

# 微酸性电解水去除蔬菜农药残留效果的研究

罗 琴<sup>1</sup>, 祖云鸿<sup>1</sup>, 石开琼<sup>1</sup>, 张高翔<sup>1</sup>, 叶章颖<sup>2\*</sup>, 李凌飞<sup>1</sup>,  
范江平<sup>1</sup>, 赵海洲<sup>1</sup>, 和劲松<sup>1\*</sup>

(1. 云南农业大学食品科学技术学院, 云南省高校食品加工与安全控制重点实验室, 昆明 650201;  
2. 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 杭州 310058)

**摘 要:** **目的** 探讨微酸性电解水(slightly acidic electrolyzed water, SAEW)对蔬菜农药残留的去除效果。**方法** 利用酶抑制法, 建立了蔬菜表面农药残留的定量分析方法, 酶活抑制率与农药浓度近似呈对数关系, 对辛硫磷的检出限为 0.49 mg/kg。**结果** 与普通自来水浸泡处理效果比较, SAEW 浸泡的去除效果有显著提高( $P < 0.05$ ), 处理 30 min 后, 农药去除率高达 92%。随着 SAEW 用量的增加、浸泡时间的增长、以及温度的升高, 农药残留率不断降低、农残去除率不断地增加。**结论** SAEW 由于其特殊的理化性质能有效地降解蔬菜的农药残留, 它可能对蔬菜上面有机磷农药起到有效的降解作用, 更多问题还有待研究。

**关键词:** 酶抑制法; 农药残留; 微酸性电解水; 蔬菜

## Study on the reduction effect of pesticide residues of vegetables with slightly acidic electrolyzed water

LUO Qin<sup>1</sup>, ZU Yun-Hong<sup>1</sup>, SHI Kai-Qiong<sup>1</sup>, ZHANG Gao-Xiang<sup>1</sup>, YE Zhang-Ying<sup>2\*</sup>, LI Ling-Fei<sup>1</sup>,  
FAN Jian-Ping<sup>1</sup>, ZHAO Hai-Zhou<sup>1</sup>, HE Jin-Song<sup>1\*</sup>

(1. College of Food Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;  
2. College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

**ABSTRACT: Objective** To study the effect of slightly acidic electrolyzed water (SAEW) to eliminate pesticide residues in vegetables. **Methods** By using enzyme inhibition quantitative analysis to explore slightly acidic electrolyzed water to eliminate residual pesticide, the rate of enzyme inhibition and pesticide concentration showed a logarithm relationship, the detection limit was 0.49 mg/kg. **Results** It was found that with the increase of the amount of the sock liquid, the growth and the immersion time within a certain range with increasing temperature decreasing rate of pesticide residues, as compared to the effect of the water treatment, the slightly acidic electrolyzed water has a significant effect of eliminating improved pesticide elimination rate of 92%. **Conclusion** Experiments revealed slightly acidic electrolyzed water could effectively degrade vegetable pesticide residues because of its special physical and chemical properties.

基金项目: 国家自然科学基金(31371875)、云南省教育厅科学研究基金(重点项目)(2014Z081)、云南农业大学学生科技创新创业行动基金项目(2014ZKX061)

**Fund:** Supported by National Natural Science Foundation of China (31371875), Yunnan Provincial Department of Education Research Fund (2014Z081), Students' Science and Technology Innovation Fund of Yunnan Agricultural University(2014ZKX061)

\*通讯作者: 和劲松, 博士, 主要研究方向为食品非热加工与安全控制。E-mail: hejinsong@mail.tsinghua.edu.cn;

叶章颖, 副教授, 博导, 主要研究方向为电解水工程化应用技术与装备开发。E-mail: yzyzju@zju.edu.cn

\*Corresponding author: HE Jin-Song, College of Food Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China. E-mail: hejinsong@mail.tsinghua.edu.cn

Ye Zhang-Ying, College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China.  
E-mail: yzyzju@zju.edu.cn

**KEY WORDS:** enzyme inhibition assay; pesticide residues; slightly acidic electrolyzed water; vegetables

## 1 引言

电解水(electrolyzed functional water)是以特殊电解装置对电解质水溶液进行处理,经过一系列的复杂电化学及化学反应,分别在电解槽阴极室及阳极室中得到的具有特殊理化性质的酸性电解水和碱性电解水的总称<sup>[1-5]</sup>。随着科学技术的进步,电解水种类不断增加,应用领域也日趋广泛。

微酸性电解水(slightly acidic electrolyzed water, SAEW)是将稀盐溶液采用无隔膜式电解装置进行电解,得到的 pH 值为 5.0 ~ 6.5,有效氯质量浓度(available chlorine concentration, ACC)为 10 ~ 30 mg/L 的具有杀菌特性的功能水<sup>[6]</sup>。由于 SAEW 能够有效杀灭多种微生物<sup>[6-9]</sup>,并且与传统的强酸性电解水(strong acid electrolyzed water, pH 值<2.7, ACC 质量浓度=20 ~ 200 mg/L)以及弱酸性电解水(pH 值=2.7 ~ 5.0, ACC 质量浓度=20 ~ 60 mg/L)相比较,还具有高效、无残留、制取方便等特点<sup>[10, 11]</sup>,被逐步应用于农业<sup>[12-15]</sup>、食品<sup>[16-18]</sup>、医疗及环保领域<sup>[19]</sup>,并于 2002 年 6 月被日本厚生劳动省认定为可使用的食品添加剂<sup>[20, 21]</sup>。

农药作为一种快速、高效而经济的防治有害生物的工具。在保障农业丰收、促进高产、高效现代化农业的发展等方面发挥着突出作用。然而,使用不当,不仅造成浪费,而且会发生药害、污染农产品及环境,导致中毒事故发生,危害人畜健康安全<sup>[5]</sup>,因此开展农药残留的检测和农药残留的消除研究具有重要的现实意义。

近年来,研究人员对果蔬农药残留的消除进行了大量的研究。其中,化学方法包括:臭氧<sup>[22, 23]</sup>、双氧水<sup>[24]</sup>、过氧乙酸<sup>[24]</sup>以及次氯酸盐<sup>[25]</sup>等,物理方法包括:清水冲洗浸泡<sup>[26]</sup>、沸水焯洗<sup>[27]</sup>、洗涤剂洗涤等,利用微生物<sup>[28]</sup>和电离辐射降解农药<sup>[29]</sup>也有了广泛研究。此外,郝建雄等<sup>[1, 5]</sup>用电生功能水进行了降解蔬菜残留农药的实验研究。结果表明,浸泡处理 60 min 时碱性电解水(pH=12.15±0.1)的消除率达到 90%以上,强酸性水(pH=2.25±0.1,有效氯浓度为 75±5 mg/kg)也能达到 82%左右。综上所述,有关果蔬农药残留的去除方法研究已取得一定进展,然而对于 SAEW 这

一新型功能水的农药残留去除效果尚未见到报道。

本研究对 SAEW 的农药残留去除效果进行研究,以农业生产中常用农药辛硫磷为对象,探讨了 SAEW 用于蔬菜清洗来去除农药残留的效果及其影响因素,以期消除果蔬的农药残留找到一种新的方法。

## 2 材料与方法

### 2.1 材料与设备

大白菜购买于昆明当地超市;高氯·辛硫磷(20%乳油试剂):山东澳得利化工有限公司生产,购自于昆明当地农药销售点。碘化硫代乙酰胆碱、二硫代二硝基苯甲酸、乙酰胆碱脂酶:上海源叶生物技术有限公司生产;无水硫酸钠、活性炭:天津市风船化学试剂科技有限公司生产;二氯甲烷:广东光华科技股份有限公司生产;磷酸氢二钾、磷酸二氢钾:四川西陇化工有限公司生产,以上化学试剂均为分析纯。

紫外可见光分光光度计(上海第三分析仪器厂,上海);HD-240L“水神”微酸性次氯酸水生成机(旺旺集团,上海);Seven-Multi 型 pH/电导率/离子综合测试仪(梅特勒-托利多仪器有限公司,上海);XS3DU 型电子天平(梅特勒-托利多仪器有限公司,上海);恒温水浴锅(金坛市医疗仪器有限公司,江苏);TTL-10B 超纯水机(北京同泰联科技发展有限公司,北京)。

### 2.2 实验方法

#### 2.2.1 蔬菜的模拟污染

将试样白菜去掉非可食性部分洗净晾干后,分别称取 50 g 试样浸泡于 300 mL 辛硫磷农药溶液中,辛硫磷溶液按 1.2:600 配比,用去离子水稀释,浸泡 20 min 后,晾干于通风橱中自然风干<sup>[30]</sup>。

#### 2.2.2 微酸性电解水的制备及其理化指标的测定

配制 9%(体积分数)盐酸溶液为辅液,以自来水为原水,用“水神”微酸性次氯酸水生成机电解生成。设备运行 30 min 后,采集 SAEW 用于试验,并在制备后 1 h 内使用。电解水样品的 pH 值采用 Seven-Multi 型 pH/电导率/离子综合测试仪(梅特勒-托利多仪器有限公司,上海)进行测定,ACC 采用碘量法进行测定<sup>[31]</sup>。

#### 2.2.3 样品的提取与处理

将晾干 50 g 蔬菜试样分为 5 等份,分别放在 100

mL 的锥形瓶中, 加入 12.5 g 无水硫酸钠使其脱水, 再加入一定量活性炭脱色后, 加入 17.5 mL 的二氯甲烷, 振荡 20 min 后过滤, 把滤液用氮气吹干, 用磷酸缓冲溶液(50 mmol/L, pH 8.0)定容至 2.5 mL, 振荡 30 min, 用分光亮度计测其吸亮度的变化值  $R^{[1]}$ 。

#### 2.2.4 酶抑制法的建立

酶抑制法参考程念政的方法<sup>[32]</sup>, 先于试管中加入 2.5 mL 磷酸缓冲液(50 mmol/L, pH 8.0), 分别加入 0.1 mL 酶液(1.5 mg 乙酰胆碱脂酶充分溶解于 3 mL 磷酸缓冲溶液)与 0.1 mL 显色剂(7.8 mg 无水硫酸钠和 80 mg 二硫代二硝基苯甲酸充分溶解于 10 mL 磷酸缓冲液)。摇匀后于 37 °C 放置 15 min(每批样品的控制时间应一致)。加入 0.1 mL 底物(25.0 mg 碘化硫代乙酰胆碱充分溶解于 3.0 mL 磷酸缓冲液)摇匀, 待检液开始显色反应, 立即放入比色皿中, 记录反应 3 min 的吸亮度的变化值  $K_t$ 。根据吸亮度变化的斜率值计算其抑制率<sup>[33]</sup>。

抑制率  $Y$  按如下公式计算<sup>[34]</sup>:

$$Y = (R_0 - R_t) / R_0$$

其中,  $R_0$  是空白样品(无农药污染)的吸亮度随时间变化曲线的斜率值,  $R_t$  是样品液(可能有农药)的吸亮度随时间变化的斜率值。农药残留量按如下式计算<sup>[4]</sup>:

农药残留率(%) = (原始样农药含量 - 样品农药含量) / 原始样农药含量 × 100

#### 2.2.5 统计处理

应用 SPSS(Ver.18.0, SPSS 公司)进行显著性分析, 显著性水平选取  $P=0.05$ , 结果以平均值 ± 标准差表示。

## 3 结果与分析

### 3.1 酶抑制率与辛硫磷浓度的关系

为建立酶抑制率与辛硫磷浓度的数学关系, 不同浓度辛硫磷(0.025 ~ 2 μg/L)对酶抑制的影响进行了分析。如图 1 所示, 随着农药浓度的不断增加, 酶抑制率不断增加, 在农药浓度大于 0.025 μg/L 时, 其残留量较容易测定。并且通过拟合分析发现, 本研究所采用实验条件下, 抑制率  $Y$  与农药浓度  $C$  近似呈对数关系, 即满足下式:

$$Y = a \ln C + b \quad (1)$$

其中,  $a=0.149$ ,  $b=0.838$ , 相关系数  $r^2=0.978$ , 精密度  $SD=0.054$ , 通过重复性实验分析求得  $RSD=8.5\%$ 。采用王小红<sup>[35]</sup>的方法, 实验求得回收率为 75.8%, 以抑制率值的 15% 为检测阈值, 可以算出

上述方法对辛硫磷的检出限为 0.49 mg/kg。

式(1)为本研究对农药残留量的分析测定奠定了基础。由图 1 得出结论, 随着农药浓度的降低, 其抑制率也逐渐降低。

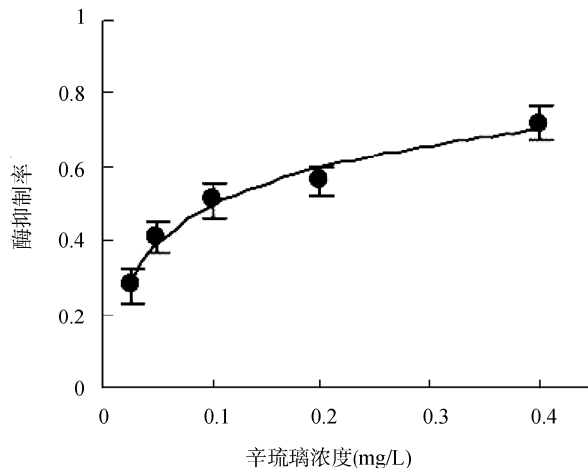


图 1 农药浓度对酶抑制率的影响

Fig. 1 Effect of pesticide concentration on the enzyme inhibition

### 3.2 SAEW 对蔬菜中辛硫磷的去除效果

为探讨 SAEW 对蔬菜农药残留的去除效果, 称取 15 g 的辛硫磷模拟污染蔬菜, 分为 3 等份, 分别用 500 mL 的自来水或 SAEW, 清洗处理 30 min, 晾干处理后, 测定其农药残留量。

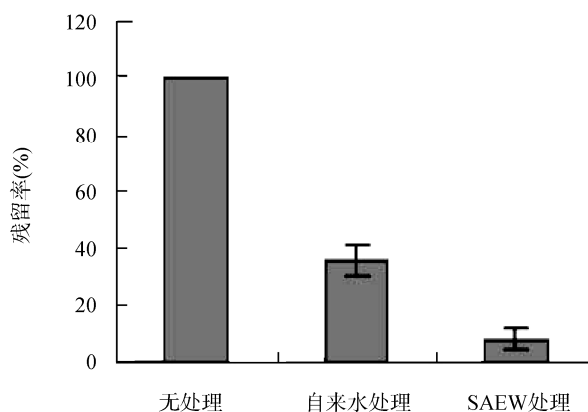


图 2 SAEW 对农药残留的去除效果

Fig. 2 The reduction effect of pesticide residues of SAEW

如图 2 所示, 自来水清洗处理样品农药残留率达到了(36±5)%, 而 SAEW 处理组农药残留量下降到(8±3)%, 与自来水浸泡处理效果比较, SAEW 浸泡的去除效果有显著提高( $P<0.05$ )。

### 3.3 样液比对 SAEW 农残去除效果的影响

为探讨不同浓度的 SAEW 去除农药残留的效果, 取 50 g 模拟污染蔬菜试样, 混合均匀后分成 5 等份, 分别放于 100、300、500 mL 的 SAEW(样液比为 1:10、1:30、1:50)浸泡处理 10 min 后, 测定其农药的残留量。

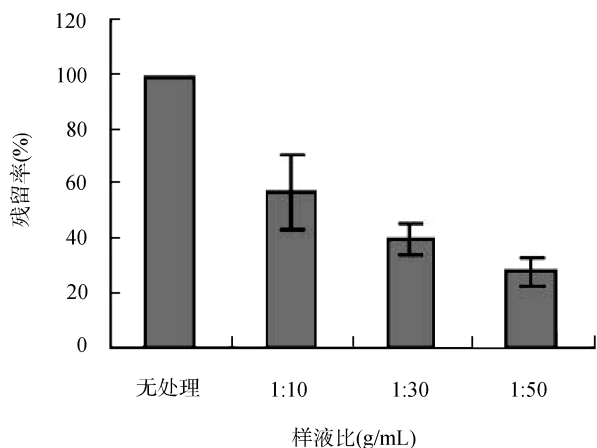


图 3 样液比对 SAEW 农药残留去除效果的影响

Fig. 3 Effect of liquid/solid ratio on the reduction effect of pesticide residues of SAEW

如图 3 所示, 随着 SAEW 用量的增加, 蔬菜表面辛硫磷残留量逐渐减少, 料液比 1:10 时残留率为 (57±14)%, 1:50 时下降到(28±6)%, 辛硫磷消除率达 72%。

### 3.4 浸泡处理时间对 SAEW 农残去除效果的影响

为探讨 SAEW 处理时间对农残去除的效果, 将 50 g 农药模拟污染的蔬菜试样, 混合均匀后平均分成 5 等份, 分别取 500 mL 的 SAEW(样液比为 1:50), 浸泡处理 5、15、25、35 min 后, 测定其农药残留量。

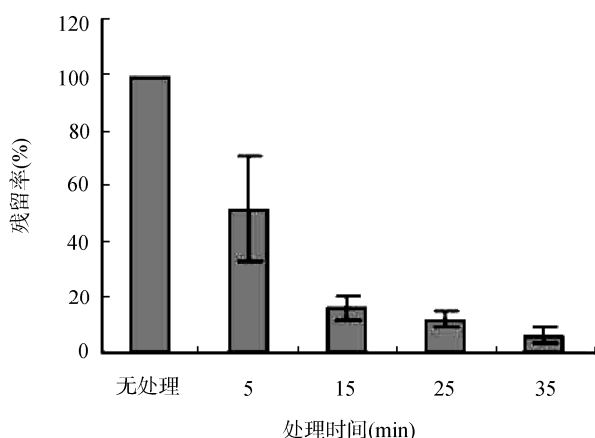


图 4 处理时间对 SAEW 农药残留去除效果的影响

Fig. 4 Effect of treatment time on the reduction effect of pesticide residues of vegetables with SAEW

如图 4 所示, SAEW 处理蔬菜随着浸泡时间的延长, 农药残留率呈下降趋势, 处理 35 min, 农药残留量低达(6±3)%。

### 3.5 处理温度对 SAEW 农残去除效果的影响

为探讨 SAEW 处理温度对农残去除效果的影响, 将 50 g 农药模拟污染的蔬菜试样, 混合均匀后平均分成 5 等份, 分别取 500 mL 的 SAEW(样液比为 1:50), 在 25、35、45、55 的条件下, 分别浸泡处理 10 min 后晾干, 测定其农药残留量。

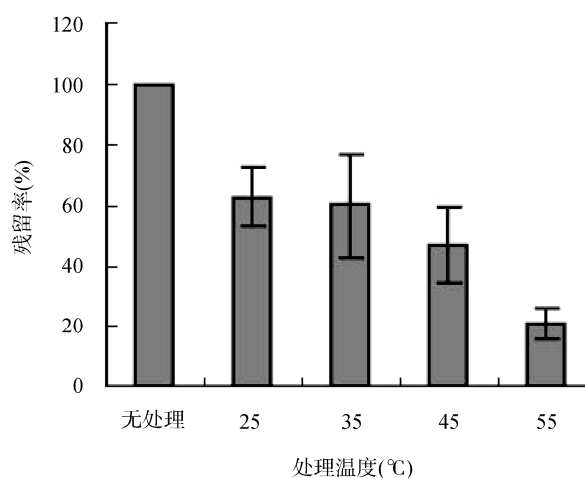


图 5 处理温度对 SAEW 农药残留去除效果的影响

Fig. 5 Effect of treatment temperature on the reduction effect of pesticide residues of vegetables with SAEW

如图 5 所示, 随着处理温度的增高, 农药残留量逐渐减少, 与 25 条件下处理组相比, 45 条件下处理组的农药残留率显著降低( $P<0.05$ ), 55 条件下, 辛硫磷残留率下降到(21±5)%。

## 4 讨论

本研究就 SAEW 对蔬菜表面农药残留去除效果进行了研究。与自来水清洗相比, SAEW 处理对于农残的去除更为有效(图 1), 可以在很大程度上消除残留的农药, 增加食品的安全性。

结果表明, SAEW 对农药残留的去除效果与料液比、处理时间、以及处理温度密切相关(图 2、图 3、图 4)。随 SAEW 用量的增加与处理时间的延长, 农药去除效果逐渐增强, 这说明 SAEW 对农药残留的去除效果可能与 SAEW 中次氯酸成分对辛硫磷的降

解作用有关。刘月等<sup>[36]</sup>研究表明, 强酸性水与碱性水农药消除效果随着浸泡时间的延长, 消除效果也更好, 然而浸泡 60 min 后的蔬菜的感官上开始出现萎蔫的现象, 影响了其食用价值。此外, 35 ℃ 以上的条件下, 温度升高对 SAEW 的农残去除效果有明显的促进作用。然而处理温度过高, 会对蔬菜的感官品质、风味、口感、质地、营养成分也会造成一定的破坏<sup>[5]</sup>。

## 5 结 论

实验结果表明, SAEW 浸泡处理对蔬菜表面辛硫磷具有明显的去除效果, SAEW 用量越大, 蔬菜表面的辛硫磷农药残留量越少, 而且一定范围内, 蔬菜表面辛硫磷农药的残留量与处理时间、处理温度都呈反比。微酸性电解水对蔬菜农药残留的降低起到很明显的效果, 且由于其特殊的理化性质, 它可能对蔬菜上面有机磷农药起到有效的降解作用, 更多问题还有待研究。

## 参考文献

- [1] 郝建雄, 李里特. 电生功能水消除蔬菜残留农药的实验研究[J]. 食品工业科技, 2006, (5): 164–166.  
He JX, Li LT. Study on the removal pesticide residues in vegetables of electrolyzed functional water [J]. Food Sci Technol, 2006, (5): 164–166.
- [2] 周然, 谢晶, 高启耀, 等. 微酸性电解水结合壳聚糖对水蜜桃护色保鲜的效果[J]. 农业工程学报, 2012, 28(18): 281–286.  
Zhou R, Xie J, Gao QY, *et al.* Effects of slightly acidic electrolyzed water and carboxymethyl chitosan preservative on flesh discoloration of peaches [J]. Transactions CSAE. 2012, 28(18): 281–286.
- [3] 孙芳艳, 钱培芬. 微酸性电解水的临床应用与进展[J]. 上海护理, 2011, 11(2): 66–69.  
Sun FY, Qian PF. The progress of clinical application of slightly acidic electrolyzed water [J]. Shanghai Nurs J, 2011, 11(2): 66–69.
- [4] 堀田国元, 郭永明. 酸性电解水的基础、应用及发展动向[J]. 中国护理管理, 2008, 8(4): 7–11.  
Hota K, Guo YM. Foundation, application and developmental trend of acidic electrolyzed water [J]. Chin Nurs Manag, 2008, 8(4): 7–11.
- [5] 郝建雄. 电生功能水消除蔬菜农药残留及其在植物保护上的应用研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2006.
- He JX. Application of electrolyzed functional water to eliminate pesticide residues in vegetables and in plant protection[D]. Beijing: China Agricultural University, 2006.
- [6] 黄吉诚. 电解氧化还原电位水的杀霉效果观察[J]. 中国食品卫生杂志, 1998, 10(6): 12–21.  
Huang JC. Observation on sterilization of electrolyzed oxidation reduction potential water to mould[J]. Chin J Food Hygiene, 1998, 10(6): 12–21. (in Chinese with English abstract)
- [7] 李盛, 徐庆华, 谢慧娟, 等. 高氧化还原电位水杀灭微生物效果的试验观察[J]. 中国消毒学杂志, 2000, 17(1): 9–11.  
Li S, Xu QH, Xie HJ, *et al.* Experimental observation of high redox potential water germicidal efficacy [J]. Chin J Disinfect, 2000, 17(1): 9–11.
- [8] Kim C, Hung YC, Robert EB. Efficacy of electrolyzed oxidizing (EO) and chemically modified water on different types of food-borne pathogens [J]. Int J Food Microbiol, 2000, 61(2-3): 199–207.
- [9] Abdulsudi LZ, Yoshinori K, Adili T, *et al.* In vitro inactivation of Escherichia coli, Staphylococcus aureus and Salmonella spp. using slightly acidic electrolyzed water [J]. J Biosci Bioeng, 2010, 110(3): 308–313.
- [10] Huang YR, Hung YC, Hsu SY, *et al.* Application of electrolyzed water in the food industry [J]. Food Control, 2008, 19(4): 329–345.
- [11] Park CM, Hung YC, Lin CS, *et al.* Efficacy of electrolyzed water in inactivating Salmonella enteritidis and listeria monocytogenes on shell eggs [J]. J Food Protect, 2005, 68(5): 986–990.
- [12] Susan M, William B III. Efficacy of electrolyzed oxidizing water against Listeria monocytogenes and Morganella morganii on conveyor belt and raw fish surfaces [J]. Food Control, 2012, 24(1-2): 214–219.
- [13] 郑炜超, 李保明, 尚宇超, 等. 蛋种鸡场中性电解水带鸡喷雾消毒试验研究[J]. 农业工程学报, 2010, 26(9): 270–273.  
Zheng W, Li B, Shang Y, *et al.* Experimental study on spraying disinfection with neutral electrolyzed water in a layer breeding farm [J]. Transactions CSAE, 2010, 26(9): 270–273.
- [14] 曹薇, 张春玲, 李保明. 喷洒微酸性电解水对芥麦芽菜生长的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(9): 159–164.  
Cao W, Zhang CL, Li BM. Effect of spraying subacidic electrolyzed water on buckwheat sprouts growth [J]. Transactions CSAE, 2012, 28(9): 159–164.
- [15] 朱志伟, 李保明, 李永玉, 等. 中性电解水对鸡蛋表面的清洗灭菌效果[J]. 农业工程学报, 2010, 26(3): 358–362.  
Zhu Z, Li B, Li Y, *et al.* Disinfection effect of neutral electro-

- lyzed water for shell egg washing [J]. Transactions CSAE, 2010, 26(3): 358-362.
- [16] Abigail M, Jaesung L, Melvin AP. Efficacy of neutral electrolyzed water for sanitization of cutting boards used in the preparation of foods [J]. J Food Engin, 2012, 10(4): 541-546.
- [17] 周然, 刘源, 谢晶, 等. 电解水对冷藏河豚鱼肉质构及品质变化的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(10): 365-369.  
Zhou R, Liu Y, Xie J, *et al.* Effects of electrolyzed water on texture and quality of obscure puffer fish (*Takifugu obscurus*) during cold storage [J]. Transactions CSAE, 2011, 27(10): 365-369.
- [18] 周然, 谢晶, 高启耀, 等. 微酸性电解水结合壳聚糖对水蜜桃护色保鲜的效果[J]. 农业工程学报, 2012, 28(18): 281-285.  
Zhou R, Xie J, Gao QY, *et al.* Effects of slightly acidic electrolyzed water and carboxymethyl chitosan preservative on flesh discoloration of peaches [J]. Transactions CSAE, 2012, 28(18): 281-285.
- [19] Yu Q, Yasumitsu A, Satoshi K, *et al.* Cleaning efficacy and dentin micro-hardness after root canal irrigation with a strong acid electrolytic water [J]. J Endodontics, 2006, 32(11): 1102-1106.
- [20] 官报第3378号, 厚生劳动省令第75号および厚生劳动省告示第212号[S].
- [21] 厚生劳动省医药局食品保健部基准课. 新しい杀菌课・酸性电解水[J]. 食と健康, 2002, 544: 12-17.
- [22] 龚勇, 秦东梅. 臭氧消除水中残留农药的试验研究. 农药科学与管理, 1999, 20(2): 16-17.  
Gong Y, Qing D. Pesticide residue dispelled by ozone in water [J]. Pesticide Sci Administrat, 1999, 20(2): 16-17.
- [23] 刘月. 果蔬残留农药的臭氧消除及其营养损失研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2003.  
Liu Y. Effect of ozone on pesticide residues eliminate and nutrition loss of fruit and vegetable [D]. Beijing: China Agricultural University, 2003.
- [24] Sapers B, Simmons MI. Postharvest treatments for reduction of mancozeb in fresh apples [J]. J Agrie Food Chem, 2001: 3127-3132
- [25] Oag K, Cash JN, Zabik M. Chlorine and ozone washes for pesticide removal from apples and processed apple sauce[J]. Food Chem, 1996, 55:153-160.
- [26] 常改, 江闰虹. 消除蔬菜表面有机磷农药残留的方法研究[J]. 中国公共卫生, 2002, 18(1): 96.  
Chang G, Jian R. Study on elimination method of organophosphorus pesticide residues in vegetable surface [J]. Chinese J Public Health, 2002, 18(1): 96.
- [27] Joseph QL, Shem O. The effect of boiling oil the removal of persistent malathion residues from stored grains [J]. J Stored Pmducts Res, 2002, 38: 1-10.
- [28] 程雷锋, 李顺鹏, 沈栋, 等. 微生物降解蔬菜残留农药研究[J]. 应用与环境生物学报, 1998, 4: 81-84.  
Cheng LF, Li SP, Sheng D, *et al.* Study on microbial degradation of pesticide residues in vegetables [J]. Chin J App Environ Biology, 1998, 4: 81-84
- [29] 陈梅红, 张艳. 电离辐射降解农药残留研究[J]. 宁夏农林科技, 1999, 4(2): 44-45.  
Cheng M, Zhang Y. Study on the degradation of pesticide residues of ionizing radiation [J]. Ningxia J Agric Fores Sci Technol, 1999, 4(2): 44-45.
- [30] 潘灿平, 孔祥雨, 江树人. 臭氧水蔬菜中4中有机磷农药的去除效率与研究[C]. 农药与环境安全国际会议论文集, 149-153.  
Pan C, Kong X, Jian S. Study on the removal of organic phosphorus efficiency of Pesticides in vegetables using ozone [C]. Pesticide and Environmental Safety, 149-153.
- [31] 张铁垣. 化验员手册[M]. 第2版. 北京: 中国电力出版社, 1996: 133-350.  
Zhang TY. Laboratory Handbook[M]. 2th. Beijing: Chinese Power Press, 1996: 133-350.
- [32] 程念政. 农药残留快速检测——酶抑制法[J]. 安徽化工, 2004, 131(5): 49-42  
Cheng L. Rapid detection of pesticide residues -- enzyme inhibition method [J]. Anhui Chem Ind, 2004, 131(5): 49-42
- [33] 卢芸. 酶抑制率法测定果蔬农药残留量[J]. 农村科技, 2013, (1): 38-39.  
Lu Y. Enzyme inhibition method for determination of residues of pesticides in fruit and vegetable [J]. Rural Sci Technol, 2013, (1): 38-39.
- [34] GB/T5009-199-2002. 标准蔬菜瓜果中有机磷和氨基甲酸酯农药残留快速检测方法[S].  
GB/T5009-199-2002. A rapid method for the determination of residual organic phosphorus and carbamate pesticides in vegetables and fruits[S].
- [35] 王小红. 酶抑制法检测蔬菜中的有机磷农药残留的方法研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2006.  
Wan X. Study on the enzyme inhibition to test the residues of organophosphorus pesticide in vegetables [D]. Wuhang: Huazhong Agricultural University, 2006.
- [36] 刘月. 果蔬残留农药的臭氧消除及其营养损失研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2003.  
Liu Y. Study on pesticide residues eliminate and nutrition loss of

fruit and vegetable using ozone [D]. Beijing: China Agricultural University, 2003.

(责任编辑: 白洪健)

### 作者简介



罗 琴, 本科, 主要研究方向为食品质量与安全控制。  
E-mail: 997161444@qq.com



和劲松, 博士, 副教授, 主要研究方向为食品非热加工与安全控制、液态水功能与构造、食品蛋白凝胶化理论与功能凝胶开发等。  
E-mail: hejinsong@mail.tsinghua.edu.cn

叶章颖, 副教授, 主要研究方向为电解水工程化应用技术与装备开发。  
E-mail: yzyzju@zju.edu.cn