

等离子体对苹果和大白菜中氧化乐果降解效果的影响

王世清^{1,2}, 孟娟^{1,2}, 张岩^{1,2}, 石磊^{1,2}, 蒲传奋^{1,2}, 邵焕霞^{1,2}

(1. 青岛农业大学食品科学与工程学院, 青岛 266109; 2. 青岛市现代农业质量与安全工程重点实验室, 青岛 266109)

摘要: 为探索高效快速降解果蔬中残留农药的新方法, 该文利用等离子体处理含有氧化乐果的大白菜和苹果, 研究了等离子体处理对其中氧化乐果残留的降解效果及其影响因素。结果表明, 等离子体对其中残留的氧化乐果降解有明显效果, 1.5 min 内可使氧化乐果降解 95% 以上, 且对大白菜中残留的氧化乐果降解效果优于苹果中的; 等离子体降解氧化乐果的同时对其品质几乎无影响, 色差值和 Vc 含量与对照基本一致。

关键词: 等离子体, 降解, 农药, 氧化乐果, 苹果, 大白菜

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.12.055

中图分类号: X592

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2009)-12-0318-06

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, 25(12): 318—323.

Wang Shiqing, Meng Juan, Zhang Yan, et al. Effect of plasma on omethoate residue degradation in apple and Chinese cabbage[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(12): 318—323. (in Chinese with English abstract)

0 引言

随着农药生产和使用量的增加, 由农药所带来的问题, 尤其是果蔬中农药残留的危害日趋严重。有机磷农药就是其中危害较大的一类农药。氧化乐果作为一类高残留、具有内吸性的高毒性有机磷农药, 广泛用于蔬菜水果的病虫草防治。长期使用有机磷农药不但会造成果蔬产品的农药残留超标和环境污染等问题, 还会损害人体健康, 引发多种疾病, 如肿瘤、生育能力下降等^[1-2]。利用等离子体净化气态液态环境污染物自 20 世纪 90 年代开始研究以来, 显示出独特的优点和良好的发展前景^[3-6]。低温等离子体用于烟气脱硫脱硝技术已取得较好的研究结果, 波兰北部什切青的 Pomorzany 电站建造第一座烟气处理量为 27 万 m³/h 的电子束烟气脱硫、脱硝工业应用装置, 用以处理 65 MW 和 100 MW 2 个锅炉产生的烟气, SO₂ 和 NO_x 脱除率分别达到 95% 和 70%^[7]。低温等离子体方法对于处理大气中低体积分数的有机废气, 具有能耗低、效率高、无二次污染物等优点, 较传统的方法显示出良好的技术优势和发展前景^[8-11]。马虹兵等人将低温等离子体技术用于液体食品的杀菌。研究发现, 该技术可在常温下、极短的时间内杀死液体食品(如橙汁和牛奶)中的病原菌(包括大肠杆菌和沙门氏菌等), 可使接种在橙汁和牛奶上的细菌总数降低 5 个对数值, 且能量消耗低于其他低温杀菌技术^[12]。SangBo Han 等将介质阻挡放电法与 MnO₂ 催化相结合, 降解空气中的三氯乙烯(TCE)^[13]。何丽娟等研究发现高频电源下采用电晕放电与介质阻挡

放电相结合的方法, 对甲苯的降解效率可达 96.25%^[14]。赵之骏等通过高频介质阻挡放电方式产生低温等离子体的方法, 研究在不加入 NH₃ 的情况下 SO₂ 的去除情况^[15]。Wallis AE 等人采用等离子体催化降解 CCl₂F₂ (CFC-12), 研究发现等离子体对其有良好的降解效果^[16]。

虽然等离子体技术应用领域日益宽泛, 但利用等离子体处理果蔬, 使其残留农药降解的研究国内外尚未见相关报道。为了考察和评价等离子体处理对农药残留降解的影响因素和效果, 本文选用氧化乐果作为试验材料, 以期等离子体处理农药残留这一技术的应用提供理论依据。

1 试验材料和方法

1.1 主要仪器及材料

氧化乐果标准液(浓度 100 μg/mL, GSB G23013-92), 农业部环境保护科研监测所研制生产;

苹果(烟台红富士)、大白菜(山东寿光城阳青)购于山东省青岛市城阳区大润发超市;

丙酮、二氯甲烷(以上试剂均为国产色谱纯); 氯化钠、无水硫酸钠(分析纯); 0.005 mol/L 碘液; 2% 草酸溶液; 1% 淀粉指示剂;

等离子发生器(1310 型): 美国 Dressler 公司生产; 气相色谱仪(Agilent 6890N): 美国安捷伦公司; CR-400 型色彩色差计: 日本 KONICA MINOCTA 公司。

1.2 试验装置

试验装置由青岛农业大学食品科学与工程学院自制, 该装置由射频等离子发生器、水冷却器、真空干燥箱和真空泵等部分组成, 如图 1 所示。

1.3 试验方法

1.3.1 污染果蔬的制备

取市售苹果、大白菜, 经仪器检测均不含待测农药, 待用。将农药标准品进行稀释, 最终质量分数为 1 mg/kg, 取定量的大白菜、苹果分别浸泡在农药标准品稀释液中

收稿日期: 2009-04-07 修订日期: 2009-10-07

基金项目: 国家公益性行业科技专项(nyhyzx07-014); 山东省自然科学基金项目(ZR2009DM006)

作者简介: 王世清(1961—), 男, 山东招远人, 博士, 教授, 主要研究方向为食品安全保藏。青岛 青岛农业大学食品科学与工程学院, 266109。

Email: wangshiqing@126.com

30 min，取出自然晾干后，分别进行等离子体处理试验。

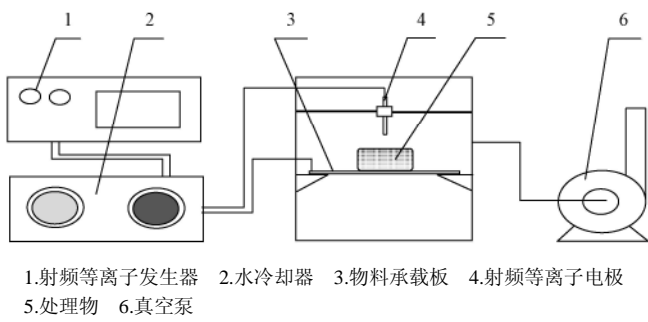


图 1 试验装置图
Fig.1 Schematic description of test device

1. 3. 2 等离子处理过程

取部分上述处理的果蔬作农药残留量本底测定。取定量的氧化乐果标准溶液（1 mg/kg）浸泡过的苹果和大白菜，然后与不同条件的等离子体处理进行正交试验。称取 50 g 的果蔬样品，按照国标法《GB-T 5009.20-2003 食品中有机磷农药残留量的测定》进行试验测定。提取和净化农药残留检测反应后氧化乐果的含量，以研究不同条件下等离子体对相同浓度氧化乐果降解的影响。表 1 为正交试验方案。

表 1 正交试验处理方案 $L_9(3^4)$
Table 1 Treatment scheme of orthogonal test $L_9(3^4)$

| 试验号 | 因 素 | | | |
|-----|---------------|--------------|-------------|---------|
| | A 处理时间/min | B 两极距离/mm | C 设定功率/W | D 空白 |
| 1 | 1 (0.5) | 1 (20) | 1 (100) | 1 |
| 2 | 1 | 2 (40) | 2 (150) | 2 |
| 3 | 1 | 3 (50) | 3 (200) | 3 |
| 4 | 2 (1.0) | 1 | 2 | 3 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 1 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 2 |
| 7 | 3 (1.5) | 1 | 3 | 2 |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 3 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 1 |

1. 3. 3 残留分析

1) 色谱条件

FPD 检测器（配磷滤光片），OV1701 型石英毛细管柱（30 000 mm×0.53 mm），检测器温度 240℃，汽化室温度 240℃，柱温 200℃；氮气为载气，流速采用柱头压控制，氢气 0.2 MPa，空气 0.03 MPa，氮气 0.168 MPa，进样量 1 μL，不设分流比，外标法定量。

2) 农药降解率

农药降解率按下式进行计算

农药降解率(%) =
$$\frac{\text{样品处理前农药残留量} - \text{样品处理后农药残留量}}{\text{样品处理前农药残留量}} \times 100$$

1. 3. 4 果蔬理化性质分析

选择大小相似，成熟度相似的一组苹果进行试验；选择大小相似，质量相似的若干棵大白菜进行试验。分别测定苹果和大白菜的 Vc、色差值和含水率。

1) Vc 的测定

采用碘液法，取样品 20 g，加 2%草酸少许，碾碎、移入 100 mL 容量瓶中，用 2%草酸冲洗研钵 2~3 次，加 2%草酸至刻度，放于暗处 30 min 浸提，然后过滤备用。取滤液 20 mL，于 100 mL 烧杯中。加入淀粉指示剂 2 mL，将标定过的碘液装入微量滴定管，滴定样液至微蓝色且 1 min 内不褪色即为滴定终点。记录所用碘液毫升数，计算 Vc 含量。做 3 次平行试验，取其平均值，即为所测的 Vc 含量。

计算公式为

$$X = \frac{(\frac{C}{0.01}) \times (V - V_0) \times 0.88}{W \times (\frac{25}{100})} \times 1000$$

式中：X——样品中 Vc 的质量分数，mg/kg；C——碘标准液的浓度，mol/L；V——样品滴定消耗的碘液体积数，mL；V₀——空白滴定消耗的碘液体积数，mL；W——样品质量，g；0.88——1 mL 0.01 mol/L 碘液相当于 Vc 的毫克数。

2) 含水率的测定

取洗净的蒸发皿，置于 100~105℃干燥箱中干燥 30~60 min 后取出，放入干燥器内冷却 30 min 后称质量，并重复操作至恒质量。然后精密称取 5~10 g 样品，将样品切碎，厚度约为 5 mm，置于蒸发皿中，均匀铺开，置于 100~105℃干燥箱中干燥 240 min 后，盖好取出，放入干燥器内冷却 30 min 称质量，然后再放入 100~105℃干燥箱中干燥 60 min 左右再称质量，直至前后两次质量差不超过 2 mg 称为恒质量。

计算公式为

$$X' = \frac{W_1 - W_2}{W_1 - W_3} \times 100\%$$

式中：X'——样品中的含水率，%；W₁——蒸发皿和样品的质量，g；W₂——蒸发皿和样品干燥后的质量，g；W₃——蒸发皿的质量，g。

3) 色差值的测定

取处理后的果蔬，自制 2 mm 左右薄片，利用 CR-400 型色彩色差计进行检测读数。

2 结果与分析

2. 1 等离子体处理大白菜中氧化乐果残留降解的效果

试验结果如表 2 所示。

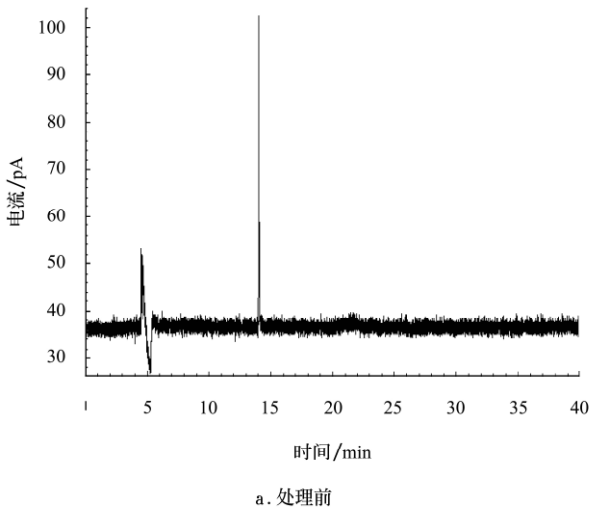
表 2 等离子体对大白菜农药残留降解的效果

Table 2 Pesticide residue degradation effect of plasma on Chinese cabbage

| 试验号 | A | B | C | D | 残留浓度/ (mg · kg ⁻¹) | 降解率/ % |
|-----|---|---|---|---|-----------------------------------|-----------|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.020 | 97.840 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0.025 | 97.260 |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 0.012 | 98.700 |
| 4 | 2 | 1 | 2 | 3 | 0.006 | 99.380 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 1 | 0.014 | 98.480 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 2 | 0.013 | 98.570 |

接上页

| 试验号 | A | B | C | D | 残留浓度/ (mg · kg ⁻¹) | 降解率/ % |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-----------------------------------|-----------|
| 7 | 3 | 1 | 3 | 2 | 0.011 | 98.790 |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 3 | 0.012 | 98.700 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 1 | 0.010 | 98.920 |
| 总和 K ₁ | 0.057 | 0.037 | 0.045 | 0.044 | | |
| 总和 K ₂ | 0.033 | 0.051 | 0.041 | 0.049 | | |
| 总和 K ₃ | 0.033 | 0.035 | 0.037 | 0.030 | | |
| 平均 k ₁ | 0.019 | 0.012 | 0.015 | 0.015 | | |
| 平均 k ₂ | 0.011 | 0.017 | 0.014 | 0.016 | | |
| 平均 k ₃ | 0.011 | 0.012 | 0.012 | 0.010 | | |
| 级差 R | 0.008 | 0.005 | 0.003 | 0.006 | | |



大白菜正交试验结果显示：相对最优处理条件为：A₁B₂C₁，即处理时间 0.5 min，两极针的距离 40 mm，功率 100 W；因素对农药残留降解效果的影响顺序（强→弱）为 A>B>C，即下步试验研究可以重点研究处理时间对大白菜的影响。从表 2 可以看出，各处理组均具有极其显著的降解效果，降解率在 97.26%~99.38%之间。

图 2a 为等离子体处理前大白菜中氧化乐果气相色谱图，图 2b 是等离子体处理大白菜中氧化乐果后对提取农药进行 9 倍浓缩的气相色谱图。处理前后气相色谱图差异较大，处理前基线较为平稳，且处理前氧化乐果峰高明显高于降解后峰高，从图谱的前后比较亦可看出等离子体处理大白菜效果较为理想。

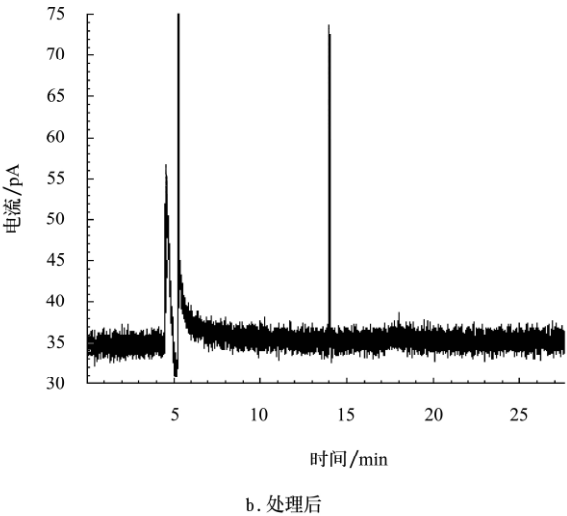


图 2 等离子体处理大白菜前后气相色谱图

Fig.2 Gas chromatography of Chinese cabbage before and after plasma treatment

2.2 等离子体对苹果中氧化乐果残留降解的效果
试验结果如表 3 所示。

表 3 等离子体对苹果农药残留降解的效果

| 试验号 | A | B | C | D | 残留浓度/ (mg · kg ⁻¹) | 降解率/ % |
|-------------------|-------|-------|-------|--------|-----------------------------------|-----------|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.019 | 97.960 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0.024 | 97.410 |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 0.016 | 97.280 |
| 4 | 2 | 1 | 2 | 3 | 0.008 | 99.140 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 1 | 0.035 | 96.240 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 2 | 0.010 | 98.920 |
| 7 | 3 | 1 | 3 | 2 | 0.020 | 97.840 |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 3 | 0.025 | 97.310 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 1 | 0.015 | 98.390 |
| 总和 K ₁ | 0.059 | 0.047 | 0.054 | 0.069 | | |
| 总和 K ₂ | 0.053 | 0.084 | 0.047 | 0.054 | | |
| 总和 K ₃ | 0.060 | 0.041 | 0.071 | 0.049 | | |
| 平均 k ₁ | 0.020 | 0.016 | 0.018 | 0.023 | | |
| 平均 k ₂ | 0.018 | 0.028 | 0.016 | 0.018 | | |
| 平均 k ₃ | 0.020 | 0.014 | 0.024 | 0.0160 | | |
| 级差 R | 0.002 | 0.014 | 0.008 | 0.007 | | |

苹果正交试验结果显示：相对最优处理条件为 A₃B₂C₃，即处理时间 1.5 min，两极针的距离 40 mm，功率 200 W；因素对农药残留降解效果的影响顺序（强→弱）为 B>A>C，即下步试验研究可以重点研究处理板上两级距离对苹果的影响。由表 3 可以看出，各处理组也均具有极其显著的降解效果，降解率在 96.24%~99.14%之间。

图 3a 为等离子体处理前苹果中氧化乐果气相色谱图，图 3b 为等离子体处理苹果中氧化乐果后对提取农药进行 9.5 倍浓缩的气相色谱图。处理前后气相色谱图差异较大，处理前基线较为平稳，并且氧化乐果峰高明显高于降解后的图谱峰高，从图谱的前后比较也可以看出等离子体处理苹果效果较为理想。

2.3 等离子体对不同果蔬中农药残留降解的差异

从表 4 可看出，在同条件等离子体处理情况下，苹果和大白菜的正交试验结果显示的最优处理条件不同。

表 4 氧化乐果的等离子体降解试验结果

| Table 4 Results of omethoate degradation by plasma (using gas chromatography) | | | |
|---|-------------|--------------------------------------|-------------|
| 苹 果 | | 大白菜 | |
| 氧化乐果残留量/ (mg · kg ⁻¹) | 降解率/ % | 氧化乐果残留量/ (mg · kg ⁻¹) | 降解率/ % |
| 0.006~0.025 | 97.26~99.38 | 0.008~0.035 | 96.24~99.14 |

苹果中农药残留降解率略低于大白菜中农药残留降解率，这可能是叶菜表面积大、组织结构较分散，等离子体容易穿透，而苹果为梨果组织结构紧密，等离子体

难于穿透等原因所致。

2.4 等离子体处理对果蔬品质的影响

等离子体处理前后对果蔬理化性质的影响详见表 5。

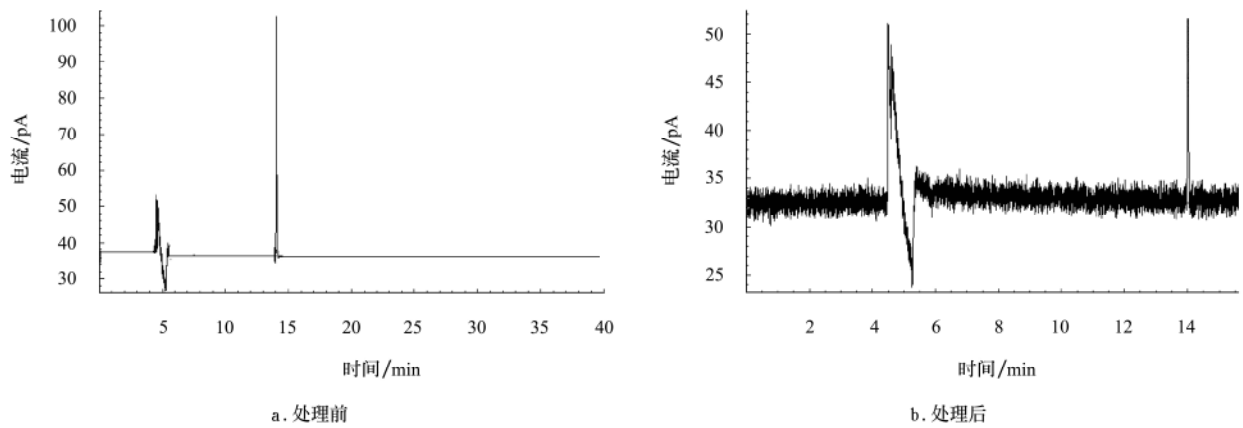


图 3 等离子体处理苹果前后气相色谱图

Fig.3 Gas chromatography of apple before and after plasma treatment

表 5 不同情况等离子体处理对苹果和大白菜品质的影响

Table 5 Effects of different situation plasma treatments on apple and Chinese cabbage quality

| 处理组 | 苹 果 | | | | 大白菜 | | | |
|---------------------|---------------------------------|----------|-------|-----------|---------------------------------|----------|-------|-----------|
| | Vc/ (mg · kg ⁻¹) | 色差值 (DE) | | 含水率/ % | Vc/ (mg · kg ⁻¹) | 色差值 (DE) | | 含水率/ % |
| | | 外部 | 内部 | | | 菜帮 | 菜叶 | |
| 空白对照 | 22.3 | 27.12 | -2.59 | 85 | 172.5 | -3.75 | -5.54 | 87 |
| 0.5 min、100 W、20 mm | 22.5 | 28.08 | -2.33 | 85 | 172.4 | -3.23 | -5.94 | 87 |
| 0.5 min、150 W、40 mm | 22.4 | 26.82 | -2.53 | 83 | 171.8 | -3.99 | -5.98 | 85 |
| 0.5 min、200 W、50 mm | 22.4 | 26.16 | -2.67 | 83 | 172.3 | -3.76 | -5.72 | 85 |
| 1.0 min、150 W、20 mm | 22.0 | 25.40 | -2.70 | 81 | 172.5 | -3.90 | -5.77 | 83 |
| 1.0 min、200 W、40 mm | 21.9 | 25.74 | -2.37 | 80 | 172.3 | -3.29 | -5.57 | 84 |
| 1.0 min、100 W、50 mm | 22.3 | 28.49 | -2.46 | 79 | 172.0 | -3.89 | -5.64 | 83 |
| 1.5 min、200 W、20 mm | 22.5 | 27.00 | -2.56 | 77 | 171.9 | -3.66 | -5.48 | 85 |
| 1.5 min、100 W、40 mm | 22.5 | 27.66 | -2.97 | 78 | 172.3 | -3.51 | -5.93 | 84 |
| 1.5 min、150 W、50 mm | 22.0 | 27.84 | -2.15 | 77 | 172.5 | -3.12 | -5.63 | 82 |

注：表中测定结果均由 3 次平行、3 次重复试验测得的数据取平均值。

等离子体处理对苹果和大白菜中 Vc 含量影响较小。处理组的 Vc 含量与对照组基本一致，个别数据有微弱波动，原因推测与选取样品的个体差异有关。

利用等离子体对苹果进行不同强度与时间处理，苹果表皮色差值在 25.40~28.49 之间变化，变化幅度不大；苹果内部色差值与对照组比较基本一致。从表 5 中看出色差值的变化与等离子体处理的强度有关系，与时间和两极板的距离之间相关程度低，1.0 min、150 W、20 mm 等离子体处理时色差值略降低，0.5 min、100 W、20 mm 等离子体处理与 1.0 min、100 W、50 mm 等离子体处理的色差值基本一致。1.5 min 各处理组间色差无显著差异。

利用等离子体对大白菜进行不同强度与时间的处理，菜帮、菜叶色差值在-3.99~-3.12 之间与-5.98~-5.48 之间波动，从表中看出色差值变化与等离子体处理的强度有关系，与时间和两极板的距离之间相关程度低，1.0 min、200 W、40 mm 等离子体处理时色差值略降低，

1.0 min、200 W、40 mm 等离子体处理与 1.5 min、150 W、50 mm 等离子体处理的色差值基本一致。1.5 min、200 W、40 mm 等离子体处理色差值降至最低值。

对照苹果和大白菜的色差值变化，发现不同的等离子体条件下处理后二者的色差值变化规律不一致。分析原因与果蔬的种类有关系。

等离子体处理对苹果和大白菜中含水率影响较大。处理组的含水率与对照组相比呈现明显降低趋势。并且随着处理时间的延长，水分损失越为严重。分析其中的原因可能与等离子体的高温高能作用有关，使果蔬组织中的水分损失。

综上所述可知等离子体处理农药残留的可行性和有效性，具有良好的发展前景。但等离子体处理果蔬农药残留要根据果蔬种类、受污染农药品种与污染程度等，结合等离子强度等因素确定处理参数，才能确保果蔬产品的食用品质和安全。

3 结 论

1) 等离子体对残留在苹果和大白菜中的氧化乐果有极为显著的降解作用, 降解率在 96.24%~99.38%之间。而氧化乐果降解效果与等离子体强度、处理时间、果蔬种类等因素有关, 其中大白菜中的农药残留降解效果优于苹果。

2) 等离子体处理未对苹果与大白菜的理化性质和外观形态产生明显的改变。

3) 等离子体是一种高能的物理状态, 降解农药残留的过程可能主要是利用高温高能切断农药分子的强极性键生成小分子成分再逐步降解成更小分子挥发于空气中。其降解农药机理与杀菌消毒原理不同, 对于农药大分子或重度污染果蔬, 是否存在形成新的成分或降解不完全生成毒性更大的半降解产物(许多农药中间体毒性都较大)仍有待深入研究。

[参 考 文 献]

- [1] 胡笑彤. 21 世纪全球植物保护的主体农药——环境友好化学农药[J]. 科技导报, 2003, 10(1): 43—46.
Hu Xiaoxing. The chemical fertilizer harmonious with environment--the leading fertilizer to protect plants in the world in the 21st century[J]. Science & Technology Review, 2003, 10(1): 43—46. (in Chinese with English abstract)
- [2] 仲维科, 郝戡, 孙梅心, 等. 我国食品的农药污染问题[J]. 农药, 2000, 39(7): 1—4.
Zhong Weike, Hao Jian, Sun Meixin, et al. Pesticides residues in food in china[J]. Pesticides, 2000, 39(7): 1—4. (in Chinese with English abstract)
- [3] Pu Lumei, Gao Jinzhang, Yang Wu, et al. Oxidative degradation of 4-chlorophenol in aqueous induced by plasma with submersed glow discharge electrolysis[J]. Plasma Science & Technology, 2005, 7(5): 3048—3050.
- [4] Gao Jinzhang, Liu Yongjun, Yang Wu, et al. Oxidative degradation of phenol in aqueous electrolyte induced by plasma from a direct glow discharge[J]. Plasma Science & Technology, 2003, 12: 533—541.
- [5] Lei L C, Hao X L, Zhang X W, et al. Wastewater treatment using a heterogeneous magnrtite(Fe_3O_4)non-thermal plasma process[J]. Plasma Process Polym, 2007, 4(4): 455—462.
- [6] Magne L, Pasquiers S. LIF spectroscopy applied to the study of non-thermal plasmas for atmospheric pollutant abatement[J]. C R Physique, 2005, 6(8): 908—910
- [7] Chmielewski A G, Licki J, Pawelec A, et al. Operational experience of the industrial plant for electronbeam flue gas treatment[J]. Radia Phys Chem, 2004, 7(1/2): 441—444.
- [8] 李洁, 李坚, 金毓崧, 等. 低温等离子体技术处理挥发性有机物[J]. 环境污染治理技术与设备, 2006, 7(6): 101—104.
Li Jie, Li Jian, Jin Yuquan, et al. Treatment of volatile organic compounds by nonthermal plasma technology[J]. Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control, 2006, 7(6): 101—104. (in Chinese with English abstract)
- [9] Guo Yufang, Ye Daiqi, Chen Kefu, et al. Toluene removal by a DBD-type plasma combined with metal oxides catalysts supported by nickel foam[J]. Catalysis Today, 2007, 126(3/4): 328—337.
- [10] Durme J Van. Abatement and degradation pathways of toluene in indoor air by positive corona discharge[J]. Chemosphere, 2007, 68(10): 1821—1829.
- [11] Ban Ji Young, Son YeonHee, Kang Misook, et al. Highly concentrated toluene decomposition on the dielectric barrier discharge (DBD) plasma photocatalytic hybrid system with Mn-Ti-incorporated mesoporous silicate photocatalyst (Mn-Ti-MPS)[J]. Applied Surface Science, 2006, 253(2): 535—542.
- [12] 马虹兵, 阮榕生, 林向阳, 等. 低温等离子体用于液体食品的低温杀菌[J]. 农业工程学报, 2002, 18(5): 155—159.
Ma Hongbing, Ruan Rongsheng, Lin Xiangyang, et al. Non-thermal Pasteurization of Liquid Foods Using Non-thermal Plasma[J]. Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering, 2002, 18(5): 155—159. (in Chinese with English abstract)
- [13] SangBo Han, Tetsuji Oda. Improvement of the energy efficiency in the decomposition of dilute trichloroethylene by the barrier discharge plasma process[J]. IEEE Trans on Ind Applicat, 2005, 41(5): 1343—1349.
- [14] 何丽娟, 李坚, 梁文俊, 等. 较高频低温等离子体法去除甲苯的实验研究[J]. 高压电技术, 2009, 35(5): 1105—1110.
He Lijuan, Li Jian, Liang Wenjun, et al. Destruction of toluene gas based on high frequency dielectric barrier discharge[J]. High Voltage Engineering, 2009, 35(5): 1105—1110. (in Chinese with English abstract)
- [15] 赵之骏, 吴玉萍, 张仁熙, 等. 高频介质阻挡放电烟气脱硫研究[J]. 化学学报, 2004, 62(23): 22—26.
Zhao Zhijun, Wu Yuping, Zhang Renxi, et al. Study of the desulfurization by high frequency dielectric barrier discharge[J]. Acta Chimica Sinica, 2004, 62(23): 2308—2312.
- [16] Wallis AE, Whitehead J, Zhang C. Plasma-assisted catalysis for the destruction of CFC-12 in atmospheric pressure gas streams using TiO_2 [J]. Catal Lett, 2007, 113(2): 29—33.

Effect of plasma on omethoate residue degradation in apple and Chinese cabbage

Wang Shiqing^{1,2}, Meng Juan^{1,2}, Zhang Yan^{1,2}, Shi Lei^{1,2}, Pu Chuanfen^{1,2}, Shao Huanxia^{1,2}

(1. Food Science and Engineering College, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China;

2. Qingdao Key Laboratory of Modern Agricultural Quality and Safety Engineering, Qingdao 266109, China)

Abstract: To obtain a new method of pesticide residue degradation in fruits and vegetables, the effect and influence factors of omethoate residue degradation Chinese cabbage and apple were studied by using plasma. The results showed that plasma had an excellent effect on omethoate residue-degraded in Chinese cabbage and apple. The omethoate could be degraded by over 95% within 1.5 minutes. Besides, the effect of plasma on omethoate residue degradation in Chinese cabbage was superior to that in apple. As color difference and Vc quantity in samples processed by plasma were the same as in control group, it was concluded that omethoate residue by using plasma had no passive effect on the characters of fruits and vegetables.

Key words: plasmas, degradation, pesticides, omethoate, apple, Chinese cabbage