离子体处理番茄渣后总酚含量的变化趋势相同。与未处理组相比, 生姜切片经低温等离子体处理后姜辣素的含

量下降了 35.18% ($P < 0.05$), 这可能是由于姜辣素易被氧化^[33], 而等离子体的氧化能力很强, 由于等离子体中 $\cdot\text{OH}$ 、 $\text{NO}\cdot$ 等活性自由基的存在^[36], 导致姜辣素的氧化。此外, 姜辣素属于多酚类化合物, 从等离子体放电中解离的单线态氧可以与氧分子结合形成臭氧, 臭氧可以攻击酚类的芳环结构并导致其降解。

表 4 低温等离子体处理前、后生姜片的总多酚、总黄酮及姜辣素含量 ($\mu\text{g/g}$)
Table 4 Content of total polyphenols, total flavonoids and gingerol in ginger slices before and after plasma treatment ($\mu\text{g/g}$)

| 处理方式 | 生姜片 | | |
|-----------|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | 总多酚含量 | 总黄酮含量 | 姜辣素含量 |
| 低温等离子体处理前 | 1 077.52 \pm 87.25 ^a | 127.53 \pm 20.91 ^a | 157.95 \pm 9.60 ^a |
| 低温等离子体处理后 | 1 156.78 \pm 20.58 ^a | 85.48 \pm 7.20 ^a | 102.39 \pm 12.24 ^b |

注: 同一列数据的右上相同字母表示差异不显著 ($P > 0.05$), 同一列数据的右上不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

2.4 低温等离子体处理对生姜片抗氧化活性的影响

经低温等离子体处理后的生姜切片 DPPH 自

由基清除率比未处理组提高了 65.32%, 其机制需要进一步研究。

表 5 姜片在低温等离子体处理前、后的 DPPH 自由基清除率

Table 5 DPPH free radical scavenging rate of ginger slices before and after plasma treatment at low temperature

| | 低温等离子体处理前 | 低温等离子体处理后 | VC (1 mg/mL) |
|---------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------|
| DPPH 自由基清除率/% | 51.50 \pm 0.024 ^a | 85.14 \pm 0.040 ^b | 95.67 \pm 0.020 |

注: 数据的右上相同字母表示差异不显著 ($P > 0.05$), 数据的右上不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

2.5 低温等离子体处理对姜片色泽的影响

姜片经低温等离子体处理前后 L^* 、 a^* 、 b^* 值如

表 6 所示。

表 6 姜片在低温等离子体处理前、后的色差

Table 6 Chromatic aberration of ginger slices before and after plasma treatment

| 颜色 | 鲜姜片 | 低温等离子体处理前 (100 Pa 以下) | 低温等离子体处理后 |
|------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| L^* | 67.70 \pm 0.83 ^a | 73.37 \pm 3.61 ^a | 72.14 \pm 3.30 ^a |
| a^* | -5.75 \pm 0.23 ^a | -7.29 \pm 0.25 ^b | -7.17 \pm 0.40 ^b |
| b^* | 32.70 \pm 0.98 ^a | 39.02 \pm 0.65 ^b | 39.72 \pm 1.08 ^b |
| ΔE | 0 | 8.63 \pm 2.47 ^a | 8.43 \pm 2.23 ^a |

注: 同一行数据的右上相同字母表示差异不显著 ($P > 0.05$), 同一行数据的右上不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

经低温等离子体处理后的姜片与未处理的鲜姜片相比, 其 L^* 值无显著性差异 ($P > 0.05$), a^* 值降低 ($P < 0.05$), b^* 值显著增加 ($P < 0.05$), 即低温等离子体处理提高了姜片的亮度, 颜色偏向绿、黄。同

时有文献研究表明生姜在贮藏期间的亮度不断变暗, 且逐渐向红、黄色转变^[38]。与未处理的鲜姜片相比, 处理后的姜片总色差 ΔE 无显著差异 ($P > 0.05$), 从感官上生姜片经等离子体处理后的颜色

没有显著的变化。另外,因为本文应用的低温等离子体处理仪是在大气压 100 Pa 以下进行的,生姜切片表面的水分会少量的蒸发。

3 结论

本文研究了低温等离子体放电电源功率和处理时间对鲜切姜片表面微生物的杀菌效果,应用响应面法优化杀菌处理条件,建立了姜片表面微生物杀菌的二次多项数学模型,并确定低温等离子体处理的最佳条件,比较了低温等离子体处理前、后生姜切片中的总多酚含量、总黄酮含量、姜辣素含量以及抗氧化活性的变化。结果表明:低温等离子体放电电源功率和处理时间对生姜切片表面微生物的杀菌效果有显著的影响,影响大小的次序为处理时间>放电电源功率,最佳杀菌条件为:放电电源功率 400 W、处理时间 4.6 min。在最佳杀菌条件下处理的生姜切片较对照组的 DPPH 自由基清除率提高了 65.32%,总多酚含量、总黄酮含量与未处理组无显著性差异,颜色没有显著的变化。因此,利用低温等离子体技术能够对生姜片进行有效的杀菌,不仅可有效减少生姜片上的微生物数量,且对其品质无显著影响,为生鲜果蔬及农产品的加工和保鲜贮藏提供一种非热杀菌方法。

参 考 文 献

- [1] 吴曼, 赵帮宏, 宗义湘. 世界生姜生产布局与贸易格局分析[J]. 北方园艺, 2019, 43(10): 141-150.
WU M, ZHAO B H, ZONG Y X. Analysis of world ginger production layout and trade pattern[J]. Northern Horticulture, 2019, 43(10): 141-150.
- [2] 王丽. 母姜与子姜化学成分分析及其抗氧化活性研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2012.
WANG L. Analysis of chemical constituents in seed ginger and tender ginger and antioxidant activities of seed ginger[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2012.
- [3] 王志荣, 黎志立, 李明艳, 等. 福建鲜姜、干姜中主要成分比较[J]. 中成药, 2020, 42(8): 2230-2236.
WANG Z R, LI Z L, LI M Y, et al. Comparison of main components of fresh ginger and dried ginger in Fujian Province [J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2020, 42(8): 2230-2236.
- [4] 陈欣, 常霞, 梁雅辉, 等. 怀姜与其他品种生姜营养成分分析[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(18): 194-196.
CHEN X, CHANG X, LIANG Y H, et al. Analysis of nutritional constituents of ginger and other varieties of ginger[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2020, 48(18): 194-196.
- [5] 梁娜. 干姜中姜辣素的抗炎作用及其机制研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2018.
LIANG N. Study on anti-inflammatory effect and mechanism of gingerol in dried ginger[D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2018.
- [6] TOHMA H, GÜLÇİN İ, BURSAL E, et al. Antioxidant activity and phenolic compounds of ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) determined by HPLC-MS/MS[J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2016, 11(2): 556-566.
- [7] 邢颖, 左佳佳. 生姜不同部位活性成分及抗氧化性的比较[J]. 中国调味品, 2020, 45(12): 48-51.
XING Y, ZUO J J. Comparison of active components and antioxidant activity of different parts of ginger[J]. China Condiment, 2020, 45(12): 48-51.
- [8] 王兆升. 鲜切生姜褐变机理及保鲜关键技术研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2012.
WANG Z S. Study on browning mechanism and preservation key technology of fresh-cut ginger[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2012.
- [9] 白琳, 吕静祎, 路研文, 等. 氯化钙处理对鲜切生姜保鲜的影响[J]. 包装与食品机械, 2020, 38(4): 28-33.
BAI L, LÜ J Y, LU Y W, et al. Effects of calcium chloride treatment on preservation of fresh-cut ginger[J]. Packaging and Food Machinery, 2020, 38(4): 28-33.
- [10] 马佩沛. 国外冷等离子体技术在果蔬杀菌保鲜中的应用[J]. 甘肃农业科技, 2017(4): 65-68.
MA P P. The world application of cold plasma in fruits and vegetables sterilization preservation [J]. Gansu Agricultural Science and Technology, 2017(4): 65-68.
- [11] 李新原. 超高压辅助提取蓝靛果抗氧化物的研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2017.
LI X Y. The study on ultra-high pressure assistant extraction of *Lonicera edulis* antioxidant[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2017.

- [12] 王佳媚, 黄明明, 乔维维, 等. 冷源等离子体冷杀菌技术及其在食品中的应用研究[J]. 中国农业科技导报, 2015, 17(5): 55-62.
WANG J M, HUANG M M, QIAO W W, et al. Disinfection technology of cold plasma and its application in food[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2015, 17(5): 55-62.
- [13] JAHID I K, HAN N, HA S D. Inactivation kinetics of cold oxygen plasma depend on incubation conditions of *Aeromonas hydrophila* biofilm on lettuce[J]. Food Research International, 2014, 55(1): 181-189.
- [14] BAO Y, REDDIVARI L, HUANG J Y. Development of cold plasma pretreatment for improving phenolics extractability from tomato pomace[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2020, 65(1): 102445.
- [15] ZHANG X L, ZHONG C S, MUJUMDAR A S, et al. Cold plasma pretreatment enhances drying kinetics and quality attributes of chili pepper (*Capsicum annum* L.)[J]. Journal of Food Engineering, 2019, 241(1): 51-57.
- [16] LI S, CHEN S S, LIANG Q, et al. Low temperature plasma pretreatment enhances hot-air drying kinetics of corn kernels[J]. Journal of Food Process Engineering, 2019, 42(6): e13195.
- [17] 周煜, 蔡瑞, 岳田利, 等. 低温等离子体在食品中杀灭微生物与降解真菌毒素研究进展[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(14): 209-218.
ZHOU Y, CAI R, YUE T L, et al. Research progress of low temperature plasma in killing microorganisms and degrading mycotoxins in food[J]. Food Research and Development, 2020, 41(14): 209-218.
- [18] 孟宁, 刘明, 张培茵, 等. 低温等离子体技术在全谷物加工中的应用进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(24): 332-337.
MENG N, LIU M, ZHANG P Y, et al. Application of low temperature plasma technology in whole grains processing[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(24): 332-337.
- [19] 相启森, 董闪闪, 郑凯茜, 等. 大气压冷等离子体在食品农药残留和真菌毒素控制领域的应用研究进展[J]. 轻工学报, (2021-09-15)[2022-02-06] https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=TDFJfL_btVWT9z4ZNPzRogXX_UegYBIME6m6gk2sMnK5cTb0YhtRh6-jndlrRsGrCJ2b99aJaXfEZ5W04ARBjGGL_TR1JZ866r9mbzB24N9THsbOMvS0h6QTsW2trHN68rA55Cr9pyU=&uniplatform=NZKPT&language=CHS&version=LYDG.
- [20] ZHANG Y T, ZHANG J H, ZHANG Y Y, et al. Effects of in-package atmospheric cold plasma treatment on the qualitative, metabolic and microbial stability of fresh-cut pears[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2021, 101(11): 4473-4480.
- [21] 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对其品质的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(15): 101-107.
WANG Z, ZHOU D D, PENG J, et al. Efficacy of cold plasma on microbial decontamination and storage quality of blueberries[J]. Food Science, 2018, 39(15): 101-107.
- [22] TAPPI S, GOZZI G, VANNINI L, et al. Cold plasma treatment for fresh-cut melon stabilization[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2016, 33(2): 225-233.
- [23] LEE H, KIM J E, CHUNG M S, et al. Cold plasma treatment for the microbiological safety of cabbage, lettuce, and dried figs[J]. Food Microbiology, 2015, 51(10): 74-80.
- [24] LACOMBE A, NIEMIRA B A, GURTNER J B, et al. Atmospheric cold plasma inactivation of aerobic microorganisms on blueberries and effects on quality attributes[J]. Food Microbiology, 2015, 46(4): 479-484.
- [25] LI M L, LI X A, HAN C, et al. Physiological and metabolomic analysis of cold plasma treated fresh-cut strawberries[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2019, 67(14): 4043-4053.
- [26] LI X A, LI M L, JI N N, et al. Cold plasma treatment induces phenolic accumulation and enhances antioxidant activity in fresh-cut pitaya (*Hylocereus undatus*) fruit[J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 115(11): 108447.

- [27] ELEZ GAROFULIĆ I, REŽEK JAMBRAK A, MILOŠEVIĆ S, et al. The effect of gas phase plasma treatment on the anthocyanin and phenolic acid content of sour cherry *Marasca* (*Prunus cerasus* var. *Marasca*) juice[J]. LWT—Food Science and Technology, 2015, 62(1): 894–900.
- [28] CHAROUX C M G, FREE L, HINDS L M, et al. Effect of non-thermal plasma technology on microbial inactivation and total phenolic content of a model liquid food system and black pepper grains[J]. LWT—Food Science and Technology, 2020, 118(1): 108716.
- [29] AMINI M, GHORANNEVISS M. Effects of cold plasma treatment on antioxidants activity, phenolic contents and shelf life of fresh and dried walnut (*Juglans regia* L.) cultivars during storage[J]. LWT—Food Science and Technology, 2016, 73(11): 178–184.
- [30] MUNEKATA P E S, DOMINGUEZ R, PATEIRO M, et al. Influence of plasma treatment on the polyphenols of food products—A review[J]. Foods, 2020, 9(7): 929.
- [31] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定: GB 4789.2-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1–5.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration. National standard for food safety: Determination of total number of bacterial colonies for food microbiology inspection: GB 4789.2-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016: 1–5.
- [32] 仇洋. 黑果腺肋花楸多酚的提取纯化及活性研究[D]. 长春: 吉林大学, 2017.
QIU Y. Research on extraction purification and activity of polyphenol from *Aronia melanocarpa* [D]. Changchun: Jilin University, 2017.
- [33] 项敏. 生姜中姜辣素的提取与分离工艺研究[D]. 武汉: 武汉工程大学, 2015.
XIANG M. Study on extraction and separation of gingerol from ginger[D]. Wuhan: Wuhan institute of technology, 2015.
- [34] 栗铭鸿. 元蘑醇提物不同极性部位有效成分含量及清除自由基活性[J]. 食品科技, 2016, 41(10): 184–189.
LI M H. Active ingredient contents and antioxidation of *Hohenbuehelia serotina* with different polarity fractions[J]. Food Science and Technology, 2016, 41(10): 184–189.
- [35] 孙艳, 张志伟, 王世清. 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[J]. 粮油食品科技, 2018, 26(1): 61–67.
SUN Y, ZHANG Z W, WANG S Q. Effect of atmospheric pressure low temperature plasma on sterilization rate of escherichia coli on sliced cucumber surface and quality attributes[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2018, 26(1): 61–67.
- [36] RAMAZZINA I, BERARDINELLI A, RIZZI F, et al. Effect of cold plasma treatment on physico-chemical parameters and antioxidant activity of minimally processed kiwifruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2015, 107(9): 55–65.
- [37] MISRA N N, PATIL S, MOISEEV T, et al. In-package atmospheric pressure cold plasma treatment of strawberries [J]. Journal of Food Engineering, 2014, 125(1): 131–138.
- [38] 年彬彬, 李盼, 郭衍银. O₂/CO₂ 气调对生姜贮藏品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(6): 186–189.
NIAN B B, LI P, GUO Y Y. Effects of O₂/CO₂ controlled atmospheres on storage quality of ginger (*Zingiber Officinale* Rosc.) [J]. Food Research and Development, 2016, 37(6): 186–189.

Influences of Low Temperature Plasma Treatment on Sterilization Effect and Qualities of Ginger Slices

Xu Yanyang, Li Xuefeng

(College of Food Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130062)

Abstract Objective: To investigate the bactericidal effects of low-temperature plasma treatment on the microorganism on

the surface of ginger slices, the contents of total polyphenols and antioxidant activities in ginger slices, obtain the optimized process, and provide a new method for the preservation and sterilization of fresh-cut ginger slices. **Methods:** Firstly, microbial sterilization rate on the ginger slices surface was used as the index, discharge power and low temperature plasma treatment time were used as single factor experiments, then two factors three levels of response surface optimization design was applied to obtain the best sterilization processing conditions, and total polyphenols, flavonoids, gingerol content and antioxidant activity were determined. **Results:** The order of factors affecting the bactericidal rate of low temperature plasma was treatment time > discharge power. The optimal treatment conditions were: Discharge power of 400 W, treatment time of 4.6 min, bactericidal rate of 99.89%. There was no significant difference in the contents of total polyphenols and flavonoids in ginger slices before and after plasma treatment, but gingerol content decreased by 35.18%, DPPH free radical scavenging rate increased by 65.32%. The color of ginger slices had no obvious change after low temperature plasma treatment. **Conclusion:** Low temperature plasma treatment has a significant bactericidal effect on the surface microbe of ginger slices. Low temperature plasma technology can be used as a more effective and convenient non-thermal bactericidal method.

Keywords low temperature plasma; sliced ginger; sterilization effect; total polyphenol content; total flavonoids content; gingerol content; antioxidant activity