

# 低温等离子体杀菌工艺的优化及其对梨汁品质和抗氧化活性的影响

于弘慧<sup>1,2</sup>, 马挺军<sup>1</sup>, 孙运金<sup>1</sup>, 陈璧州<sup>1</sup>, 李红卫<sup>1,2,\*</sup>

(1.北京农学院食品科学与工程学院,北京 102206;

2.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:**低温等离子体杀菌是一种新兴的非热杀菌技术,本文拟探明基于低温等离子体杀菌的梨汁适宜杀菌工艺及其对梨汁品质和抗氧化能力的影响。以大肠杆菌为微生物指标,研究低温等离子体的杀菌时间、电源电压和空气流速对梨汁杀菌率(以  $\log N_0/N$  计)的影响,并采用响应面法选出最优杀菌工艺。结果表明,低温等离子体杀菌的最优工艺为:杀菌时间 5 min,电源电压为 5 kV,空气流速为 70 L/min,其杀菌率达到 3.81  $\log N_0/N$ ,能够将全部大肠杆菌杀灭。与巴氏杀菌相比,经低温等离子体杀菌处理的梨汁多酚和维生素 C 的含量分别比前者高 26.5% 和 20.6%,较好的保持了梨汁色泽,对 DPPH 自由基和羟自由基的清除能力分别比前者高 17.99% 和 18.37%。低温等离子体杀菌是一种具有良好应用前景的非热杀菌方式。

**关键词:**低温等离子体 梨汁 品质 抗氧化能力

## Optimization of processing parameters of low temperature plasma sterilization and its effect on quality and oxidation resistance of pear juice

YU Hong-hui<sup>1,2</sup>, MA Ting-jun<sup>1</sup>, SUN Yun-jin<sup>1</sup>, CHEN Bi-zhou<sup>1</sup>, LI Hong-wei<sup>1,2,\*</sup>

(1.Beijing Key Laboratory of Agricultural Product Detection and Control for Spoilage Organisms and Pesticides, Beijing 102206, China;

2.Food Science and Engineering College, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China)

**Abstract:** Low temperature plasma sterilization as a new non-thermal sterilization technology has significant advantages. This paper intends to explore the optimal parameters of low temperature plasma sterilization on pear juice and its effects on quality and antioxidant capacity of pear juice. Using *Escherichia coli* as microbial indicator, the optimal sterilization time, power supply voltage and air flow velocity to pear juice under such a technology taken sterilization rate ( $\log N_0/N$ ) as indicator were investigated. The results showed that the optimal sterilization technology were as followings, sterilizing time 5 min, the power supply voltage 5 kV, the air flow rate 70L/min. Under these conditions, the bactericidal rate reached 3.81  $\log N_0/N$ . Compared with the pasteurization under the low temperature plasma sterilization, the contents of polyphenols and  $V_c$  of pear juice was higher than that of the former by 26.5% and 20.6% respectively, the scavenging capacity against DPPH radical and hydroxyl radical was higher than that of the former by 17.99% and 18.37% respectively. The low temperature plasma sterilization might be a useful method among non-thermal sterilization technology for food sterilization.

**Key words:** low temperature plasma; fresh pear juice; quality; antioxidant capacity

中图分类号:TS255.3

文献标识码:B

文章编号:1002-0306(2018)09-0212-06

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2018.09.037

引文格式:于弘慧,马挺军,孙运金,等.低温等离子体杀菌工艺的优化及其对梨汁品质和抗氧化活性的影响[J].食品工业科技,2018,39(9):212-216,221.

我国是水果生产大国,2014年我国梨的产量占到1749万吨<sup>[1]</sup>。发展果汁产业可以提高水果的附加价值。据中国饮料工业协会提供的数据显示,我国已经成为饮料生产的第二大国家。饮料生产工艺中,杀菌是一道关键的工序,目前工业上常用的杀菌方法

有巴氏杀菌和超高温瞬时杀菌,常规的热处理技术可以达到商业杀菌的要求,但是,对于梨汁色泽、营养成分(如  $V_c$ )等品质往往会在不同程度上产生破坏,甚至产生异味和一些难以控制的非期望变化,从而影响消费者的可接受度<sup>[2]</sup>。低温等离子体杀菌是

收稿日期:2017-09-05

作者简介:于弘慧(1992-),女,硕士研究生,研究方向:果蔬贮藏加工,E-mail:yhh243583372@163.com。

\* 通讯作者:李红卫(1966-),博士,副教授,研究方向:果蔬采后生理及贮藏技术,E-mail:yinpenxijiao@126.com。

基金项目:公益性行业(农业)科研专项经费项目(201303075);北京农学院学位与研究生教育改革与发展项目(2018YJS029)。

近几年新兴起的一种杀菌方法<sup>[3-7]</sup>,具有杀菌温度低,杀菌速度快,简便无残留等特点,能够较好的保持食品原有的品质和风味<sup>[8]</sup>。低温等离子体的生成是一个非常复杂的过程,包括物理化学等反应过程,在等离子体中会产生紫外线<sup>[9-10]</sup>、带电粒子<sup>[11-14]</sup>、活性成分包括 NO、O<sub>3</sub>、NO<sub>2</sub><sup>[15-17]</sup>、<sup>0</sup>H<sup>[18]</sup>等等杀菌成分;20世纪90年代,FDA 就已批准等离子体用于食品表面进行杀菌<sup>[19]</sup>。Marsili 等<sup>[20]</sup>采用高压脉冲放电对大肠杆菌杀灭率达到 100%;Crier 等<sup>[21]</sup>研究低温等离子体对苹果、香瓜和莴苣表面的大肠杆菌均有明显的杀菌作用。Danijela 等<sup>[22]</sup>研究低温等离子体杀菌对石榴汁的影响,研究发现等离子体对石榴汁中的花青素破坏较少,具有积极的作用。本实验以梨汁为原料,以杀菌时间、电源电压以及空气流速为考察因素,利用响应面法优化杀菌参数,从而找出最佳杀菌条件。同时采用巴氏杀菌对梨汁进行处理,比较不同杀菌方法对梨汁品质影响。并对其抗氧化活性的影响进行了研究,试探讨低温等离子体对氧化活性的破坏以及较传统杀菌方式的优势。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与仪器

河北水晶梨 北京市昌平区回龙观西大街物美超市;大肠杆菌 ATCC8099 中国工业微生物菌种保藏管理中心;胰蛋白胨、酵母浸提液、NaCl、琼脂、营养琼脂、抗坏血酸 北京奥博星生物技术有限责任公司;DPPH、没食子酸标准品、Folin-Phenol 美国 Sigma 公司;碳酸钠、铁氰化钾、三氯乙酸、碳酸氢二钠、磷酸二氢钠、乙醇、硫酸亚铁、过氧化氢、草酸、水杨酸 均为国产分析纯。

低温等离子体反应器(北京农学院食品科学与工程学院自制,交流电输出 0~6 kV,电源频率 10 kHz);IKA MS2 磁力搅拌器、JA1003 电子分析天平 上海天平仪器厂;WFJ2100 可见光分光光度计 尤尼柯(上海)仪器有限公司;TGL-16G 台式离心机 上海安亭科学仪器厂制造;MJ-25BM04B 榨汁机 广东美的精品电器制造有效公司;DHP-500 电热恒温培养箱 天津市中环实验电炉有限公司;MLS-3751L-PC 高压蒸汽灭菌锅 日本 Panasonic 公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 梨汁制备 购买同一生产批次无病虫害、无机械损伤、新鲜的水晶梨作为实验原料。自来水冲洗后,去皮,切成块,放入搅碎机中榨取滤液备用,做低温等离子体杀菌实验时,将鲜榨梨汁在 120℃ 高温下灭菌 15 min,然后将大肠杆菌 ATCC8099 稀释至 1.01 × 10<sup>8</sup> ~ 1.01 × 10<sup>9</sup> cfu/mL 接种到梨汁中。

1.2.2 杀菌处理 将接种大肠杆菌后的梨汁分为 3 组,第一组用 50 mL 120℃ 高温灭菌 15 min 的无菌小烧杯盛装 3 mL 梨汁放在磁力搅拌器上以 500 r/min 在低温等离子体反应器中进行杀菌,电源电压 0~5 kV,气体流量 40~80 L/min,常温常压,液体距离放电口 3 cm;第二组取 30 mL 梨汁放入 50 mL 小烧杯中进行巴氏杀菌,90℃,10 min;第三组不进行杀菌

处理,室温放置相同时间。将不同条件处理后的梨汁稀释到适当倍数(10<sup>-6</sup>~10<sup>-7</sup>),移取 0.2 mL 于 LB 培养基中,37℃ 恒温培养 24 h,采用 GB 4789-2010《食品安全国家标准 食品微生物学检验标准》<sup>[23]</sup>中平板计数法对大肠杆菌进行计数。杀菌率以 logN<sub>0</sub>/N 表示,N<sub>0</sub> 为表示杀菌前梨汁大肠杆菌活菌数,N 表示杀菌后梨汁中大肠杆菌活菌数。

1.2.3 低温等离子体杀菌单因素实验 为了考察杀菌时间对杀菌率的影响,取 3 mL 接种后梨汁进行杀菌处理,控制电源电压为 4 kV,空气流速为 60 L/min,分别振荡杀菌 1、2、3、4、5 min;为了考察电源电压对梨汁杀菌率的影响,取 3 mL 接种后梨汁进行杀菌处理,杀菌时间固定为 4 min,空气流速 60 L/min,电源电压分别为 1、2、3、4、5 kV,为了考察空气流速对梨汁杀菌率的影响,取 3 mL 接种后梨汁进行杀菌处理,控制杀菌时间为 4 min,电压控制在 4 kV,空气流速分别为 40、50、60、70、80 L/min,每个处理做三个平行实验。

1.2.4 低温等离子体杀菌响应面设计 根据单因素实验结果,以杀菌时间、空气流速、电源电压为工艺参数,设计三因素三水平 Box-Behnken 响应面实验,以大肠杆菌为考察指标,共设计 5 个中心点和 17 组实验,实验因素水平设计如表 1 所示。

表 1 响应面因素水平

Table 1 Factors and levels of response surface experiments

| 因素             | 水平 |    |    |
|----------------|----|----|----|
|                | -1 | 0  | 1  |
| A 杀菌时间( min)   | 3  | 4  | 5  |
| B 等离子体电压( kV)  | 3  | 4  | 5  |
| C 空气流速( L/min) | 60 | 70 | 80 |

1.2.5 杀菌前后梨汁品质的指标测定 选取最优低温等离子体杀菌工艺条件与巴氏杀菌品质指标做比较。V<sub>c</sub> 含量的测定:采用国标法<sup>[24]</sup>,测定标准曲线为 y = 0.1458x - 0.1412 R<sup>2</sup> = 0.9899;总酚含量的测定:采用福林酚法,以没食子酸计算,测定标准曲线为 y = 0.5985x + 0.0047 R<sup>2</sup> = 0.9834;总酸的测定:采用酸碱滴定法,以苹果酸计算;还原糖的测定:采用直接滴定法,以葡萄糖计算;可溶性固形物含量的测定:使用手持糖度仪测定<sup>[25-26]</sup>;色泽:采用色差仪进行测定。

1.2.6 杀菌前后梨汁 DPPH 自由基的清除率 在干净小烧杯中加入 2 mL 鲜榨梨汁、DPPH 自由基溶液(0.2 mmol/L),振荡混合后避光静置 30 min,在 517 nm 波长下测定吸光度 A<sub>1</sub>,并做三次平行实验,计算公式如下:

$$\text{DPPH 自由基清除率}(\%) = \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_3}\right) \times 100$$

式中:A<sub>1</sub> 为梨汁的吸光度;A<sub>2</sub> 为梨汁与无水乙醇溶液混合吸光度;A<sub>3</sub> 为乙醇与 DPPH 溶液混合测吸光度<sup>[27-28]</sup>。

1.2.7 杀菌前后梨汁羟自由基清除能力测定 在干净的小烧杯中加入 2 mL 的梨汁、FeSO<sub>4</sub>(10 mmol/L)、水

杨酸-乙醇溶液(10 mmol/L)和  $H_2O_2$ (6 mmol/L) 充分混匀,避光放置 10 min 后于 510 nm 波长处测定吸光度  $A_1$ 。以  $V_c$  作对照测吸光度为  $A_2$ ,蒸馏水做空白测吸光度为  $A_3$ , 并做三次平行实验,计算公式如下:

$$\text{羟自由基清除率}(\%) = \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_3}\right) \times 100$$

式中:  $A_1$  为梨汁的吸光度;  $A_2$  为  $V_c$  的吸光度;  $A_3$  为蒸馏水的吸光度<sup>[27-28]</sup>。

1.2.8 分析方法 在观测变量总离差平方和中,如果组间离差平方和所占比例较大,则说明观测变量的变动主要是由控制变量引起的,可以主要由控制变量来解释,控制变量给观测变量带来了显著影响;实验结果用 spss 17.0 软件进行统计分析,数据以  $\bar{x} + s$  表示,用比较均值中的 ANOVA 进行单因素分析,显著水平  $p < 0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 单因素实验结果

杀菌时间对杀菌率影响见图 1A,大肠杆菌的杀菌率随着杀菌时间的增加而增加,在杀菌 4 min 时达到最大值,杀菌 5 min 时,杀菌率基本维持不变,这是因为在较短时间所释放的等离子体活性成分较少,

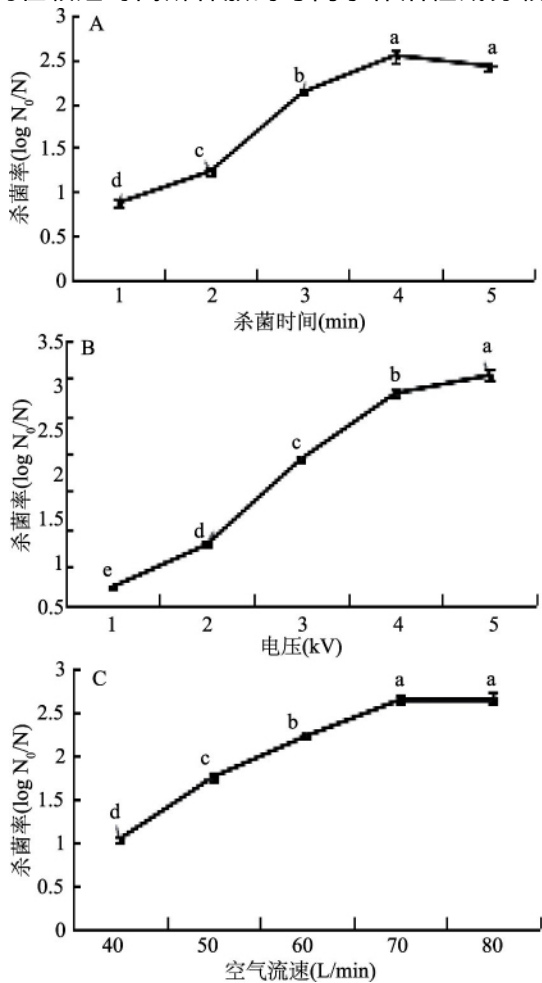


图1 杀菌时间(A)、电压(B)、空气流速(C)对梨汁杀菌效果的影响

Fig.1 Effect of sterilizing time(A), voltage(B), air flow rate(C) on sterilization of pear juice

对大肠杆菌杀菌作用力低,所以杀菌率低,而达到一定时间后,等离子体释放量不断增加,大部分大肠杆菌被杀灭,再增加时间杀菌率也没有很大的提高。最优杀菌时间为 3~5 min<sup>[29]</sup>。

电源电压对杀菌率影响见图 1B 所示,大肠杆菌的杀菌率同样随着电源电压的增大而增大,当电压达到 3 kV 时迅速增加,到 4 kV 时杀菌率上升相对缓慢,电压升到 5 kV 时杀菌率变化较小,因为电压可以控制等离子体的释放量,当电压升高时,等离子体也增加,当增加到一定量时就能够将大肠杆菌杀灭。最适电压为 3~5 kV<sup>[30]</sup>。

空气流速对杀菌率影响见图 1C,大肠杆菌杀菌率随着空气流速的加大而增加,其中当空气流速达到 70 L/min 时,低温等离子体对大肠杆菌杀灭效果趋于稳定,基本能够将大部分大肠杆菌杀灭,由于等离子体是通过加压的空气来喷射到液体表面的,通过增加空气流速,能够使等离子体充分与液体接触,而当空气流速增加到一定量时,等离子体能够与液体充分接触进而杀菌,因此再增加流速其杀菌率变化不明显。最适空气流速为 60~80 L/min。

### 2.2 响应面实验设计与结果

通过单因素的实验结果,利用响应面法对低温等离子体杀菌工艺进行优化,以大肠杆菌杀菌率为响应值,进行三因素三水平 Box-Behnken 响应面优化实验,17 个实验组设计与结果如下。

表2 Box-Behnken 实验设计与响应值

Table 2 Experimental design and response value of Box-Behnken

| 实验号 | A 杀菌时间 (min) | B 电压 (kV) | C 空气流速 (L/min) | Y 杀菌率 (log $N_0/N$ ) |
|-----|--------------|-----------|----------------|----------------------|
| 1   | 4            | 4         | 70             | 2.45                 |
| 2   | 4            | 4         | 70             | 2.38                 |
| 3   | 5            | 4         | 60             | 2.33                 |
| 4   | 3            | 4         | 60             | 1.97                 |
| 5   | 4            | 3         | 80             | 1.75                 |
| 6   | 4            | 4         | 70             | 2.79                 |
| 7   | 3            | 3         | 70             | 1.72                 |
| 8   | 4            | 4         | 70             | 2.57                 |
| 9   | 5            | 4         | 80             | 2.42                 |
| 10  | 5            | 3         | 70             | 1.87                 |
| 11  | 4            | 5         | 80             | 3.23                 |
| 12  | 4            | 3         | 60             | 1.69                 |
| 13  | 4            | 4         | 70             | 2.77                 |
| 14  | 5            | 5         | 70             | 3.88                 |
| 15  | 3            | 4         | 80             | 2.04                 |
| 16  | 3            | 5         | 70             | 2.38                 |
| 17  | 4            | 5         | 60             | 3.21                 |

以杀菌率为响应值,通过 Design Expert 软件得出响应值与杀菌时间、电压和空气流速三个因素之间关系,对实验数据进行二次多元回归拟合,获得响应值与变量之间的方程:  $Y = 2.59 + 0.30A + 0.71B + 0.030C + 0.34AB + 0.005AC - 0.010BC - 0.20A^2 +$

表3 响应面方差分析

Table 3 Variance analysis of response surface

| 项目             | 平方和        | 自由度 | 均方         | F 值        | Pr > F  | 显著性 |
|----------------|------------|-----|------------|------------|---------|-----|
| 模型             | 5.57       | 9   | 0.62       | 17.02      | 0.0006  | **  |
| A              | 0.71       | 1   | 0.71       | 19.65      | 0.0030  | **  |
| B              | 4.02       | 1   | 4.02       | 110.57     | <0.0001 | **  |
| C              | 7.200E-003 | 1   | 7.200E-003 | 0.20       | 0.6697  |     |
| AB             | 0.46       | 1   | 0.46       | 12.54      | 0.0095  | **  |
| AC             | 1.000E-004 | 1   | 1.000E-004 | 2.752E-003 | 0.9596  |     |
| BC             | 4.000E-004 | 1   | 4.000E-004 | 0.011      | 0.9194  |     |
| A <sup>2</sup> | 0.18       | 1   | 0.18       | 4.86       | 0.0634  |     |
| B <sup>2</sup> | 0.024      | 1   | 0.024      | 0.66       | 0.4446  |     |
| C <sup>2</sup> | 0.16       | 1   | 0.16       | 4.51       | 0.0714  |     |
| 残差             | 0.25       | 7   | 0.036      |            |         |     |
| 失拟项            | 0.12       | 3   | 0.039      | 1.15       | 0.4305  |     |
| 纯误差            | 0.14       | 4   | 0.034      |            |         |     |
| 总误差            | 5.82       | 16  |            |            |         |     |

注: \*  $p < 0.05$  差异显著; \*\*  $p < 0.01$  差异极显著。

$0.075B^2 - 0.20C^2$

由表3可知,该模型为极显著模型( $p < 0.01$ ) 失拟项不显著( $p = 0.4305$ ) ,说明该模型与实验拟合较好。 $R^2 = 0.9563$  ,因此95.63%的杀菌率可用该模型解释,能够较好的表达各个因素与杀菌率之间的关系。杀菌时间A、电压B及其交互项AB对杀菌率的影响极显著( $p < 0.01$ ) ;空气流速C、交互项AC与BC、二次项A<sup>2</sup>、B<sup>2</sup>、C<sup>2</sup>对杀菌率影响均不显著( $p > 0.05$ ) 。去除不显著因子后所得三因素之间的回归方程为:

$$Y = 2.59 + 0.30A + 0.71B + 0.030C + 0.34AB$$

交互项AB的响应面及等高线图如图2所示。

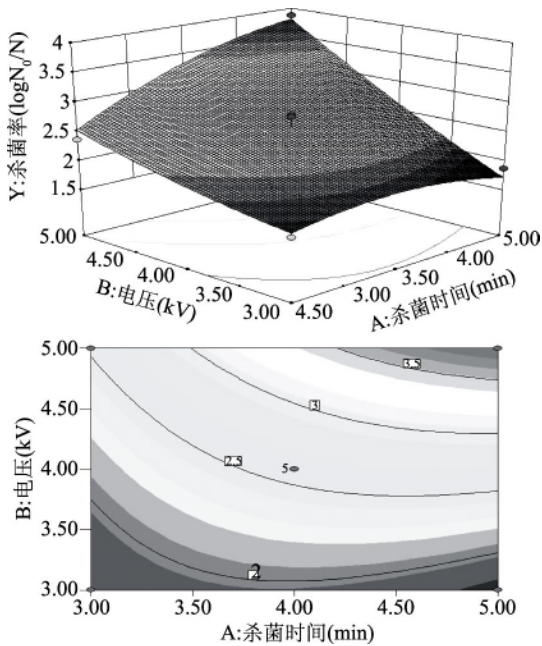


图2 杀菌时间与电源电压响应面和等高线

Fig.2 Responsive surfaces of sterilizing time and voltage and contour line

该图为空气流速一定即70 L/min时,杀菌时间

与电源电压交互作用对杀菌率的影响,由图我们可以看出,杀菌率随着电压和杀菌时间的增加而增加,且电源电压对杀菌率影响更为显著。

### 2.3 拟合优化的验证

通过拟合模型优化出最佳杀菌工艺条件为:杀菌时间5 min 电源电压为5 kV 空气流速为70.61 L/min 其杀菌率为3.81 logN<sub>0</sub>/N。利用该最优参数进行验证,实验重复3次,其分别为3.67、3.59、3.88 logN<sub>0</sub>/N,与模型预测值相符,在允许误差范围内,因此该模型可靠、有效。

### 2.4 巴氏杀菌对梨汁杀菌效果

原含有 $1.01 \times 10^8 \sim 1.01 \times 10^9$  cfu/mL 大肠杆菌的梨汁,经过90 °C,10 min 巴氏杀菌后未有大肠杆菌检出。

### 2.5 不同杀菌方式对梨汁杀菌效果及品质的影响

由表4可以看出,杀菌处理后L值、总酸含量、还原糖和可溶性固形物变化不显著( $p > 0.05$ )。而低温等离子体杀菌与巴氏杀菌后的ΔE差异显著( $p < 0.05$ ) ,说明经过热处理后梨汁颜色有显著的变化,与Hartyani的研究结果一致<sup>[31]</sup>。总酚和V<sub>C</sub>含量的下降较为显著( $p < 0.05$ ) 经过巴氏杀菌后,梨汁的总酚和V<sub>C</sub>的保留率分别为39.2%和38.2%,而经过低温等离子体杀菌处理,梨汁总酚和V<sub>C</sub>的保留率达到了65.7%和58.8%,分别高出巴氏杀菌26.5%和20.6% 这是由于巴氏杀菌的高温作用使V<sub>C</sub>和酚类物质发生了分解等化学反应。

### 2.6 不同杀菌方式对梨汁抗氧化能力的影响

由图3可知,梨原汁的DPPH自由基清除能力达到了95.23% 清除羟自由基能力达到72.45% ,杀菌处理后DPPH自由基和羟自由基清除能力均呈下降趋势,其中低温等离子体杀菌后DPPH的清除率为79.02% 羟自由基清除能力为66.23% ,而巴氏杀菌对其影响较为严重,DPPH的清除率为61.89% ,羟自由基清除清除率为52.92%。低温等离子体杀菌

表4 不同杀菌方式对梨汁品质的影响

Table 4 Effects of different sterilization methods on pear juice quality

| 品质指标                     | 原汁                        | 低温等离子体                    | 巴氏杀菌                      |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| <i>L</i>                 | 46.40 ± 0.49 <sup>a</sup> | 46.41 ± 0.45 <sup>a</sup> | 45.78 ± 0.81 <sup>a</sup> |
| <i>a</i> *               | -1.06 ± 0.07 <sup>b</sup> | -1.34 ± 0.05 <sup>a</sup> | -1.42 ± 0.05 <sup>a</sup> |
| <i>b</i> *               | 8.25 ± 0.22 <sup>b</sup>  | 8.12 ± 0.17 <sup>b</sup>  | 8.58 ± 0.28 <sup>a</sup>  |
| ΔE                       | 0.00 <sup>c</sup>         | 0.31 <sup>b</sup>         | 1.70 <sup>a</sup>         |
| 总酚含量(mg/mL)              | 4.23 ± 0.04 <sup>a</sup>  | 3.58 ± 0.05 <sup>b</sup>  | 1.66 ± 0.03 <sup>c</sup>  |
| V <sub>c</sub> 含量(mg/mL) | 0.34 ± 0.09 <sup>a</sup>  | 0.20 ± 0.05 <sup>b</sup>  | 0.13 ± 0.08 <sup>c</sup>  |
| 总酸含量(g/L)                | 3.45 ± 0.02 <sup>a</sup>  | 3.32 ± 0.04 <sup>a</sup>  | 3.52 ± 0.03 <sup>a</sup>  |
| 还原糖含量(mg/mL)             | 75.5 ± 0.26 <sup>a</sup>  | 74.3 ± 0.35 <sup>a</sup>  | 75.4 ± 0.1 <sup>a</sup>   |
| 可溶性固形物含量(°Brix)          | 12.13 ± 0.06 <sup>a</sup> | 11.21 ± 0.03 <sup>a</sup> | 11.34 ± 0.04 <sup>a</sup> |

注: 同行不同小写字母表示差异显著( $p < 0.05$ )。

与巴氏杀菌相比,前者对 DPPH 自由基和羟自由基的清除能力分别比后者高出 17.99% 和 18.37%,可见前者对梨汁抗氧化能力的负面影响显著低于后者。

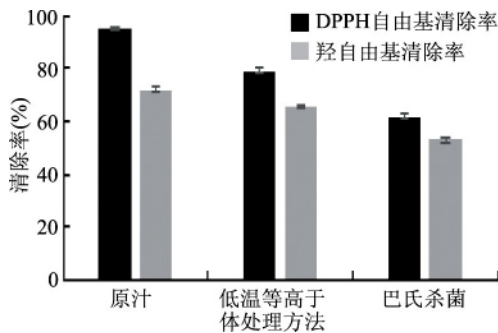


图3 不同杀菌方法对梨汁抗氧化能力的影响

Fig.3 Effect of different sterilization methods on the antioxidant capacity of pear juice

### 3 结论

低温等离子体能够快速、有效的杀灭梨汁中的大肠杆菌,当杀菌时间为 5 min、电源电压为 5 kV、空气流速为 70 L/min 时,其杀菌效果最佳,杀菌率为 3.81 logN<sub>0</sub>/N。与巴氏杀菌对比,低温等离子体杀菌能够更好的维持梨汁原有的品质,尤其是对总酚和 V<sub>c</sub> 的影响明显小于前者,此外,低温等离子体杀菌会降低梨汁对 DPPH 自由基和羟自由基的清除能力,但其降幅明显低于前者。可见,低温等离子体杀菌是一种具有良好应用前景的非热杀菌方式。

#### 参考文献

- [1] 吕永来. 2014 年全国各省(区、市)水果产量完成情况分析[J]. 中国林业产业 2015 (12): 24-27.
- [2] 李娅西, 邵先军, 彭兆裕, 等. 介质阻挡放电对橙汁灭菌及其品质的影响[J]. 高电压技术 2012, 1: 211-216.
- [3] Deng S R, Ruan C Y, Mok G, et al. Inactivation of *Escherichia coli* on almonds using nonthermal plasma [J]. Journal of Food Science 2007, 72(2): 62-66.
- [4] Perni S, Liu D W, Shama G, et al. Cold atmospheric plasma decontamination of the pericarps of fruit [J]. Journal of Food Protection 2008, 71(2): 302-308.
- [5] Ma H B, Roger ruan, Lin X G, et al. Non-thermal

pasteurization of liquid foods using non-thermal plasma [J]. Transactions of the CSAE 2002, 18(5): 155-159.

[6] Lin X G, Ruan R S, Zhu R B, et al. Study on a new non-thermal pasteurization technique for liquid foods [J]. Food Science 2006, 27(1): 57-61.

[7] 马挺军, 史喜成, 贾昌喜. 低温等离子体应用于食品杀菌的研究进展[J]. 食品科技 2007(12): 26-28.

[8] 赵会超. 低温等离子体技术应用研究[D]. 南京: 南京航空航天大学 2013.

[9] Moreira A J, Smansano R D, Pinto T J A, et al. Sterilization by oxygen Plasma [J]. Applied Surface Science 2004, 235: 151-155.

[10] Trompeter Franz-josef, Neff Willi J, Franken Oliver, et al. Reduction of bacillus subtilis and aspergillums niger spores using nonthermal atmospheric gas discharges [J]. IEEE Transactions on Plasma Science 2002, 30(4): 1416-1423.

[11] Moisan M, Barbeau J, Moreau S, et al. Low-temperature sterilization using gas plasmas: A review of the experiments and an analysis of the inactivation mechanisms [J]. International Journal of PH armaceutics 2001, 160(1/2): 75-81.

[12] Montie T C, Kelly Wintenberg K, Roth J R, et al. An overview of research using the one atmosphere uniform glow discharge plasma (OAUGDP) for sterilization of surfaces and materials [J]. IEEE Trans Plasma Sci 2000, 28(1): 41-50.

[13] Reece Roth J, Sherman Daniel M, Gadri Rami Ben, et al. A remote exposure reactor (RER) for plasma processing and sterilization by plasma active species at one atmosphere [J]. IEEE Transactions Plasma Sciences 2002, 30(4): 1416-1422.

[14] Mendis D A, Rosenberg M, Azam F. A note on the possible electrostatic disruption of bacteria [J]. IEEE Trans Plasma Sci, 2000, 28(4): 1304-1306.

[15] Mounir Laroussi. Sterilization of contaminated matter with an atmospheric pressure plasma [J]. IEEE Transactions on Plasma Science, 1996, 24(3): 1188-1191.

[16] Rami Ben Gadri, J Reece Roth, Thomas C Montie, et al. Sterilization and plasma processing of room temperature surfaces with a one atmosphere uniform glow discharge plasma (OAUGDP) [J]. Surface and Coatings Technology 2000, 131(1): 528-542.

[17] Kuzmichev A I, Soloshenko I A, Tsiolkov V V, et al. Feature of

(下转第 221 页)

参考文献

[1] 杨明, 胡文娥, 吴寿中. 微波辅助提取火龙果果皮中果胶工艺[J]. 食品研究与开发 2012, 33(2): 55-58.  
 [2] 杨志娟, 曾真, 吴晓萍. 火龙果果皮原花青素提取纯化及定性分析[J]. 食品科学 2015, 36(2): 75-79.  
 [3] Dong C X, Hayashi K, Mizukoshi Y, et al. Structures of acidic polysaccharides from *Basella rubra* L. and their antiviral effects [J]. Carbohydr Polym 2011, 84(3): 1084-1092.  
 [4] Zhang M, Cui S W, Cheung P C K, et al. Antitumor polysaccharides from mushrooms: A review on their isolation process, structural characteristics and antitumor activity [J]. Trends Food Sci Tech 2007, 18(1): 4-19.  
 [5] Majdoub H, Mansour M B, Chaubet F, et al. Anticoagulant activity of a sulfated polysaccharide from the green alga *Arthrospira platensis* [J]. Biochim Biophys Acta, 2009, 1790(10): 1377-1381.  
 [6] Luo Q, Sun Q, Wu L S, et al. Structural characterization of an immunoregulatory polysaccharide from the fruiting bodies of *Lepista sordida* [J]. Carbohydr Polym 2012, 88(3): 820-824.  
 [7] 黄梅华, 何全光, 淡明, 等. 火龙果果皮乳酸菌发酵产品体外抗氧化能力研究[J]. 食品工业科技, 2017, 38(17): 70-74, 79.  
 [8] 王雪, 丁金龙, 黄苇, 等. 火龙果果皮中果胶的提取及其结构研究[J]. 中国食品添加剂 2015(3): 102-106.  
 [9] 王晓波, 钟婵君, 刘冬英, 等. 火龙果果皮总黄酮对油脂抗氧化作用的研究[J]. 食品研究与开发 2012, 33(3): 19-23.  
 [10] 马冰雪, 潘腾, 任中清, 等. 火龙果果皮花青素提取工艺

研究[J]. 北京农业 2013(12): 213-215.  
 [11] 张玉锋, 孙丽平, 庄永亮, 等. 火龙果果皮中膳食纤维含量及其物理化学特性[J]. 食品科学 2012, 33(19): 164-167.  
 [12] 刘倩倩. 超声波辅助提取火龙果果皮中水溶性膳食纤维工艺研究[J]. 食品工业科技 2015, 36(18): 257-260, 266.  
 [13] 郑韵英, 童张法, 韦藤幼. 内部沸腾法提取银叶树叶中总黄酮的研究[J]. 广西大学学报: 自然科学版, 2013, 38(3): 527-531.  
 [14] 曾森洋, 韦藤幼, 童张法. 加酸内部沸腾法提取氯化两面针碱及其纯化研究[J]. 高校化学工程学报, 2014, 28(4): 719-724.  
 [15] 陈晓光, 韦藤幼, 彭梦微, 等. 内部沸腾法提取香菇多糖的工艺优化[J]. 食品科学 2011, 32(10): 31-34.  
 [16] 翁艳英, 韦藤幼, 童张法. 内部沸腾法提取三七多糖的研究[J]. 时珍国医国药 2011, 22(6): 1435-1436.  
 [17] 温拥军, 蒋琼凤, 郭浪. 响应面法优化内部沸腾法提取三七多糖[J]. 食品工业科技 2013, 34(23): 260-263.  
 [18] 许英伟, 肖小年, 刘剑青, 等. 响应面法优化内部沸腾法提取生米薯头多糖[J]. 南昌大学学报: 理科版, 2012, 36(5): 449-452.  
 [19] 蔡锦源, 许金蓉, 孙松, 等. 响应面法优选火龙果多糖的微波提取工艺研究[J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2015, 36(3): 65-70.  
 [20] 张淑杰, 康玉凡. 天然活性多糖研究进展[J]. 食品工业科技 2017, 38(2): 379-382, 389.  
 [21] 马钊, 李景明, 李丽梅, 等. 洋葱多糖提取工艺的研究[J]. 食品工业科技 2005, 26(5): 98-99.

(上接第216页)

sterilization by different type of atmospheric pressure discharges [J]. High Pressure Low Temperature Plasma Chemistry 2001, 15(2): 402-406.  
 [18] 郭俭. 低温等离子体杀菌机理与活性水杀菌作用研究[D]. 杭州: 浙江大学 2016.  
 [19] Purevdorj D, Igura N, Hayakawa I, et al. Inactivation of *Escherichia coli* by microwave induced low temperature argon plasma treatments [J]. Journal of food Engineering, 2002, 53: 341-346.  
 [20] Marsili L, Espie S, Anderson JG, et al. Plasma inactivation of food-related microorganisms in liquids [J]. Radiation Physics and Chemistry 2002, 65: 507-513.  
 [21] Critzer F J, Kelly - Wintenberg K, South S L, et al. Atmospheric plasma inactivation of foodborne pathogens on fresh produce surfaces [J]. J. Food Protect, 2007, 70(10): 2290-2296.  
 [22] Danijela B, Kovac evic, Predrag P. Effects of cold atmospheric gas phase plasma on anthocyanins and color in pomegranate juice [J]. Food Chem 2015, 190: 317-323.  
 [23] 国家标准化管理委员会. GB 4789-2010 食品安全国家标准食品微生物学检验标准[S]. 北京: 中国标准出版社 2010.

[24] 任洁, 吴志敏, 张丽, 等. 不同品牌的橙汁饮料中维生素c含量的测定[J]. 广东化工 2010, 37(5): 232-233.  
 [25] 国家标准化管理委员会. GB/T 5009-2003 食品检验方法: 理化检验[S]. 北京: 中国标准出版社 2003.  
 [26] 曹健康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社 2007.  
 [27] Truong V D, Hu Z, Thompson R L, et al. Pressurized liquid extraction and quantification of anthocyanins in purple-fleshed sweet potato genotypes [J]. Journal of Food Composition and Analysis 2012, 26(1/2): 96-103.  
 [28] 熬纯. 老鹰茶虫酿茶营养成分及其提取物体外抗氧化作用研究[D]. 重庆: 西南大学 2010.  
 [29] 张铮. 常压空气等离子体对液相环境中金黄色葡萄球菌的杀灭效果研究[J]. 中国消毒学杂志 2016, 33(6): 509-513.  
 [30] 林向阳, 李雁晖, 黄彬红, 等. 介质阻挡放电等离子体(DBDP)对橙汁杀菌及钝化酶的影响[J]. 中国报, 2010, 10(6): 14-21.  
 [31] Hartayani P, Dalmadi I, Knorr D. Electronic nose investigation of *Alicyclobacillus acidoterrestris* inoculated apple and orange juice treated by high hydrostatic pressure [J]. Food Control 2013, 32(1): 262-269.