

脉冲放电等离子体杀灭苹果汁中鲁氏接合酵母及对苹果汁品质的影响

夏秋霞¹, 段腾飞², 王周利¹, 牛晨¹, 岳田利¹, 袁亚宏¹

(1. 西北农林科技大学食品科学与工程学院, 陕西杨凌 712100)

(2. 宿州学院生物与食品工程学院, 安徽宿州 234000)

摘要: 应用研制的脉冲放电等离子体杀菌设备, 以鲁氏接合酵母 (*Zygosaccharomyces rouxii*, *Z.rouxii*) 为试验菌株, 探讨电气参数 (脉冲电压、通气量和处理时间)、溶液参数 (果汁可溶性固形物) 及菌初始浓度对苹果汁中鲁氏接合酵母的杀灭影响, 并比较了不同菌株杀灭效果的差异; 同时对处理前后苹果汁的基本理化指标、有机酸、多酚及挥发性风味物质含量进行测定, 探讨脉冲放电等离子体对苹果汁品质的影响。结果表明: 在脉冲电压 24 kV、通气量 150 mL/min、果汁可溶性固形物 12% 和果汁 pH=3.84 时, 脉冲放电等离子体能够将初始浓度为 1.08×10^4 CFU/mL 的鲁氏接合酵母 LB 在 5 min 内杀灭。同时脉冲放电等离子体对苹果汁基本理化指标、有机酸、多酚及挥发性风味物质含量大部分影响均不显著 ($p < 0.05$), 能够较大程度保持苹果汁品质, 该研究为脉冲放电等离子体在食品杀菌中应用提供了重要依据。

关键词: 脉冲放电等离子体; 鲁氏接合酵母; 苹果汁; 杀菌; 品质

文章编号: 1673-9078(2017)7-141-150

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.7.021

Effect of Pulsed Discharge Plasma on the Inactivation of

Zygosaccharomyces rouxii in Apple Juice and Quality of the Juice

XIA Qiu-xia¹, DUAN Teng-fei², WANG Zhou-li¹, NIU Chen¹, YUE Tian-li¹, YUAN Ya-hong¹

(1. College of Food Science and Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

(2. School of Biotechnology and Food Engineering, Suzhou University, Suzhou 234000, China)

Abstract: A self-assembled pulsed discharge plasma device was developed and *Zygosaccharomyces rouxii* LB was used as the test strain to study the effects of electrical parameters (voltage, ventilation, and exposure time), solution parameters (soluble solid concentration), and the initial concentration of the *Z. rouxii* LB on its inactivation in apple juice. The differences in the inactivation effects on different strains of *Z. rouxii* were compared. Moreover, the effects of pulsed discharge plasma on apple juice quality were studied by measuring the major physicochemical indexes, and the contents of organic acids, polyphenols, and volatile flavor compounds. The results showed that when juice-soluble solid concentration, juice pH, pulse voltage, and ventilation were 12 %, 3.84, 24 kV, and 150 mL/min, respectively, the *Z. rouxii* LB with an initial cell concentration of 1.08×10^4 CFU/mL could be effectively inactivated in five minutes by the pulsed discharge plasma. The pulsed discharge plasma had no significant effect on the basic physicochemical indexes, and the contents of organic acids, polyphenols and volatile flavor substances of apple juice ($p < 0.05$), and therefore could essentially maintain the apple juice quality. This study may provide an important methodological basis for the application of pulsed discharge plasma in food sterilization.

Key words: pulsed discharge plasma; *Zygosaccharomyces rouxii*; apple juice; inactivation; quality

鲁氏接合酵母 (*Zygosaccharomyces rouxii*, *Z.rouxii*) 是一种能够在浓缩苹果汁中生长的嗜高渗酵

收稿日期: 2016-11-30

基金项目: 国家科技部-港澳台科技合作项目 (2015DFT30130)

作者简介: 夏秋霞 (1990-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品化学、营养与安全

通讯作者: 袁亚宏 (1971-), 女, 教授, 博士生导师, 研究方向: 食品工程高新技术及安全控制

母, 也是最为常见的腐败酵母菌, 其能够耐受高糖、高酸和低水分活度等环境, 传统方法很难将其杀灭^[1,2]。将浓缩苹果汁稀释到 11.5~12% 用于饮料调配时, 鲁氏接合酵母能够快速生长繁殖, 造成果汁腐败变质, 丧失营养价值, 同时给企业造成经济损失^[3,4]。目前, Alonso^[5]等、Bevilacqua 等^[6]和 Hayes^[7]等对鲁氏接合酵母的控制进行了一定研究, 然而应用脉冲放电等离子体对苹果汁中鲁氏接合酵母进行控制并对苹果汁品

质影响作出系统评价的报道较少。

等离子体是一种主要有电子、正负离子、激发态分子等组成的高度电离的气体,是介于固态、液态和气态之间的第四种物质形态,也被称为“等离子态”,其中正负电荷相等,整体呈电中性^[8,9]。低温等离子体是作为等离子体质量主体的中性基团(原子、自由基和分子等),离子的温度远远低于电子,降低了整个体系的表观温度,使体系温度接近室温^[10,11]。目前研究及应用较多的主要是电晕放电等离子体^[12,13]、介质阻挡放电等离子体^[14,15]、大气压等离子体射流^[16,17]、脉冲放电等离子体等^[18-20]。低温等离子是一种新型食品冷杀菌技术,具有灭菌时间短、温度低、绿色安全、操作简单、应用广泛,能较大程度保持食品原有风味与营养成分等优点。大量研究证明低温等离子体对细菌、真菌以及芽孢等都具有良好的杀灭效果^[21-23]。低温等离子体在放电过程中能够产生紫外线、带电粒子、活性粒子、电场等,这些物质与微生物细胞发生各种物理、化学反应,最终导致微生物死亡^[24,25]。

本文采用脉冲放电等离子体对苹果汁中鲁氏接合酵母 LB^[26]进行杀灭,首先对影响杀菌效果的因素进行初步探究,然后对处理前后苹果汁中基本理化指标、有机酸、多酚及香气进行测定,系统评价脉冲放电等离子体对苹果汁品质的影响,以期通过这些研究,为脉冲放电等离子体在食品杀菌中实际应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

鲁氏接合酵母 LB^[1-3],实验室保存菌株,分离自浓缩苹果汁;鲁氏接合酵母 JCM5924、IFO1130,美国模式培养物保藏所;浓缩苹果清汁(pH值3.5~4,可溶性固形物为70%)购买于陕西省海升果业股份有限公司。

有机酸标准品:苹果酸、乳酸、柠檬酸、草酸、莽草酸、奎宁酸、琥珀酸,纯度均为98%以上,购于美国 Sigma-Aldrich 公司。

多酚标准品:儿茶素、表儿茶素、绿原酸、香草酸、对香豆酸、没食子酸、咖啡酸、阿魏酸、根皮苷、槲皮素,纯度均为98%以上,购于美国 Sigma-Aldrich 公司。

氢氧化钠、3,5-二硝基水杨酸、邻苯二甲酸氢钾、酒石酸钾钠、亚硫酸钠、结晶酚、3,5-二硝基水杨酸、柠檬酸、YPD培养基等试剂均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

脉冲放电等离子体杀菌设备(自制,脉冲输出,0~30 kV,峰值功率120 W,工作频率40~50 kHz);UV-2550型紫外可见分光光度计,日本岛津公司;雷磁 PHS-3C型 pH计,上海仪电科学仪器股份有限公司;WYT-4型阿贝折射仪,泉州中友光学仪器有限公司;DDS-11A数显电导率仪,上海雷磁新泾仪器有限公司;NRY-2102C全温摇床,上海南荣实验室设备有限公司;SPX-380型培养箱,宁波市科技园区新江南仪器有限公司;Thermo Finnigan Trace DSQ气相色谱-质谱联用仪,美国 Thermo Electron 公司;LC-15C高效液相色谱仪,日本 Shimadzu 公司;Rotavapor R-200旋转蒸发仪,瑞士 Buchi 公司。

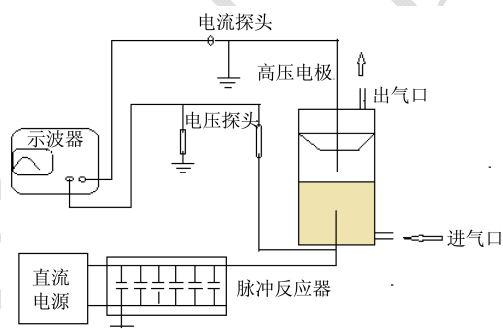


图1 实验装置示意图

Fig.1 Schematic diagram of the experimental apparatus

1.3 方法

1.3.1 影响杀菌效果的因素研究

1.3.1.1 样品的制备

挑取斜面保存的鲁氏接合酵母 LB 一环,接种到100 mL YPD 液体培养基中,28 °C、150 r/min 摇床培养42 h,得到菌体浓度为 $10^7 \sim 10^8$ CFU/mL 的种子液,置于4 °C下备用。

将种子液按一定比例加入到无菌苹果汁中,调整菌初始浓度,混合均匀后,准确移取15 mL 样液分装到50 mL 无菌离心管中。然后打开通气阀门,接通高压电源,进行杀菌试验,同时设置对照组。

1.3.1.2 不同因素对杀菌效果的影响

试验对影响杀菌效果的电气参数和溶液参数进行了初步研究,选取因素为电压、通气量、处理时间、果汁可溶性固形物、菌初始浓度、不同鲁氏接合酵母菌株^[26,27],其中通入气体为无菌空气,果汁 pH 用1 mol/L 柠檬酸和1 mol/L 氢氧化钠进行调节。

(1) 选取果汁可溶性固形物12%、20%、30%、40%、50%和60%,固定脉冲电压20 kV,通气量为

150 mL/min, 样品处理时间 8 min, 果汁 pH 为 3.84, 鲁氏接合酵母 LB 初始菌浓度为 8.60×10^5 CFU/mL, 研究果汁可溶性固形物对鲁氏接合酵母 LB 杀灭效果的影响。

(2) 选取电压 20 kV、24 kV 和 28 kV, 固定果汁可溶性固形物 12%, 通气量 150 mL/min, 果汁 pH 为 3.84, 鲁氏接合酵母 LB 初始浓度为 7.77×10^5 CFU/mL, 研究随着处理时间增加, 不同电压对鲁氏接合酵母 LB 杀灭效果的影响。

(3) 选取通气量 50 mL/min、150 mL/min、350 mL/min、550 mL/min 和 750 mL/min, 固定电压 24 kV、果汁可溶性固形物 12%, 果汁 pH 为 3.84, 鲁氏接合酵母 LB 初始浓度为 5.00×10^5 CFU/mL, 研究随着处理时间增加, 不同通气量对鲁氏接合酵母 LB 杀灭的影响。

(4) 菌初始浓度对杀菌效果的影响

选取鲁氏接合酵母 LB 初始浓度依次为 2.17×10^3 CFU/mL、 1.08×10^4 CFU/mL、 1.38×10^5 CFU/mL 和 7.77×10^5 CFU/mL, 电压 24 kV、果汁可溶性固形物 12%、通气量 150 mL/min, 果汁 pH 为 3.84, 研究随着处理时间增加, 鲁氏接合酵母 LB 初始浓度对杀菌效果的影响。

(5) 等离子体对不同菌株杀灭效果的影响

选取标准菌株 JCM5924、IFO1130 和分离菌株 LB, 电压 24 kV、果汁可溶性固形物 12%、果汁 pH 为 3.84, 通气量 150 mL/min, 研究随着处理时间增加, 不同菌株对杀菌效果的差异。

各因素的参数水平设置是根据仪器条件许可及试验需求的情况下进行的, 每个试验条件进 3 次平行。

1.3.1.3 灭菌效果检测

取处理前后的苹果汁样品 1 mL, 用无菌生理盐水进行 10 倍梯度稀释, 选择适当梯度的稀释液 100 μ L 涂布于 YPD 平板上, 每个稀释梯度平行 3 次, 置于 28 $^{\circ}$ C 培养 3~5 d, 然后进行菌落计数。杀菌效果用存活的鲁氏接合酵母菌落总数对数值表示。

1.3.2 脉冲放电等离子体对苹果汁品质的影响

由 1.3.1 试验结果并结合经济效益、果汁中鲁氏接合酵母实际污染情况等因素, 对在最佳杀菌条件下处理前后的苹果汁品质进行评价。最佳杀菌条件: 电压 24 kV, 通气量 150 mL/min, 果汁可溶性固形物 12%, 其中果汁 pH 为 3.84, 鲁氏接合酵母 LB 初始浓度为 10^4 CFU/mL, 为了进一步研究随着处理时间增加, 脉冲放电等离子体对苹果汁品质的影响, 对样品分别处理 0、1、2、3、4、5 min, 同时对温度进行测定。

1.3.2.1 苹果汁中基本理化指标的测定

可溶性固形物含量 (SSC) 的测定: 采用阿贝折射仪测定; pH 值的测定: 采用 pH 计测定; 色值的测定: 将不同处理果汁, 以蒸馏水为参比, 测定波长 440 nm 处透光率; 透光率的测定: 以蒸馏水为对照, 测定波长 625 nm 处透光率; 电导率: 用电导仪测定; 还原糖含量测定: 采用 3,5-二硝基水杨酸法测定, 结果以葡萄糖含量计; 总酸测定: 采用酸碱滴定法测定。每个理化指标测定 3 次, 检测方法参照 SB/T 10203-94。

1.3.2.2 苹果汁中有机酸含量的测定

取 1 mL 杀菌处理前后的苹果汁样品及标准品溶液, 经 0.22 μ m 水系滤膜过滤, 分别装于液相小瓶, 采用高效液相法在下述条件下测定^[28,29]。采用 Agilent 5 TC C18 色谱柱 (250 mm \times 4.6 mm, 5 μ m), 流动相为 0.01 mol/L 磷酸铵溶液 (用 H₃PO₄ 调 pH 至 2.7), 等梯度洗脱。流速: 0.7 mL/min, 柱温: 30 $^{\circ}$ C, 进样量: 10 μ L, 检测波长: 210 nm。

1.3.2.3 苹果汁中多酚含量的测定

(1) 多酚成分的提取

称取 20 mL 处理前后的苹果汁样品, 用 1 mol/L 氢氧化钠和 1 mol/L 盐酸溶液分别调节样品 pH 至 7.0 和 2.0, 每次加入 20 mL 乙酸乙酯, 萃取 3 次。合并有机相, 35 $^{\circ}$ C 旋蒸至干, 用 10 mL 甲醇复溶, 0.22 μ m 滤膜过滤备用^[30,31]。

(2) 色谱条件

采用 Agilent 5 TC C18 色谱柱 (250 mm \times 4.6 mm, 5 μ m), 试验方法参考叶萌祺^[32]。流动相 A: 2% 乙酸水溶液 (V/V), 流动相 B: 含 0.5% 乙酸的乙腈-水溶液 (50:50, V/V)。洗脱程序: 流动相 B 的体积分数变化如下, 0~50 min, 由 10% 递增到 55%, 50~60 min, 由 55% 增到 100%, 60~65 min, 递减到 10%, 平衡 10 min。柱温: 30 $^{\circ}$ C; 流速: 0.8 mL/min; 进样量: 20 μ L。检测波长: 黄烷-3-醇类以及二氢查耳酮类 280 nm, 羟基肉桂酸类 320 nm。

1.3.2.4 苹果汁中香气成分含量的测定

采用顶空固相微萃取法 (HS-SPME) 进行香气成分的富集。移取 5 mL 苹果汁样品于 15 mL 样品瓶中, 加入 1.5 g NaCl 和 3 μ L 的 3-辛醇溶液, 放入仪器自动进样测定, 其中每个化合物相对浓度按照挥发性风味物质峰面积与内标物峰面积比值计算^[33,34]。

色谱条件: 试验方法参考叶萌祺^[32], DB-WAX 弹性石英毛细管柱 (30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μ m), 氮载气流速 0.8 mL/min, 不分流。吸附香气成分的 PDMS 纤维头插入气相色谱进样口, 250 $^{\circ}$ C 下解析 5 min。升温程序为: 起始温度为 40 $^{\circ}$ C, 维持 5 min 后以 3 $^{\circ}$ C/min

的速度升温至 120 °C，再以 8 °C/min 的速度升温至 230 °C，维持 10 min。

质谱条件：电子轰击电离（EI），离子源温度为 200 °C，电子能量为 70 eV，扫描范围为 33~450 u，灯丝流量为 0.25 mA，检测器电压为 350 V^[35,36]。

1.4 数据处理

采用 SPSS 软件(SPSS 18.0)和 Origin 软件对试验数据进行统计分析并作图。

2 结果与分析

2.1 影响杀菌效果的因素研究

2.1.1 果汁可溶性固形物对杀菌效果的影响

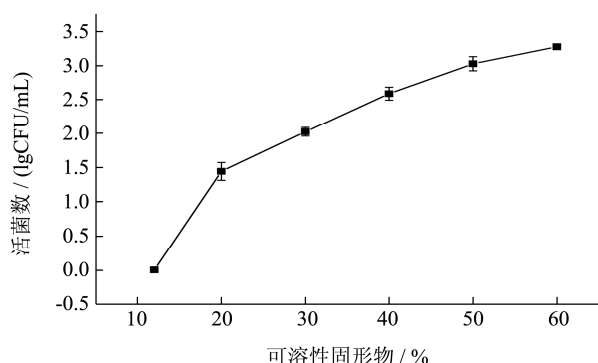


图2 果汁可溶性固形物对鲁氏接合酵母 LB 杀灭作用的影响

Fig.2 Effects of varying juice concentrations on the inactivation of *Z. Rouxii* LB

试验结果如图，随着果汁可溶性固形物含量增大，鲁氏接合酵母 LB 存活数增加，杀菌效果降低。当果汁可溶性固形物从 20%降至 12%时，活菌数降低速率最大。果汁可溶性固形物为 12%时，杀菌效果最好，样品处理 8 min，菌全部死亡，降低 5.93 个对数值，当果汁可溶性固形物为 60%时，杀菌效果虽然有所降低，但仍能降低 2.66 个对数值。果汁可溶性固形物对杀菌效果产生的影响可能是果汁浓度越大，果汁越粘稠，营养物质含量丰富，各种活性粒子运动减慢，一部分活性粒子与果汁中物质发生中和反应。

2.1.2 脉冲电压对杀菌效果的影响

结果如图 3 所示，随着脉冲电压增大，鲁氏接合酵母 LB 存活数显著降低，与郑超^[37]和宋颖^[38]研究结果一致。当脉冲电压从 20 kV 增大到 28 kV 过程中，菌完全死亡时间从 10 min 缩短为 7 min，鲁氏接合酵母 LB 下降对数值从 3.12 增大至 5.89。脉冲电压对杀菌效果产生的影响可能是因为：随着脉冲电压增加，放电更加剧烈，气体电离程度增强，活性粒子浓度增大，对细胞破坏程度增大^[37,38]。结果还表明，当脉冲

电压为一定值时，随着处理时间延长，鲁氏接合酵母 LB 活菌数降低速率增加，当处理时间在 5~10 min 时，活菌数降低速率较大。考虑仪器条件、经济效益及苹果汁品质等因素，后续试验选择电压 24 kV 进行灭菌。

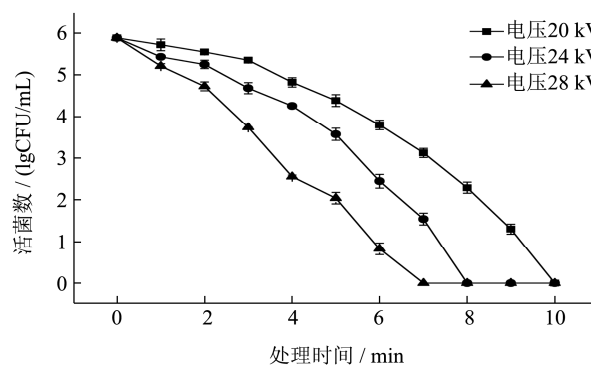


图3 脉冲电压对鲁氏接合酵母 LB 杀灭作用的影响

Fig.3 Effects of pulse voltage on the inactivation of *Z. Rouxii* LB

2.1.3 通气量对杀菌效果的影响

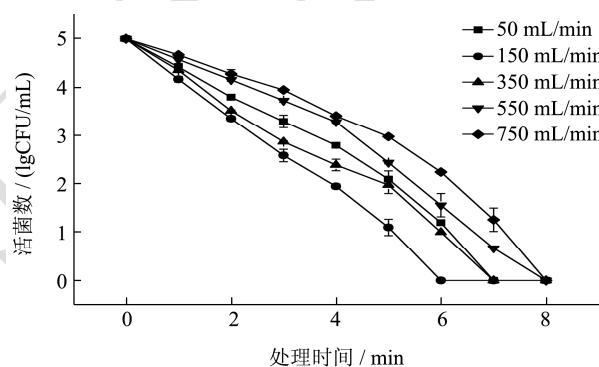


图4 通气量对鲁氏接合酵母 LB 杀灭作用的影响

Fig.4 Effects of ventilation on the inactivation of *Z. Rouxii* LB

杀菌过程中，不通风很难形成等离子通道，杀菌效果较差。但是通气量过高又会缩短活性粒子的作用时间，出现空气的吹脱效应^[39]。试验过程中，在仪器条件范围内，通过调节气体流量计，控制通气量。试验结果如图，通气量在 50 mL/min~750 mL/min 范围内，随着通气量增加，杀菌效果先增加后降低。样品处理相同时间 6 min，活菌数下降对数从 5.00 降到 2.75。通气量为 150 mL/min 时，杀菌效果最好，样品处理 6 min 时，菌完全死亡。通气量对杀菌效果产生的影响可能是因为：随着通气量增加，气体在溶液中停留时间缩短，放电产生的臭氧、过氧化氢等活性粒子与微生物细胞作用时间变短，利用率降低，所以杀菌效果降低^[40]。

2.1.4 菌初始浓度对杀菌效果的影响

由图 5 可知，脉冲放电等离子体对苹果汁中不同浓度的鲁氏接合酵母 LB 均具有良好的杀灭作用。当鲁氏接合酵母 LB 的初始浓度依次为 2.17×10^3 CFU/mL、 1.08×10^4 CFU/mL、 1.38×10^5 CFU/mL 和

7.77×10⁵ CFU/mL 时, 样品处理时间依次为 4 min、5 min、7 min 和 8 min 时, 菌完全死亡。当样品处理 4 min 时, 鲁氏接合酵母降低对数值依次为 3.33、2.44、2.34 和 1.64。随着鲁氏接合酵母 LB 的初始浓度增大, 细胞下降对数值减少。本试验结果与文献中郑超^[37]采用脉冲等离子体杀灭不同浓度大肠杆菌具有一致结果, 其影响原因可能与高细胞密度条件下的“遮蔽效应”有关^[41], 初始浓度越高, 死细胞对活细胞遮蔽和保护效应越明显。由于鲁氏接合酵母对果汁的污染浓度通常不会超过 10⁴ CFU/mL^[42,43], 所以脉冲放电等离子体对果汁中鲁氏接合酵母杀灭具有很好的实际应用前景。

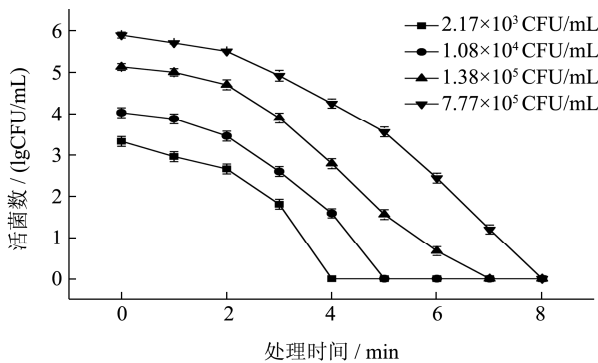


图5 菌初始浓度对鲁氏接合酵母 LB 杀灭作用的影响

Fig.5 Effects of initial cell density on the inactivation of *Z. Rouxii* LB

Z. Rouxii LB

2.1.5 等离子体对不同菌株的杀灭效果

标准菌株 JCM5924、IFO1130 和分离菌株 LB 初

始菌浓度依次为 6.30×10⁵ CFU/mL、4.00×10⁵ CFU/mL、7.77×10⁵ CFU/mL。由图 6 可知, 相同处理条件下, 标准菌株 JCM5924 表现最为敏感, 处理时间 5 min, 菌完全死亡, 降低 5.80 个对数值, 其次是标准菌株 IFO1130, 处理时间 7 min, 菌完全死亡, 降低 5.6 个对数值, 最后是分离菌 LB, 处理时间 8 min, 降低 5.89 个对数值。脉冲放电等离子体对不同鲁氏接合酵母菌株杀灭效果的差异可能是因为分离菌 LB 为嗜高渗酵母, 细胞结构及基因与标准菌株有一定差异, 更能耐受极端条件^[43]。

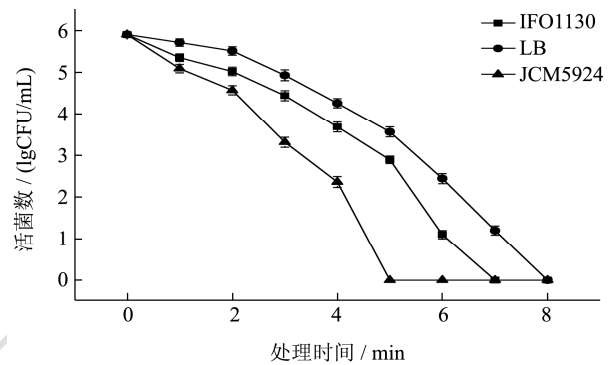


图6 等离子体对不同菌株的杀灭效果

Fig.6 Inactivation effect of plasma on different strains

2.2 脉冲放电等离子体对苹果汁品质的影响

2.2.1 杀菌处理对苹果汁中基本理化指标的影响

表 1 不同处理时间对苹果汁中基本理化指标的影响

Table 1 Effects of different exposure times on the basic physicochemical indexes in the apple juice

处理时间 /min	可溶性固形物/%	pH	还原糖 / (×10 ⁻² g/mL)	总酸 / (×10 ⁻² g/mL)	电导率 / (mS/cm)	温度/°C	透光率/%	色值/%
0	12.03±0.06 ^a	3.84±0.03 ^a	10.20±0.02 ^a	0.23±0.00 ^a	2.07±0.02 ^a	21.10±0.90 ^d	93.25±0.50 ^a	45.88±0.57 ^a
1	12.03±0.00 ^a	3.83±0.02 ^a	10.14±0.11 ^a	0.23±0.00 ^a	2.06±0.02 ^a	22.67±1.53 ^{cd}	93.17±1.00 ^a	45.98±0.47 ^a
2	12.03±0.06 ^a	3.84±0.01 ^a	10.15±0.06 ^a	0.23±0.00 ^a	2.06±0.02 ^a	24.33±1.15 ^c	92.57±0.42 ^a	40.00±0.52 ^b
3	12.03±0.06 ^a	3.84±0.02 ^a	10.17±0.10 ^a	0.23±0.00 ^a	2.07±0.02 ^a	29.27±0.80 ^b	90.39±0.55 ^b	36.96±0.45 ^c
4	12.03±0.06 ^a	3.84±0.02 ^a	10.13±0.06 ^a	0.23±0.00 ^a	2.06±0.03 ^a	30.27±0.99 ^{ab}	89.89±0.82 ^{bc}	30.48±0.57 ^d
5	12.03±0.00 ^a	3.83±0.01 ^a	10.14±0.05 ^a	0.23±0.00 ^a	2.07±0.01 ^a	32.33±0.76 ^a	88.29±0.93 ^c	27.41±0.74 ^e

注: 同一列相同字母代表不同处理时间对相应品质指标的影响在 p<0.05 水平上差异不显著。

由表 1 可知, 脉冲放电等离子体处理对苹果汁中可溶性固形物、pH、总酸、还原糖、电导率均没有显著性影响 (p>0.05), 较好的保持了苹果汁的基本理化品质, 与李娅西^[44]运用低温等离子体对橙汁灭菌效果及品质的影响研究结论基本一致。与空白样品相比, 处理时间 3~5 min 时, 苹果汁温度、透光率和色值发生显著性变化 (p<0.05)。处理时间 5 min 时, 苹果汁温度由 21.10 °C 升高到 32.33 °C, 升高 11.23 °C, 但仍保持低温环境; 苹果汁透光率由 93.25% 降低至

88.29%, 降低 5.31%; 苹果汁色值由 45.88% 变为 27.41%, 降低 40.26%

虽然处理后苹果汁色值和透光率有所降低, 但并不影响食用, 脉冲放电等离子体处理能够较大程度上保持苹果汁品质。

2.2.2 杀菌处理对苹果汁中有机酸含量的影响

采用高效液相对处理前后苹果汁中 7 种有机酸含量进行测定。由表 2 可知, 脉冲放电等离子体处理对苹果汁中苹果酸、乳酸、莽草酸等 5 种有机酸含量

均没有显著性影响 ($p>0.05$)。与空白样品相比, 处理时间 5 min 时, 苹果汁中草酸含量显著升高 ($p<0.05$), 从 0.12 mg/mL 升高到 0.18 mg/mL, 升高 50%; 奎宁酸含量在 4 min 时达到最高, 从 0.84 mg/mL 升高到

1.00 mg/mL, 升高 19.05%

脉冲放电等离子体处理对苹果汁中 7 种有机酸均没有破坏降低影响, 较好的保持了苹果汁品质。

表 2 不同处理时间对苹果汁中有机酸含量的影响

Table 2 Effects of different exposure times on the organic acid content in apple juice

处理时间/min	有机酸含量/(mg/mL)						
	苹果酸	乳酸	柠檬酸	草酸	莽草酸	奎宁酸	琥珀酸
0	2.28±0.01 ^a	0.41±0.02 ^a	0.07±0.00 ^a	0.12±0.00 ^d	0.02±0.00 ^a	0.84±0.00 ^b	0.21±0.01 ^a
1	2.30±0.001 ^a	0.42±0.041 ^a	0.07±0.00 ^a	0.13±0.00 ^d	0.02±0.00 ^a	0.86±0.04 ^b	0.22±0.03 ^a
2	2.29±0.011 ^a	0.41±0.03 ^a	0.07±0.01 ^a	0.14±0.00 ^c	0.02±0.00 ^a	0.90±0.05 ^{ab}	0.20±0.01 ^a
3	2.30±0.01 ^a	0.45±0.06 ^a	0.07±0.01 ^a	0.15±0.01 ^{bc}	0.02±0.00 ^a	0.91±0.05 ^{ab}	0.24±0.02 ^a
4	2.29±0.01 ^a	0.46±0.04 ^a	0.07±0.00 ^a	0.16±0.01 ^{ab}	0.02±0.00 ^a	1.00±0.04 ^a	0.21±0.02 ^a
5	2.30±0.02 ^a	0.45±0.05 ^a	0.07±0.00 ^a	0.18±0.00 ^a	0.02±0.00 ^a	0.98±0.02 ^{ab}	0.20±0.03 ^a

注: 同一列相同字母代表不同处理时间对相应品质指标的影响在 $p<0.05$ 水平上差异不显著。

2.2.3 杀菌处理对苹果汁中多酚含量的影响

表 3 不同处理时间对苹果汁中多酚含量的影响

Table 3 Effects of different exposure times on the polyphenolic content in apple juice

处理时间/min	多酚含量/(mg/L)				
	没食子酸	儿茶素	绿原酸	香草酸	咖啡酸
0	1.73±0.06 ^a	2.28±0.02 ^{bc}	67.26±0.58 ^a	0.04±0.00 ^a	0.88±0.00 ^c
1	1.73±0.02 ^a	2.48±0.03 ^a	66.64±0.15 ^a	0.04±0.00 ^a	0.91±0.00 ^b
2	1.73±0.05 ^a	2.30±0.02 ^{bc}	64.86±0.73 ^b	0.04±0.00 ^a	0.95±0.01 ^a
3	1.73±0.03 ^a	2.25±0.02 ^c	61.36±0.57 ^c	0.04±0.00 ^a	0.88±0.01 ^c
4	1.73±0.03 ^a	2.23±0.02 ^c	52.01±0.21 ^d	0.04±0.00 ^a	0.90±0.01 ^b
5	1.73±0.03 ^a	2.33±0.03 ^b	48.79±0.62 ^e	0.04±0.00 ^a	0.93±0.01 ^a

处理时间/min	多酚含量/(mg/L)				
	表儿茶素	槲皮素	根皮苷	阿魏酸	对香豆酸
0	0.55±0.01 ^a	0.22±0.00 ^a	0.22±0.00 ^a	0.04±0.00 ^a	0.22±0.02 ^a
1	0.56±0.02 ^a	0.23±0.00 ^a	0.25±0.01 ^a	0.04±0.00 ^a	0.22±0.00 ^a
2	0.55±0.01 ^a	0.23±0.01 ^a	0.24±0.02 ^a	0.04±0.00 ^a	0.23±0.00 ^a
3	0.55±0.01 ^a	0.22±0.00 ^a	0.23±0.02 ^a	0.04±0.00 ^a	0.21±0.00 ^a
4	0.56±0.01 ^a	0.23±0.00 ^a	0.22±0.03 ^a	0.04±0.00 ^a	0.21±0.00 ^a
5	0.55±0.01 ^a	0.22±0.00 ^a	0.25±0.03 ^a	0.04±0.00 ^a	0.22±0.01 ^a

注: 同一列相同字母代表不同处理时间对相应品质指标的影响在 $p<0.05$ 水平上差异不显著。

试验对样品中 10 种多酚物质含量进行测定。由表 3 可知, 脉冲放电等离子体处理苹果汁 5 min, 对苹果汁中没食子酸、没食子酸和表儿茶素等 7 种多酚物质的含量没有显著性影响 ($p>0.05$)。随着处理时间增加, 苹果汁中咖啡酸含量显著性增加 ($p>0.05$), 绿原酸含量显著性降低 ($p<0.05$)。与空白样品相比, 处理时间 5 min 时, 咖啡酸含量从 0.88 mg/L 升高到 0.93 mg/L, 升高了 5.68%; 绿原酸含量从 67.26 mg/L 降低到 48.79 mg/L, 降低了 27.46%。等离子体处理对苹果汁中 9 种多酚物质均没有破坏降低影响, 较好保持

苹果汁品质。

2.2.4 等离子体处理对苹果汁中挥发性风味物质含量的影响

由表 4 可知, 样品中共检测到 26 种挥发性风味物质。与空白样品对比, 脉冲放电等离子体处理对苹果汁中 1,3-辛二醇、2-丙基 1-戊醇、苯乙醇等 10 种挥发性风味物质含量均没有显著性影响 ($p>0.05$), 其中己醛、苯甲醛、反-2-辛烯醛、异戊醇含量显著性升高 ($p<0.05$), 乙醇、苯乙醛、大马酮、丙酸、3-辛酮含量显著性降低 ($p<0.05$), 剩余 7 种物质出现部分升高

或降低趋势。随着处理时间增加, 异丙醇、甲基呋喃酮和 2,4-二叔丁基苯酚含量分别在 3 min、1 min 和 1 min 时达到最大值 10.09 $\mu\text{g/L}$ 、0.51 $\mu\text{g/L}$ 和 97.54 $\mu\text{g/L}$, 甲基糠醛和正十四烷含量分别在 2 min 和 3 min 时达到最低值 0.56 $\mu\text{g/L}$ 和 1.76 $\mu\text{g/L}$, 2,2,4-三甲基-1,3-戊

二醇二异丁酸酯含量在 1~3 min 时显著性升高, 4~5 min 时显著性降低 ($p < 0.05$)。脉冲放电等离子体处理 5 min 时, 对苹果汁中异丙醇、甲基糠醛、糠醛等 20 种挥发性风味物质均没有破坏降低影响, 并增加了反-2-辛烯醛挥发性风味物质, 较好保持了苹果汁品质。

表 4 不同处理时间对苹果汁中挥发性风味物质含量的影响

Table 4 Effects of different exposure times on the volatile flavor compounds in apple juice

化合物名称	不同处理时间下苹果汁中挥发性物质含量/ $\mu\text{g/L}$					
	0 min	1 min	2 min	3 min	4 min	5 min
乙醇	29.02 \pm 1.72 ^a	27.80 \pm 1.09 ^{ab}	27.4 \pm 1.17 ^{ab}	27.03 \pm 0.30 ^c	26.55 \pm 0.61 ^c	25.96 \pm 0.21 ^c
异丙醇	7.98 \pm 1.27 ^b	10.06 \pm 0.36 ^a	7.85 \pm 0.93 ^b	10.09 \pm 0.62 ^a	9.81 \pm 0.217 ^{ab}	9.54 \pm 0.20 ^{ab}
异戊醇	3.47 \pm 1.30 ^b	3.85 \pm 1.05 ^{ab}	3.83 \pm 0.12 ^{ab}	4.31 \pm 0.27 ^{ab}	4.44 \pm 0.08 ^{ab}	4.98 \pm 0.07 ^a
1,3-辛二醇	2.14 \pm 0.57 ^a	2.11 \pm 0.79 ^a	1.72 \pm 0.21 ^a	1.94 \pm 0.76 ^a	1.56 \pm 0.14 ^a	2.36 \pm 0.02 ^a
2-丙基 1-戊醇	2.28 \pm 0.22 ^a	2.04 \pm 0.03 ^a	1.93 \pm 0.21 ^a	1.79 \pm 0.48 ^a	1.64 \pm 0.18 ^a	1.64 \pm 0.13 ^a
苯乙醇	0.93 \pm 0.10 ^a	1.00 \pm 0.12 ^a	0.84 \pm 0.02 ^a	0.91 \pm 0.08 ^a	0.94 \pm 0.13 ^a	1.05 \pm 0.07 ^a
氧化芳香醇	0.34 \pm 0.01 ^a	0.33 \pm 0.05 ^a	0.34 \pm 0.03 ^a	0.34 \pm 0.02 ^a	0.34 \pm 0.03 ^a	0.34 \pm 0.05 ^a
己醛	0.67 \pm 0.07 ^c	0.93 \pm 0.03 ^b	1.19 \pm 0.02 ^a	1.18 \pm 0.11 ^a	1.25 \pm 0.01 ^a	1.12 \pm 0.09 ^a
糠醛	48.31 \pm 3.57 ^{ab}	51.78 \pm 0.70 ^a	46.41 \pm 0.17 ^b	49.25 \pm 2.00 ^{ab}	50.19 \pm 0.37 ^{ab}	52.70 \pm 2.29 ^a
辛醛	0.80 \pm 0.13 ^a	0.92 \pm 0.03 ^a	0.90 \pm 0.15 ^a	0.87 \pm 0.20 ^a	0.87 \pm 0.12 ^a	0.63 \pm 0.04 ^a
苯甲醛	1.52 \pm 0.18 ^b	2.02 \pm 0.15 ^a	1.95 \pm 0.02 ^a	2.17 \pm 0.17 ^a	2.12 \pm 0.03 ^a	2.15 \pm 0.12 ^a
苯乙醛	2.74 \pm 0.21 ^a	2.42 \pm 0.13 ^a	1.87 \pm 0.12 ^b	1.69 \pm 0.26 ^b	1.45 \pm 0.18 ^b	1.47 \pm 0.09 ^b
2,4-二甲基苯甲	1.72 \pm 0.57 ^a	2.23 \pm 0.46 ^a	1.94 \pm 0.15 ^a	1.86 \pm 0.05 ^a	2.08 \pm 0.03 ^a	2.17 \pm 0.34 ^a
反-2-辛烯醛	0.00 \pm 0.00 ^c	0.41 \pm 0.21 ^b	0.58 \pm 0.02 ^a	0.60 \pm 0.01 ^a	0.68 \pm 0.01 ^a	0.71 \pm 0.03 ^a
甲基糠醛	0.64 \pm 0.08 ^{ab}	0.68 \pm 0.00 ^a	0.56 \pm 0.01 ^c	0.60 \pm 0.02 ^{bc}	0.66 \pm 0.02 ^{ab}	0.65 \pm 0.04 ^{ab}
3-辛酮	1.52 \pm 0.02 ^{ab}	1.58 \pm 0.11 ^a	1.34 \pm 0.01 ^{bc}	1.36 \pm 0.11 ^{bc}	1.15 \pm 0.07 ^{cd}	0.10 \pm 0.08 ^d
2-萘酮	4.54 \pm 0.40 ^a	3.13 \pm 0.06 ^a	2.52 \pm 0.25 ^a	2.40 \pm 0.29 ^a	2.14 \pm 0.08 ^a	2.35 \pm 0.07 ^a
大马酮	4.37 \pm 0.47 ^a	3.21 \pm 0.53 ^b	2.03 \pm 0.14 ^c	1.77 \pm 0.04 ^{cd}	1.39 \pm 0.23 ^{cd}	1.14 \pm 0.18 ^d
甲基呋喃酮	0.39 \pm 0.06 ^b	0.51 \pm 0.01 ^a	0.38 \pm 0.01 ^b	0.40 \pm 0.06 ^b	0.40 \pm 0.02 ^b	0.48 \pm 0.01 ^{ab}
丙酸	0.59 \pm 0.01 ^a	0.48 \pm 0.14 ^{ab}	0.51 \pm 0.12 ^{ab}	0.45 \pm 0.01 ^{ab}	0.31 \pm 0.03 ^b	0.34 \pm 0.09 ^b
正十三烷	1.28 \pm 0.37 ^a	1.28 \pm 0.03 ^a	1.37 \pm 0.03 ^a	1.08 \pm 0.09 ^a	1.43 \pm 0.33 ^a	1.27 \pm 0.20 ^a
正十四烷	2.12 \pm 0.48 ^{ab}	2.10 \pm 0.09 ^{ab}	2.32 \pm 0.05 ^a	1.76 \pm 0.06 ^c	2.36 \pm 0.46 ^a	2.37 \pm 0.01 ^a
正十七烷	2.85 \pm 0.55 ^a	2.90 \pm 0.25 ^a	2.99 \pm 0.01 ^a	2.81 \pm 0.33 ^a	2.95 \pm 0.52 ^a	2.72 \pm 0.21 ^a
桉树脑	0.54 \pm 1.11 ^a	0.51 \pm 0.06 ^a	0.71 \pm 0.01 ^a	0.47 \pm 0.03 ^a	0.65 \pm 0.19 ^a	0.43 \pm 0.11 ^a
2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇二异 丁酸酯	3.59 \pm 0.65 ^b	4.53 \pm 0.28 ^a	3.61 \pm 0.44 ^b	3.34 \pm 0.13 ^b	2.26 \pm 0.33 ^c	2.32 \pm 0.24 ^c
2,4-二叔丁基苯酚	73.28 \pm 3.20 ^c	97.54 \pm 2.46 ^a	83.11 \pm 1.79 ^b	83.63 \pm 1.92 ^b	72.32 \pm 1.06 ^c	68.40 \pm 3.40 ^c

注: 同一行相同字母代表不同处理时间对相应品质指标的影响在 $p < 0.05$ 水平上差异不显著。

3 结论

3.1 本试验采用脉冲放电形式, 与传统的交流驱动相比, 脉冲放电等离子体能够产生更高浓度的紫外线、氧原子及臭氧等活性粒子; 放电过程中电子及电流密度产生效率也更高; 还更易产生均匀的大面积等离子体; 能够达到更好的灭菌效果^[19]。

3.2 本试验以自制的脉冲放电等离子体装置对苹果

汁中鲁氏结合酵母进行灭菌研究, 首先对影响杀菌效果的电压、通气量、时间及果汁 pH、可溶性固形物、不同菌株及初始浓度进行了研究, 结果表明, 苹果汁可溶性固形物为 12%, pH 为 3.84, 鲁氏接合酵母 LB 初始浓度 1.08×10^4 CFU/mL, 在电压 24 kV, 通气量 150 mL/min 下, 处理 5 min 就能达到完全杀菌效果。同时, 本试验进一步研究了脉冲放电等离子体杀菌对苹果汁品质的影响。结果表明, 样品处理时间 5 min,

与空白苹果汁相比,处理后苹果汁的基本理化指标、7种有机酸含量、9种多酚物质以及20种挥发性风味物质含量未发生显著性变化($p>0.05$)。总体上,脉冲放电等离子体能够快速杀灭苹果汁中鲁氏接合酵母,并较大程度上保持了苹果汁品质,为脉冲放电等离子体在食品杀菌中应用及安全性评价提供了重要依据。

参考文献

- [1] Wang H, Hu Z, Long F, et al. Combined effect of sugar content and pH on the growth of a wild strain of *Zygosaccharomyces rouxii* and time for spoilage in concentrated apple juice [J]. Food Control, 2016, 59: 298-305
- [2] 王虎玄,岳田利,胡仲秋,等.陕西浓缩苹果汁中高渗酵母的分离鉴定[J].农业机械学报,2015,46(4):246-251
WANG Hu-xuan, YUE Tian-li, HU Zhong-qiu, et al. Identification of osmotolerant yeast in apple juice concentrate from Shaanxi [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(4): 246-251
- [3] 王虎玄,胡仲秋,龙芳羽,等.苹果汁中鲁氏接合酵母早期污染的电子鼻识别研究[J].农业机械学报,2016,47(1):209-214
WANG Hu-xuan, HU Zhong-qiu, LONG Fang-yu, et al. Research on identification of spoilage in apple juice caused by *Zygosaccharomyces rouxii* at early stage using electronic nose [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(1): 209-214
- [4] Graça A, Santo D, Esteves E, et al. Evaluation of microbial quality and yeast diversity in fresh-cut apple [J]. Food Microbiology, 2015, 51: 179-185
- [5] Alonso A, Belda I, Navascués E, et al. Advances in the control of the spoilage caused by *Zygosaccharomyces* species on sweet wines and concentrated grape musts [J]. Food Control, 2015, 51(51): 129-134
- [6] Bevilacqua A, Speranza B, Campaniello D, et al. Inactivation of spoiling yeasts of fruit juices by pulsed ultrasound [J]. Food & Bioprocess Technology, 2014, 7(8): 2189-2197
- [7] Hayes J C, Laffey J G, Mcneil B, et al. Relationship between growth of food-spoilage yeast in high-sugar environments and sensitivity to high-intensity pulsed UV light irradiation [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2012, 47(9): 1925-1934
- [8] Li J, Sakai N, Watanabe M, et al. Study on plasma agent effect of a direct-current atmospheric pressure oxygen-plasma jet on inactivation of e. coli using bacterial mutants [J]. IEEE Transactions on Plasma Science, 2013, 41(4): 935-941
- [9] 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 Jia-mei, HUANG Ming-ming, QIAO Wei-wei, et al. Disinfection technology of cold plasma and its application in food [J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2015, 17(5): 55-62
- [10] 罗书豪.影响大气压放电等离子体放电特性因素及灭菌实验研究[D].重庆:重庆大学,2013
LUO Shu-hao. Influence factor of discharge characteristics for atmosphere pressure plasma and sterilization experiment [D]. Chongqing: Chongqing University, 2013
- [11] 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(18):310-312,315
LI Zhao-Jie, LIU Xiao-Jing, YANG Li-Jun, et al. Sterilization of several foods by glow discharge low temperature plasma and its effects on food quality [J]. Journal of Anhui Agri. Sci., 2015, 43(18): 310-312, 315
- [12] 刘新,康颖,邹芳,等.电晕放电自由基簇射技术杀菌实验研究[J].载人航天,2015,21(2):125-129
LIU Xin, KANG Ying, ZOU Fang, et al. Study on inactivation of microbe contaminants via corona discharge radical shower [J]. Manned Spaceflight, 2015, 21(2): 125-129
- [13] Timoshkin I V, Maclean M, Wilson M P, et al. Bactericidal effect of corona discharges in atmospheric air [J]. IEEE Transactions on Plasma Science, 2012,40(40): 2322-2333
- [14] 张铮,岳永杰.常压介质阻挡放电空气等离子体对金黄色葡萄球菌杀灭效果及机理研究[J].中国消毒学杂志,2015, 32(9):853-856
ZHANG Zheng, YUE Yong-jie. Study on bactericidal effects and mechanisms of dielectric barrier discharge (DBD) air plasma on *Staphylococcus aureus* [J]. Chinese Journal of Disinfection, 2015, 32(9): 853-856
- [15] 林向阳,李雁晖,黄彬红,等.利用介质阻挡放电等离子体杀灭鲜榨果汁大肠杆菌[J].农业工程学报,2010,26(9):345-349
LIN Xiang-yang, LI Yan-hui, HUANG Bin-hong, et al. Inactivation of *E.coli* in fresh fruit juice using dielectric barrier discharge plasma (DBDP) [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(9): 345-349
- [16] Homma T, Furuta M, Takemura Y. Inactivation of *Escherichia coli* using the atmospheric pressure plasma jet of Ar gas [J]. Japanese Journal of Applied Physics, 2013, 52(3): 1274-1277
- [17] Li J, Sakai N, Watanabe M, et al. Study on plasma agent effect of a direct-current atmospheric pressure oxygen-plasma

- jet on inactivation of *E. coli* using bacterial mutants [J]. IEEE Transactions on Plasma Science, 2013, 41(4): 935-941
- [18] Wang T, Qu G, Sun Q, et al. Formation and roles of hydrogen peroxide during soil remediation by direct multi-channel pulsed corona discharge in soil [J]. Separation & Purification Technology, 2015, 147: 17-23
- [19] 卢新培,严萍,任春生,等.大气压脉冲放电等离子体的研究现状与展望[J].中国科学:物理学力学天文学,2011,41(7): 801-815
- LU Xin-pei, YAN Ping, REN Chun-sheng, et al. Review on atmospheric pressure pulsed DC discharge[J]. Sci Sin Phys Mech Astron, 2011, 41(7): 801-815
- [20] Wang T, Qu G, Sun Q, et al. Formation and roles of hydrogen peroxide during soil remediation by direct multi-channel pulsed corona discharge in soil [J]. Separation and Purification Technology, 2015, 147: 17-23
- [21] Xu Z, Shen J, Zhang Z, et al. Inactivation effects of non-thermal atmospheric-pressure helium plasma jet on *Staphylococcus aureus* biofilms [J]. Plasma Processes & Polymers, 2015, 12(8): 827-835
- [22] Jambrak A R, Vukušić T, Stulić V, et al. The effect of high power ultrasound and cold gas-phase plasma treatments on selected yeast in pure culture [J]. Food & Bioprocess Technology, 2015, 8(4): 791-800
- [23] Noue A C D L, Espinasse V, Perrier-Comet J M, et al. High gas pressure: An innovative method for the inactivation of dried bacterial spores [J]. Biotechnology & Bioengineering, 2012, 109(8): 1996-2004
- [24] Li J, Sakai N, Watanabe M, et al. Study on plasma agent effect of a direct-current atmospheric pressure oxygen-plasma jet on inactivation of *E. coli* using bacterial mutants [J]. IEEE Transactions on Plasma Science, 2013, 41(4): 935-941
- [25] Kolb J F, Mattson A M, Edelblute C M, et al. Cold dc-operated air plasma jet for the inactivation of infectious microorganisms [J]. Plasma Science IEEE Transactions on, 2012, 40(11): 3007-3026
- [26] 白静,岳田利,王虎玄,等.射频加热杀灭浓缩苹果汁中鲁氏接合酵母的工艺优化[J].农业工程学报,2016,32(2):273-279
- BAI Jing, YUE Tian-li, WANG Hu-xuan, et al. Optimization of *Zygosaccharomyces rouxii* sterilization from concentrated apple juice by radio frequency heating [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(2): 273-279
- [27] Guo J, Huang K, Wang J. Bactericidal effect of various non-thermal plasma agents and the influence of experimental conditions in microbial inactivation: A review [J]. Food Control, 2015, 50: 482-490
- [28] 陈意光,邓穗兴,柯振华,等.高效液相色谱法同时测定果汁中 13 种有机酸和白藜芦醇[J].现代食品科技,2010,26(12): 1387-1390
- CHEN Yi-guang, DENG Sui-xing, KE Zhen-hua, et al. Determination of 13 Kinds of Organic Acids and Resveratrol in Fruit Juice by HPLC [J]. Modern Food Science and Technology, 2010, 26(12): 1387-1390
- [29] 黄桂颖,白卫东,杨幼慧,等.反相高效液相色谱法测定荔枝肉中 10 种有机酸[J].现代食品科技,2009,25(5):568-570
- HUANG Gui-ying, BAI Wei-dong, YANG You-hui, et al. Determination of ten organic acids in lychees by reversed phase high performance liquid chromatography [J]. Modern Food Science & Technology, 2009, 25(5): 568-570
- [30] 窦培,袁亚宏,郭静,等.基于多酚成分的猕猴桃产地溯源技术研究[J].现代食品科技,2015,12:387-393
- DOU Pei, YUAN Ya-hong, GUO Jing, et al. Classification of kiwi fruits according to their geographical origin based on polyphenolic compound profile [J]. Modern Food Science & Technology, 2015, 12: 387-393
- [31] 崔春兰,郑虎哲,顾立众,等.响应曲面分析法优化苹果渣中多酚类物质的果胶酶辅助提取工艺[J].现代食品科技,2013, 9:2235-2240
- CUI Chun-lan, ZHENG Hu-zhe, GU Li-zhong, et al. Optimization of pectinase aided polyphenol extraction from apple pomace by response surface methodology [J]. Modern Food Science & Technology, 2013, 9: 235-2240
- [32] 叶萌祺.苹果酒酿造过程香气物质调控及 FT-NIRS 分析方法研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2015
- YE Meng-qi. The regulation of aroma compounds in cider brewing and the determination based on fourier transform near infrared spectroscopy [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2015
- [33] 彭帮柱,岳田利,袁亚宏,等.基于 NIRS 的苹果酒特征香气生成动力学模型[J].农业机械学报,2013,44(4):179-183
- PENG Bang-zhu, YUE Tian-li, YUAN Ya-hong, et al. Kinetics of character aroma production during cider fermentation by NIRS [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2013, 44(4): 179-183
- [34] 李华,李敏,岳田利.苹果汁酶解工艺参数对感官品质与香气构成的影响[J].农业机械学报,2010,41(10):143-147
- LI Hua, LI Min, YUE Tian-li. Effect of pectinase processing parameters on sensory quality and aroma components of apple juice [J]. Transactions of the Chinese Society of

- Agricultural Machinery, 2010, 41(10): 143-147
- [35] 孙承锋,朱亮,周楠,等.基于多元分析的11种烟台中、晚熟品种苹果香气成分比较[J].现代食品科技,2015,9:268-277
SUN Cheng-feng, ZHU Liang, ZHOU Nan, et al. Comparison of aroma components in eleven medium- and late-maturing yantai apple cultivars by multivariate statistical analysis [J]. Modern Food Science & Technology, 2015, 9: 268-277
- [36] 赖幸菲,庞式,李裕南,等.不同季节翠玉品种茶叶香气组分的GC-MS分析[J].现代食品科技,2014,12:287-293,301
LAI Xing-fei, PANG Shi, LI Yu-nan, et al. Aroma-producing components of cuiyu tea leaves during different seasons by GC-MS [J]. Modern Food Science & Technology, 2014, 12: 287-293, 301
- [37] 郑超.低温等离子体和脉冲电场灭菌技术[D].杭州:浙江大学,2013
ZHENG Chao. Non-thermal plasma and pulsed electric field induced disinfection [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2013
- [38] 宋颖.大气压非平衡等离子体在杀菌中的应用研究[D].大连:大连理工大学,2014
SONG Ying. Inactivation applications of atmospheric pressure non-equilibrium plasmas [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2014
- [39] 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].杭州:浙江大学,2015
KOU Yan-qin. Experimental study on water disinfection by pulsed electric field and plasma [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2015
- [40] 辛青.脉冲电场/脉冲等离子体新型杀菌技术研究[D].杭州:浙江大学,2009
XIN Qing. Research on novel sterilization technology using pulsed electric field and plasma [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2009
- [41] Ching W K, Colussi A J, Sun H J, et al. Escherichia coli disinfection by electrohydraulic discharges [J]. Environmental Science & Technology, 2001, 35(20): 4139-4144
- [42] 李国良.浓缩苹果汁中耐高渗酵母的检测与控制技术[D].杨凌:西北农林科技大学,2012
LI Guo-liang. Detection and control technology of high osmotic tolerance yeast in concentrated apple juice [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2012
- [43] 王虎玄.浓缩苹果汁全产业链高渗酵母分离鉴定及电子鼻快速检测方法研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2016
WANG Hu-xuan. Isolation and identification of osmotolerant yeast in the production chain of concentrated apple juice and the study of rapid detection by electronic nose [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2016
- [44] 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,2012,38(1):211-216
LI Ya-xi, SHAO Xian-jun, PENG Zhao-yu, et al. Effect of dielectric barrier discharge on microorganism inactivation and quality of orange juice [J]. High Voltage Engineering, 2012, 38(1): 211-216

(上接第 191 页)

- [9] 林本芳,鲁晓翔,李江阔,等.低温驯化结合冰温贮藏对西兰花品质的影响[J].食品科学,2012,33(20):299-303
LIN Ben-fang, LU Xiao-xiang, LI Jiang-kuo, et al. Effect of cold acclimation combined with ice-temperature storage on the quality of broccolis [J]. Food Science, 2012, 33(20): 299-303
- [10] Kim Ji Gang, Luo Ya-guang, Gross Kenneth C. Effect of package film on the quality of fresh-cut salad savoy [J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 32(1): 99-107
- [11] Kou Li-ping, Luo Ya-guang, Park Eunhee, et al. Temperature abuse timing affects the rate of quality deterioration of commercially packaged ready-to-eat baby spinach. Part I: Sensory analysis and selected quality attributes [J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 91(5): 96-103
- [12] Fan Xue-tong, Sokorai Kimberly J B. Assessment of radiation sensitivity of fresh-cut vegetables using electrolyte leakage measurement [J]. Postharvest Biology and Technology, 2005, 36(2): 191-197