

# 不同清洗和加工方式对苹果中残留吡虫啉的去除效果

王平, 孟志远, 陈小军\*, 任亚军, 任莉  
(扬州大学园艺与植物保护学院, 江苏 扬州 225009)

**摘要:** 以苹果中残留吡虫啉为研究对象, 根据中国家庭在苹果食用前的清洗习惯, 选择6种不同清洗方式(清水冲洗、清水浸泡后再冲洗、食用盐溶液浸泡后再冲洗、食用醋溶液浸泡后再冲洗、食用碱溶液浸泡后再冲洗和果蔬清洗剂溶液浸泡后再冲洗)清洗苹果。研究表明, 清水浸泡后再冲洗对苹果残留吡虫啉的去除效果最好, 去除率为53.46%~84.23%, 加工因子为0.157 7~0.465 4。在苹果加工方式中, 清水浸泡后再冲洗、去皮对苹果残留吡虫啉去除率为91.20%~97.64%, 加工因子为0.023 6~0.088 0。清水浸泡后再冲洗、去皮、榨汁对苹果残留吡虫啉的去除率为93.26%~97.85%, 加工因子为0.021 5~0.067 4。此研究为评估不同的清洗、加工方式对苹果中残留农药的去除效果, 对食品风险性评估具有重要指导意义。

**关键词:** 苹果; 吡虫啉; 清洗方式; 去除率; 加工因子

Evaluation of Household Cleaning and Processing Methods for Reducing Imidacloprid Residues on Apples

WANG Ping, MENG Zhiyuan, CHEN Xiaojun\*, REN Yajun, REN Li  
(School of Horticulture and Plant Protection, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

**Abstract:** In this study, imidacloprid residues on apples were cleaned with different techniques following the vegetable cleaning habits of Chinese households, including rinsing with running water, and cleaning after soaking in water, edible vinegar, edible salt, sodium bicarbonate solution or fruit and vegetable cleaning solution. The results indicated that soaking the apple fruits in water followed by rinsing with running tap water could effectively remove the imidacloprid residues and removal rates were in the range of 53.46%–84.23% with processing factors of 0.157 7–0.465 4. Removal rates were 91.20%–97.64% and processing factors were 0.023 6–0.088 0 when the apple fruits were soaked in water for different times and then peeled. Removal rates were 93.26%–97.85% and processing factors were 0.021 5–0.067 4 when the apple fruits were soaked in water for different times before being peeled and juiced. Our research revealed the relationship between pesticide residues and cleaning approaches, which can provide the important theoretical basis for risk assessments of pesticide residues in foods.

**Key words:** apples; imidacloprid; cleaning methods; removal efficiency; processing factor

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201602010

中图分类号: S481.8

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2016)02-0058-05

引文格式:

王平, 孟志远, 陈小军, 等. 不同清洗和加工方式对苹果中残留吡虫啉的去除效果[J]. 食品科学, 2016, 37(2): 58-62.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201602010. <http://www.spkx.net.cn>

WANG Ping, MENG Zhiyuan, CHEN Xiaojun, et al. Evaluation of household cleaning and processing methods for reducing imidacloprid residues on apples[J]. Food Science, 2016, 37(2): 58-62. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201602010. <http://www.spkx.net.cn>

目前, 人们普遍关注是初级农产品中的农药残留, 而忽视加工农产品中的农药残留, 而最终食用的食品大

部分都是经过加工的农产品。在加工过程中涉及清洗、高温、腌制、浓缩等, 这些加工手段都有可能改变农药

收稿日期: 2015-03-16

基金项目: 扬州市社会发展科技攻关计划项目(2012110); 扬州大学科技创新培育基金项目(2014CXJ045); 江苏省研究生科研创新计划项目(SJLX\_0615; KYLX15\_1373)

作者简介: 王平(1990—), 女, 硕士研究生, 研究方向为农产品安全与检测。E-mail: 1019360151@qq.com

\*通信作者: 陈小军(1980—), 男, 副教授, 博士, 研究方向为农产品安全与检测。E-mail: cxj@yzu.edu.cn

的残留动态,也可能产生对人们健康有潜在影响的降解物。如清洗、发酵等加工方式会降低农产品中的农药残留水平,但是晾干、干燥等加工方法却会提高农产品中的农药残留水平,以及由于加工过程中的温度和微生物的影响,一些农药会发生降解等,使农产品中农药毒性提高或降低<sup>[1-5]</sup>。所以,在关注初级农产品农药残留的同时,更要重视加工过程中农药残留的动态变化。清洗是农产品加工链中的最初步骤,不论是在家庭制作过程还是工厂化生产过程中都是去除食品中农药残留简单有效的手段,但是清洗操作降低农产品在农药残留水平的大小却受到诸多因素的影响。其影响因素大多分为两类,一类与农药的理化性质有关,如农药的辛醇-水分配系数( $K_{ow}$ 值)、溶解度等;另一类与清洗液的理化性质有关,如清洗液的温度、pH值等<sup>[6-11]</sup>。关于农产品的加工过程对农药残留影响的研究发现,清洗能够去除一部分在苹果、黄瓜、菠菜、甘蓝等食品上的多种有机磷农药残留<sup>[6,9-10]</sup>;并且研究主要集中在运用单一的加工方法如清洗、烹饪、腌制等对一些经常食用粮食、蔬菜、水果中农药残留量的变化上<sup>[11-18]</sup>。

苹果是世界性果品,相当多的国家都将其列为主要消费果品而大力推荐<sup>[19]</sup>。吡虫啉具有高效、广谱、内吸性好、残效期长等特点,对同翅目、缨翅目、鞘翅目、双翅目及鳞翅目等,尤其对刺吸式口器害虫桃蚜、苹果瘤蚜、小绿叶蝉、黑尾叶蝉等多种害虫具有优异的控制效果,在苹果生产上的大量使用,其残留必然会给消费者带来潜在的危<sup>[20-21]</sup>。本研究以苹果中残留农药吡虫啉为对象,根据中国家庭在苹果食用前的清洗习惯,选择6种不同清洗方式(清水冲洗、清水浸泡后再冲洗、食用盐溶液浸泡后再冲洗、食用醋溶液浸泡后再冲洗、食用碱溶液浸泡后再冲洗和果蔬清洗剂溶液浸泡后再冲洗)清洗苹果,并根据食用习惯选择2种加工方式(去皮、榨汁)加工苹果,此研究为评估不同的清洗方式和加工方式对苹果中残留农药的去除效果、选择科学合理的清洗方式去除农产品中的残留、保证人们的食品安全等提供重要的理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

吡虫啉标准品(质量分数98.0%) 德国Dr. Ehrenstorfer GmbH公司;70%吡虫啉可分散剂 上海杜邦农化有限公司;恒冠镇江白醋 镇江市恒冠业有限公司;海藻碘食用盐 江苏金桥盐化集团古淮制盐有限公司;小苏打 南京甘汁园糖业有限公司;果蔬清洗剂浙江纳爱斯集团;乙腈(色谱纯) 美国Tedia公司;无水硫酸钠、氯化钠(均为分析纯) 国药集团化学试剂

有限公司;N-丙基乙二胺、C<sub>18</sub>填料 迪马科技有限公司;实验用蒸馏水经0.22 μm的微孔滤膜过滤后使用。

### 1.2 仪器与设备

L-2000型高效液相色谱(high performance liquid chromatography, HPLC)仪 日本Hitachi公司;BS210S型电子天平 德国Sartorius公司;SB-1000型旋转蒸发器 日本Eyela公司;THZ-82A型振荡机 江苏富华仪器有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 苹果中吡虫啉的添加回收率测定

分别称取5.0 g苹果于匀浆杯中,再加入30 mL乙腈,在匀浆器上高速匀浆3 min,在捣碎的各处理中分别加入吡虫啉标准溶液,使各样品中吡虫啉的含量分别为5.00、1.00、0.20 mg/kg。同时设置空白对照,每处理重复3次。在上述各处理中分别加入1.5 g氯化钠和6 g无水硫酸镁,涡旋振荡2 min,过滤,氮气吹干至5 mL,取2 mL到盛有150 mg无水硫酸镁、25 mg N-丙基乙二胺和25 mg C<sub>18</sub>填料的离心管中,4 000 r/min离心5 min后,取上清液0.3 mL,加入0.7 mL水后混匀,0.22 μm有机相滤膜过滤处理,待高效液相色谱法检测分析。优化后吡虫啉的高效液相色谱检测条件为<sup>[22-23]</sup>:C<sub>18</sub>色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm);柱温:25 ℃;进样量:20 μL;流动相:乙腈-水(30:70, V/V);检测波长:270 nm;流速:1.0 mL/min。

#### 1.3.2 不同清洗方式对苹果中残留吡虫啉的去除效果

选取组织紧密、手感充实、无破损、无霉变、无虫蛀的新鲜苹果,并经高效液相色谱法检测后未被吡虫啉污染。将70%吡虫啉水分散剂用水稀释成质量浓度为100 mg/L的溶液,选取苹果若干,浸泡在上述配制好10 L溶液中,充分浸泡,捞出晾干,待用。

##### 1.3.2.1 清水冲洗对苹果中残留吡虫啉的去除效果

将苹果置于筛中流水冲洗5 min,并转动筛子以确保冲洗均匀,室温条件下自然晾干。从洗涤完的样品中取样,提取、净化和高效液相色谱法检测分析苹果中吡虫啉残留量,计算去除率和加工因子,每处理重复3次。研究结果采用SPSS统计软件对数据进行方差分析,采用邓肯多重比较进行差异性分析,去除率及加工因子的计算公式如式(1)、(2)所示。

$$\text{去除率}/\% = \frac{\text{样品处理前的残留量} - \text{样品处理后的残留量}}{\text{样品处理前的残留质量浓度}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{加工因子} = \frac{\text{加工后样品中残留量}}{\text{加工前样品中残留量}} \quad (2)$$

##### 1.3.2.2 不同溶液浸泡后再冲洗对苹果中残留吡虫啉去除效果

选取苹果若干,在4 L不同溶液(清水、0.1%食用盐

溶液、0.1%食用醋溶液、0.1%食用碱溶液、0.1%果蔬清洗剂溶液)中浸泡5、10、15、30、45、60 min后,取出分别经清水冲洗2 min,均匀冲洗后晾干待用,每处理重复3次。取样、提取、净化、高效液相色谱检测分析苹果中吡虫啉残留量,分别计算去除率和加工因子。

### 1.3.3 去皮对苹果中残留吡虫啉的去除效果

清水浸泡冲洗后的苹果再经去皮处理,从去皮后的样品中取样,提取、净化和高效液相色谱检测苹果果肉中残留吡虫啉量,计算去除率和加工因子。

### 1.3.4 榨汁对苹果中残留吡虫啉的去除效果

清水浸泡冲洗后的苹果再经去皮、榨汁处理,从榨汁后的样品中取样,提取、净化和高效液相色谱检测苹果果汁中残留吡虫啉量,计算去除率和加工因子。

## 2 结果与分析

### 2.1 苹果中吡虫啉的添加回收率

表1 苹果中吡虫啉的添加回收率

Table 1 Recoveries of imidacloprid from spiked apple fruits

添加量/(mg/kg)	平均回收率/%	标准偏差	变异系数/%
5.0	92.58	0.106 2	2.29
1.0	88.44	0.024 4	2.76
0.2	86.61	0.008 6	4.95

注:表中回收率为3次重复的平均值。

当苹果中吡虫啉的添加量分别为5.0、1.0、0.2 mg/kg时,平均回收率分别为92.58%、88.44%和86.61%,变异系数为2.29%~4.95%(表1)。结果表明,样本中吡虫啉的添加回收率和变异系数在允许范围内,符合农药残留分析的要求。

### 2.2 不同清洗方式对苹果中残留吡虫啉的去除效果

#### 2.2.1 清水冲洗对苹果中残留吡虫啉的去除效果

处理苹果经冲洗5 min后,去除率为73.93%,加工因子为0.260 7(表2)。

表2 清水冲洗对苹果中残留吡虫啉的去除效果

Table 2 Removal efficiencies of imidacloprid residues on apple fruits by cleaning with running tap water

清洗方式	初始量/(mg/kg)	残留量/(mg/kg)	去除率/%	加工因子
流水冲洗5 min	4.456 1±0.442 5	2.264 8±0.089 2	73.93±3.011 1	0.260 7±0.030 1

注:残留量为3次重复的 $\bar{x}\pm s$ 。下同。

#### 2.2.2 清水浸泡后再冲洗对苹果中残留吡虫啉的去除效果

清水浸泡不同时间后再冲洗2 min比清水冲洗5 min去除效果好,对苹果中残留吡虫啉的去除效果显著提高,去除率为53.46%~84.23%,加工因子为0.157 7~0.465 4(表3)。浸泡30 min后,随着浸泡时间的延长,清水浸

泡后再冲洗2 min对苹果中残留吡虫啉的去除效果差异不显著。

表3 清水浸泡后再冲洗对苹果中残留吡虫啉的去除效果

Table 3 Removal efficiencies of imidacloprid residues on apple fruits soaked in tap water followed by cleaning with running tap water

浸泡时间/min	残留量/(mg/kg)	去除率/%	加工因子
5	2.871 5±0.176 2	53.46±2.571 2 <sup>Dd</sup>	0.465 4±0.025 7 <sup>Aa</sup>
10	2.482 9±0.043 9	68.39±1.479 8 <sup>Cc</sup>	0.316 1±0.014 8 <sup>Bb</sup>
15	2.299 2±0.059 8	72.77±1.987 5 <sup>Bcc</sup>	0.272 3±0.019 9 <sup>Bcb</sup>
30	2.138 1±0.072 0	78.20±2.429 3 <sup>ABb</sup>	0.218 0±0.024 3 <sup>CDc</sup>
45	1.959 7±0.031 2	84.22±1.051 9 <sup>Aa</sup>	0.157 8±0.010 5 <sup>Dd</sup>
60	1.959 4±0.049 6	84.23±1.674 4 <sup>Aa</sup>	0.157 7±0.016 8 <sup>Dd</sup>

注:初始量为(4.456 1±0.442 5) mg/kg。同列不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ),同列不同大写字母表示差异极显著( $P<0.01$ ),下同。

#### 2.2.3 食用盐溶液浸泡后再冲洗对苹果中残留吡虫啉的去除效果

食用盐溶液浸泡再冲洗对苹果中吡虫啉的去除率为14.86%~41.47%,加工因子为0.585 3~0.851 4(表4)。

表4 食用盐溶液浸泡后再冲洗对苹果中残留吡虫啉的去除效果

Table 4 Removal efficiencies of imidacloprid residues on apple fruits soaked in the salt solution followed by cleaning with running tap water

浸泡时间/min	残留量/(mg/kg)	去除率/%	加工因子
5	2.520 2±0.185 3	14.86±15.317 2 <sup>Aa</sup>	0.851 4±0.153 2 <sup>Aa</sup>
10	2.414 0±0.195 9	23.64±16.195 4 <sup>Aa</sup>	0.763 5±0.162 0 <sup>Aa</sup>
15	2.330 9±0.079 1	30.52±6.537 0 <sup>Aa</sup>	0.694 9±0.065 4 <sup>Aa</sup>
30	2.361 6±0.197 5	27.97±16.326 1 <sup>Aa</sup>	0.720 2±0.163 2 <sup>Aa</sup>
45	2.289 4±0.052 7	33.94±4.351 1 <sup>Aa</sup>	0.660 6±0.043 5 <sup>Aa</sup>
60	2.198 3±0.044 1	41.47±3.648 3 <sup>Aa</sup>	0.585 3±0.036 4 <sup>Aa</sup>

注:初始量为(2.495 0±0.397 5) mg/kg。

#### 2.2.4 食用醋溶液浸泡后再冲洗对苹果中残留吡虫啉的去除效果

食用醋溶液浸泡后再冲洗对苹果中残留吡虫啉的去除率为25.18%~80.39%,加工因子为0.196 1~0.748 2(表5)。浸泡15 min后,随着浸泡时间的延长,0.1%食用醋溶液浸泡后清洗2 min对苹果中残留吡虫啉的去除效果无显著差异。

表5 食用醋溶液浸泡后再冲洗对苹果中残留吡虫啉的去除效果

Table 5 Removal efficiencies of imidacloprid residues on apple fruits soaked in vinegar followed by cleaning with running tap water

浸泡时间/min	残留量/(mg/kg)	去除率/%	加工因子
5	2.393 6±0.033 9	25.18±2.811 3 <sup>Cd</sup>	0.748 2±0.028 1 <sup>Aa</sup>
10	2.203 9±0.047 4	40.89±3.930 5 <sup>Bc</sup>	0.591 1±0.039 3 <sup>Bb</sup>
15	1.850 1±0.028 4	70.20±2.353 7 <sup>Ab</sup>	0.298 0±0.023 5 <sup>Cc</sup>
30	1.796 0±0.039 2	74.67±3.250 8 <sup>Aab</sup>	0.253 3±0.032 5 <sup>Ccd</sup>
45	1.784 7±0.048 6	75.53±4.026 0 <sup>Aab</sup>	0.244 7±0.040 3 <sup>Ccd</sup>
60	1.727 0±0.001 2	80.39±0.101 6 <sup>Aa</sup>	0.196 1±0.001 0 <sup>Cd</sup>

注:初始量为(2.697 6±0.445 5) mg/kg。

2.2.5 食用碱溶液浸泡后再冲洗对苹果中残留吡虫啉的去除效果

食用碱小苏打溶液浸泡后再冲洗对苹果中残留吡虫啉的去除率为11.34%~57.59%，加工因子为0.424 1~0.886 6（表6）。

**表6 食用碱溶液浸泡后再冲洗对苹果中残留吡虫啉的去除效果**  
**Table 6 Removal efficiencies of imidacloprid residues on apple fruits soaked in sodium bicarbonate solution followed by cleaning with running tap water**

浸泡时间/min	残留量/(mg/kg)	去除率/%	加工因子
5	2.096 9±0.055 0	11.34±8.063 9 <sup>Dc</sup>	0.886 6±0.080 7 <sup>Aa</sup>
10	2.065 9±0.007 4	15.89±1.089 3 <sup>Dc</sup>	0.841 1±0.010 9 <sup>Aba</sup>
15	2.007 6±0.066 2	24.43±9.710 8 <sup>CDbc</sup>	0.755 7±0.097 1 <sup>ABab</sup>
30	1.945 9±0.006 7	33.47±0.983 6 <sup>BCb</sup>	0.665 3±0.009 9 <sup>BCb</sup>
45	1.833 9±0.013 2	49.89±1.932 5 <sup>Aba</sup>	0.501 1±0.019 3 <sup>CDc</sup>
60	1.781 4±0.007 3	57.59±1.072 5 <sup>Aa</sup>	0.424 1±0.010 7 <sup>Dd</sup>

注：初始量为（2.174 3±0.052 1）mg/kg。

2.2.6 果蔬清洗剂溶液浸泡后再冲洗对苹果中残留吡虫啉的去除效果

果蔬清洗剂溶液浸泡后再冲洗对苹果残留吡虫啉的去除率为18.75%~46.81%，加工因子为0.531 9~0.812 5（表7）。

**表7 果蔬清洗剂浸泡后再冲洗对苹果中残留吡虫啉的去除效果**  
**Table 7 Removal efficiencies of imidacloprid residues on apple fruits soaked in different concentrations of fruit and vegetable cleaning solution followed by cleaning with running tap water**

浸泡时间/min	残留量/(mg/kg)	去除率/%	加工因子
5	1.954 5±0.070 7	18.75±12.424 9 <sup>Aa</sup>	0.812 5±0.124 3 <sup>Aa</sup>
10	1.878 4±0.002 0	32.12±0.350 1 <sup>Aa</sup>	0.678 8±0.003 5 <sup>Aa</sup>
15	1.822 4±0.022 8	41.96±3.998 3 <sup>Aa</sup>	0.580 4±0.040 0 <sup>Aa</sup>
30	1.800 6±0.117 1	45.78±20.566 3 <sup>Aa</sup>	0.542 2±0.205 7 <sup>Aa</sup>
45	1.794 8±0.029 5	46.81±5.188 7 <sup>Aa</sup>	0.531 9±0.051 9 <sup>Aa</sup>
60	1.808 1±0.054 1	44.47±9.507 3 <sup>Aa</sup>	0.555 6±0.095 0 <sup>Aa</sup>

注：初始量为（2.061 2±0.070 1）mg/kg。

2.3 清水浸泡后再冲洗、去皮对苹果中吡虫啉的去除效果

清水浸泡不同时间后再去皮，对苹果残留中吡虫啉的去除率为91.20%~97.64%，加工因子为0.023 6~0.088 0，随着浸泡时间的延长，清水浸泡后再冲洗、去皮对苹果中残留吡虫啉的去除效果差异不显著（表8）。

**表8 清水浸泡再冲洗、去皮对苹果中残留吡虫啉的去除效果**  
**Table 8 Removal efficiencies of imidacloprid residues on apple fruits soaked in water for different times and then peeled**

浸泡时间/min	残留量/(mg/kg)	去除率/%	加工因子
5	1.704 1±0.033 9	92.84±1.141 8 <sup>Aa</sup>	0.071 5±0.011 5 <sup>Aa</sup>
10	1.753 0±0.082 7	91.20±2.788 9 <sup>Aa</sup>	0.088 0±0.027 9 <sup>Aa</sup>
15	1.561 9±0.058 9	97.64±1.987 5 <sup>Aa</sup>	0.023 6±0.019 9 <sup>Aa</sup>
30	1.585 1±0.072 0	96.86±2.429 3 <sup>Aa</sup>	0.031 4±0.024 3 <sup>Aa</sup>
45	1.713 9±0.120 7	92.51±4.0719 <sup>Aa</sup>	0.074 8±0.040 7 <sup>Aa</sup>
60	1.290 8±0.049 6	96.67±1.674 4 <sup>Aa</sup>	0.033 3±0.016 8 <sup>Aa</sup>

注：初始量为（4.456 1±0.442 5）mg/kg。表9同。

2.4 清水浸泡后冲洗再去皮、榨汁对苹果中吡虫啉的去除效果

清水浸泡不同时间后去皮、榨汁，对苹果中吡虫啉的去除效果显著，去除率为93.26%~97.85%，加工因子为0.021 5~0.067 4；随着浸泡时间的延长，清水浸泡后冲洗再去皮、榨汁对苹果中残留吡虫啉的去除效果差异不显著（表9）。

**表9 清水浸泡后冲洗再去皮、榨汁对苹果中残留吡虫啉的去除效果**  
**Table 9 Removal efficiencies of imidacloprid residues on apple fruits soaked in water for different times before being peeled and juiced**

浸泡时间/min	残留量/(mg/kg)	去除率/%	加工因子
5	1.691 8±0.179 2	93.26±6.051 1 <sup>Aa</sup>	0.067 4±0.060 5 <sup>Aa</sup>
10	1.691 6±0.043 8	93.27±1.479 8 <sup>Aa</sup>	0.067 3±0.014 8 <sup>Aa</sup>
15	1.555 8±0.048 3	97.85±1.628 4 <sup>Aa</sup>	0.021 5±0.016 3 <sup>Aa</sup>
30	1.560 5±0.076 8	97.69±2.590 0 <sup>Aa</sup>	0.023 1±0.025 9 <sup>Aa</sup>
45	1.677 1±0.134 5	93.76±4.537 2 <sup>Aa</sup>	0.062 4±0.045 4 <sup>Aa</sup>
60	1.584 6±0.060 1	96.88±2.027 9 <sup>Aa</sup>	0.031 2±0.020 3 <sup>Aa</sup>

在清洗过程中，农药的理化性质对降低农产品中农药残留水平有着重要的影响。其中农药的 $K_{ow}$ 值决定了农药进入农产品表面蜡质层的量，农药的 $K_{ow}$ 值越高越容易进入农产品表面的蜡质层，清洗时不易被清洗液溶解，故很难降低这些农药在农产品上的残留。Rasmussen等<sup>[6]</sup>研究了清洗对毒死蜱等14种高 $K_{ow}$ 农药在苹果中残留影响，结果表明，用清水漂洗15 min后能除去52%的对甲抑菌灵残留，其他13种农药的残留均未能降低。另外Guardia-Rubio等<sup>[24]</sup>研究了清洗操作对橄榄上西玛津、敌草隆等5种农药的去除效果，研究结果表明清洗操作能降低50%的西玛津残留，但对敌草隆等其他4种农药降低效果不明显，然而西玛津的 $K_{ow}$ 值低于其他4种农药。清洗对农药残留的影响与农药的溶解度也有一定的关系，Kin等<sup>[10]</sup>利用10%的醋酸溶液清洗黄瓜和草莓，发现农药残留的去除效果与农药的溶解度和蒸汽压有关，农药的溶解度和蒸汽压越高，在清洗过程中越容易被除去。除此之外，由于清洗液中添加了不同的清洗剂，使清洗液的pH值、乳化性等发生改变，从而改变了清洗液对农产品中农药残留的去除效果。Lin等<sup>[8]</sup>通过研究清洗对菠菜等4种蔬菜中甲胺磷和乐果的去除效果发现，混合强酸性电解氧化水溶液对这两种农药的去除率高达99%；而强碱性电解水溶液的去除率仅分别为33.8%和31.6%，这可能是由于大部分农药在酸性介质中溶解度最好，农药在酸性洗涤液中更容易被去除。

综上所述，不同清洗方式中，清水浸泡后再冲洗对苹果中残留吡虫啉的去除效果最佳，这可能是吡虫啉在酸性溶液中比较稳定的原因；不同溶液浸泡30 min后，随着浸泡时间的延长去除效果没有显著差异。由于吡虫啉水中的溶解度为0.61 g/L<sup>[20]</sup>，具有低的脂水分配系数<sup>[25]</sup>，有很好

的亲水性,当清水浸泡后,残留在苹果表面上的农药较易进入水中,而使得清水浸泡后再冲洗对其去除效率较高。本研究所选择的6种清洗方式,在选择方式上主要根据家庭在苹果食用前的清洗习惯和日常家庭厨房中所常备的物品而选择地,符合生活实际情况;去皮和榨汁也是人们生活中食用苹果的加工方式,研究表明去皮对苹果中残留农药吡虫啉有很好的去除效果,这可能是因为吡虫啉大部分附着在苹果表面,因此,去皮能够有效地降低苹果上的吡虫啉残留水平;而清洗后去皮再榨汁,前面步骤已经有效地降低了苹果中吡虫啉的残留水平,并且大量的农药残留进入果渣中,所以榨汁对苹果中残留农药吡虫啉有明显的去除效果,但由于吡虫啉有一定的亲水性,部分农药残留进入果汁中,导致榨汁处理并不能达到绝对的去除效果。此研究将为选择科学合理的清洗方式去除农产品表面上残留农药具有重要的理论指导意义。

### 3 结论

在本研究中,选择清水冲洗、清水浸泡后再冲洗、食用醋溶液浸泡后冲洗、食用盐溶液浸泡后冲洗、食用碱溶液浸泡后冲洗和果蔬清洗剂浸泡后再冲洗共6种清洗方式清洗苹果上残留农药。研究表明在所选择的6种清洗方式中,清水浸泡后再冲洗对苹果残留吡虫啉的去除效果最好,去除率为53.46%~84.23%,加工因子为0.1577~0.4654。在苹果加工方式中,清水浸泡后再冲洗、去皮对苹果残留吡虫啉的去除效果较佳,去除率为91.20%~97.64%,加工因子为0.0236~0.0880;清水浸泡后再冲洗、去皮、榨汁对苹果残留吡虫啉的去除效果显著,去除率为93.26%~97.85%,加工因子为0.0215~0.0674。此研究可评估不同的清洗、加工方式对苹果中残留农药的去除效果,对食品风险性评估具有重要指导意义。

### 参考文献:

- [1] 李云成,孟凡冰,陈卫军,等.加工过程对食品中农药残留的影响[J].食品科学,2012,33(5):315-322.
- [2] BONNECHERE A, HANOT V, BRAGARD C, et al. Effect of household and industrial processing on the levels of pesticide residues and degradation products in melons[J]. Food Additives and Contaminants Part A-Chemistry Analysis Control Exposure and Risk Assessment, 2012, 29(7): 1058-1066. DOI:10.1080/19440049.2012.672339.
- [3] BONNECHERE A, HANOT V, JOLIE R, et al. Effect of household and industrial processing on levels of five pesticide residues and two degradation products in spinach[J]. Food Control, 2012, 25(1): 397-406. DOI:10.1016/j.foodcont.2011.11.010.
- [4] AGUILERA A, VALVERDE A, CAMACHO F, et al. Effect of household processing and unit to unit variability of azoxystrobin, acrinathrin and kresoxim methyl residues in zucchini[J]. Food Control, 2012, 25(2): 594-600. DOI:10.1016/j.foodcont.2011.11.038.
- [5] CHAUHAN R, MONGA S, KUMARI B. Effect of processing on reduction of lambda-cyhalothrin residues in tomato fruits[J]. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 2012, 88(3): 352-357. DOI:10.1007/s00128-011-0483-9.
- [6] RASMUSSEN R R, POULSEN M E, HANSEN H C B. Distribution of multiple pesticide residues in apple segments after home processing[J]. Food Additives and Contaminants, 2003, 20: 1044-1063. DOI:10.1080/02652030310001615221.
- [7] RADWAN M A, ABU-ELAMAYEM M M, SHIBOUB M H, et al. Residual behaviour of profenofos on some field-grown vegetables and its removal using various washing solutions and household processing[J]. Food and Chemical Toxicology, 2005, 43: 553-557. DOI:10.1016/j.fct.2004.12.009.
- [8] LIN C S, TSAI P J, WU C, et al. Evaluation of electrolysed water as an agent for reducing methamidophos and dimethoate concentrations in vegetables[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2006, 41: 1099-1104. DOI:10.1111/j.1365-2621.2006.01192.x.
- [9] ZHANG Z Y, LIU X J, HONG X Y. Effects of home preparation on pesticide residues cabbage[J]. Food Control, 2007, 8: 1484-1487. DOI:10.1016/j.foodcont.2006.11.002.
- [10] KIN C M, HUAT T G. Headspace solid-phase microextraction for the evaluation of pesticide residue contents in cucumber and strawberry after washing treatment[J]. Food Chemistry, 2010, 123: 760-764. DOI:10.1016/j.foodchem.2010.05.038.
- [11] GONZALEZ-RODRIGUEZ R M, RIAL-OTERO R, CANCHOGRANDE B, et al. A review on the fate of pesticides during the processes within the food-production chain[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2011, 51: 99-114. DOI:10.1080/10408390903432625.
- [12] 张洪,赵丽娟,秦曙,等.4种菊酯类农药残留在菜豆烹饪过程中的消解[J].中国食品学报,2008,8(2):152-155. DOI:10.3969/j.issn.1009-7848.2008.02.028.
- [13] 袁玉伟,张志恒,叶志华.模拟加工对菠菜中农药残留量及膳食暴露评估的影响[J].农药学报,2011,13(2):186-191. DOI:10.3969/j.issn.1008-7303.2011.02.15.
- [14] KONG Z Q, DONG F S, XU J, et al. Degradation of acephate and its metabolite methamidophos in rice during processing and storage[J]. Food Control, 2012, 23(1): 149-153. DOI:10.1016/j.foodcont.2011.07.001.
- [15] LU Y L, YANG Z H, SHEN L Y, et al. Dissipation behavior of organophosphorus pesticides during the cabbage pickling process: residue changes with salt and vinegar content of pickling solution[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(9): 2244-2252. DOI:10.1021/jf304500f.
- [16] OMEROGU P Y, AMBRUS A, BOYACIOGLU D. Estimation of sample processing uncertainty of large-size crops in pesticide residue analysis[J]. Food Analytical Methods, 2013, 6(1): 238-247. DOI:10.1007/s12161-012-9436-0.
- [17] MARTIN L, MEZCUA M, FERRER C, et al. Prediction of the processing factor for pesticides in apple juice by principal component analysis and multiple linear regression[J]. Food Additives and Contaminants Part A, 2013, 30(3): 466-476. DOI:10.1080/19440049.2012.749541.
- [18] ZHAO L W, GE J, LIU F M, et al. Effects of storage and processing on residue levels of chlorpyrifos in soybeans[J]. Food Chemistry, 2014, 150: 182-186. DOI:10.1016/j.foodchem.2013.10.124.
- [19] 翟衡,赵政阳,王志强,等.世界苹果产业发展趋势分析[J].果树学报,2005,22(1):44-50. DOI:10.3969/j.issn.1009-9980.2005.01.011.
- [20] 刘长令.世界农药大全:杀虫剂卷[M].北京:化学工业出版社,2012:245.
- [21] 张梅凤,范金勇,张宏伟,等.新烟碱类杀虫剂的研究进展[J].世界农药,2009,31(1):22-26. DOI:10.3969/j.issn.1009-6485.2009.01.007.
- [22] 路海燕,李斌,陈忠正,等.分散固相萃取-HPLC检测绿茶茶汤中吡虫啉和啶虫脒残留[J].食品科学,2013,34(20):203-206. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201320043.
- [23] 王孝辉,宛晓春,侯如燕.茶叶中吡虫啉农药残留的液相色谱检测方法[J].茶叶科学,2012,32(3):203-209.
- [24] GUARDIA-RUBIO M, MARCHAL-LÓPEZ R M, AYORA-CANADA M J, et al. Determination of pesticides in olives by gas chromatography using different detection systems[J]. Journal of Chromatography, 2007, 1145: 195-203. DOI:10.1016/j.chroma.2007.01.068.
- [25] JESCHKE P, NAUEN R, SCHINDLER M, et al. Overview of the status and global strategy for neonicotinoids[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry 2011, 59(7): 2897-2908. DOI:10.1021/jf101303g.