

# 不同烹饪对模拟毒死蜱豇豆中的慢性膳食暴露评估

王向未<sup>1</sup>, 仇厚援<sup>1</sup>, 陈文学<sup>1</sup>, 张志恒<sup>2</sup>, 袁玉伟<sup>2</sup>, 吴莉宇<sup>2</sup>, 王 强<sup>2,\*</sup>

(1.海南大学食品学院, 海南 海口 571100; 2.浙江省植物有害生物防控重点实验室-省部共建国家重点实验室培育基地, 农业部农药残留检测重点实验室, 浙江省农业科学院农产品质量标准研究所, 浙江 杭州 310021)

**摘 要:** 研究针对不同人群(2~3岁、4~6岁、7~10岁、11~13岁、14~17岁、18~29岁、30~44岁、45~59岁、60~69岁、70岁以上)不同性别(男性和女性)引入加工因子对烹饪前后豇豆中的毒死蜱进行慢性膳食暴露评估的研究。研究表明: 经过清洗后再进行4种不同烹饪方式(炒制、微波、焯水、腌制烹饪)获得加工因子后, 人群慢性暴露风险指数(CRfD)范围是7.5741~23.5425, 其CRfD均小于100, 处于可接受水平; 在未引入加工因子时, CRfD范围是50.3599~111.0397, 其中2~3岁、4~6岁、7~10岁男性和女性的CRfD范围在102.0552~111.0397, 均大于100, 处于高风险暴露水平, 属于高危人群。未引入加工因子时的CRfD是引入加工因子时的5~10倍, 因此引入加工因子后豇豆中的毒死蜱慢性膳食暴露评估的结果更接近实际值。经清洗后不同烹饪方式的加工方式对豇豆中的毒死蜱均有去除效果, 微波烹饪效果最好, 对指导消费者的膳食安全更具实际意义。

**关键词:** 烹饪; 毒死蜱; 加工因子; 膳食暴露评估; 慢性风险指数

## Dietary Exposure Assessment of Chlorpyrifos in Cowpea Before and After Cooking

WANG Xiang-wei<sup>1</sup>, QIU Hou-yuan<sup>1</sup>, CHEN Wen-xue<sup>1</sup>, ZHANG Zhi-heng<sup>2</sup>, YUAN Yu-wei<sup>2</sup>, WU Li-yu<sup>2</sup>, WANG Qiang<sup>2,\*</sup>

(1. College of Food Science, Hainan University, Haikou 571100, China; 2. State Key Laboratory Breeding Base for Zhejiang Sustainable Plant Pest Control, Key Laboratory for Pesticide Residue Detection, Ministry of Agriculture, Institute of Quality and Standard for Agro-products, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China)

**Abstract:** This study was aimed to investigate the application of processing factors to dietary exposure assessment of chlorpyrifos in cowpea during cooking in different age groups of different genders. Subjects of different ages were divided into 10 groups: 2—3 years old, 4—6 years old, 7—10 years old, 11—13 years old, 14—17 years old, 18—29 years old, 30—44 years old, 45—59 years old, 60—69 years old and  $\geq 70$  years old. The results showed the processing factors of cowpea were obtained in different cooking modes after cleaning such as stir frying, microwave cooking, blanching and marination. The chronic exposure risk index (CRfD) range was 7.5741—23.5425, lower than 100 and thus acceptable, whereas the CRfD range was 50.3599—111.0397 without taking the processing factors into consideration and the values in groups of 2—3, 4—6 and 7—10 of both genders ranged from 102.0552 to 111.0397, which were higher than 100 and highly risky for subjects in these groups. Accordingly, CRfD values not based on processing factors were 5—10 times more than those based on processing factors. The value of dietary exposure assessment was more precise by considering the influence of processing factors on chlorpyrifos in cowpea. All the different cooking modes following cleaning were effective to remove chlorpyrifos residues from cowpea and microwave cooking showed the best effect.

**Key words:** cooking; chlorpyrifos; processing factor; dietary exposure assessment; chronic exposure risk index

中图分类号: TS255.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)17-0254-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201317054

我国是农业大国, 豇豆是我国消费者喜爱的蔬菜品种之一, 毒死蜱是豇豆种植过程中使用较多的一种光谱

性杀虫剂<sup>[1]</sup>。近些年来毒死蜱残留超标问题严重<sup>[2]</sup>, 影响人们膳食消费安全。随着我国经济持续高速增长, 我国

收稿日期: 2012-06-27

基金项目: 国家“863”计划项目(2011AA100806)

作者简介: 王向未(1986—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品科学。E-mail: 349123285@qq.com

\*通信作者: 王强(1963—), 男, 研究员, 博士, 研究方向为农药应用评价与农产品质量安全。E-mail: qiangwang2003@vip.sina.com

城乡居民的营养状况显著改善,食品安全已经成为大家关注的焦点。在我国人们膳食过程中,大多是对鲜活农产品烹饪后摄入,而不是直接摄入。国内和国外膳食暴露评估时大多数是对鲜活农产品的农药残留进行评估<sup>[3]</sup>,忽略加工因子,使用这样的评估值进行评估可能会高估人群的膳食暴露水平<sup>[4]</sup>。国内外引入加工因子的风险评估研究较少<sup>[5]</sup>,陈晨等<sup>[6]</sup>研究初级农产品加工成各种食物,如果汁、汤、油料等,可利用加工因子反映农药残留量的浓缩或稀释。Byrne等<sup>[7]</sup>对农产品进行水煮、烘烤和罐装等加工,得到不同加工因子水煮样品0.320~1.19,烘烤果肉样品0.022~1.1.8,罐装样品0.119~0.661。袁玉伟等<sup>[8]</sup>研究甘蓝中氰戊菊酯在水洗、漂烫等加工后加工因子为0.39和0.52。为了保护人群健康,我国高度关注食品危险性评估研究,并且在当今社会食品安全信任度低的情况下,本研究不同加工方法对农产品中农药残留量的影响及加工因子在膳食暴露中的应用就显得尤为重要,不仅会增强农业管理还提醒消费者增强自我保护意识。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

新鲜豇豆 浙江杭州乐购超市;金龙鱼色拉油 中粮粮油集团有限公司。

乙腈(色谱纯)、丙酮(分析纯)、无水氯化钠(分析纯)、碳酸钠(分析纯) 杭州化学试剂公司;毒死蜱农药(纯度40%) 浙江禾本农药化学有限公司;毒死蜱标准品(纯度99.0%) 美国Sigma公司。

### 1.2 仪器与设备

GC-2010岛津气相色谱仪(配有火配有火焰光度检测器(FPD)和电子捕获检测器(ECD)) 日本岛津公司;BUCHI Rotavapor R-200和B-490真空旋转蒸发器 日本Eyela公司;多用真空泵 郑州长城科工贸有限公司;恒温振荡器 常州国华电器有限公司;微型漩涡混合仪 上海沪西分析仪器厂;匀浆机 常州智博瑞仪器制造有限公司;氮吹仪 美国Organomation Associates公司;九阳电磁炉 广州市九阳技有限公司;樱花抽油烟机 苏州樱花科技发展有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 模拟毒死蜱污染豇豆样品的制备

根据NY/T 788—2004《农药残留试验准则》<sup>[9]</sup>中相关要求,选取质地鲜嫩、无虫蛀、新鲜、经检测不含毒死蜱的豇豆,将40%毒死蜱原药用水稀释成1.5mg/kg,将豇豆浸泡在配制好的毒死蜱溶液里面30min后晾干(浸泡比例为豇豆与毒死蜱溶液质量比为1:4),经检测豇豆中的毒死蜱残留量大约为1.1~1.2mg/kg之间,以下称模拟毒死蜱豇豆样品,将用于以下烹调实验及膳食暴露评估实验。

#### 1.3.2 烹调实验

##### 1.3.2.1 炒制烹饪实验

选取模拟毒死蜱豇豆,分别在水中浸泡15min后水龙头冲洗2min后<sup>[10]</sup>,称取200g将其切成3cm的小段,在不锈钢锅内加入25g金龙鱼色拉油,放置于加热的电磁炉上,待油温到210℃,将切好的样品豇豆进行炒制,分别设4组烹饪方式:不盖锅盖炒制、炒制烹饪加水、炒制烹饪盖锅盖、炒制烹饪加水盖锅盖。炒制时间均为7min,每组处理设置3组平行,待检测。

##### 1.3.2.2 微波烹饪实验

选取模拟毒死蜱豇豆,分别在水中浸泡15min后水龙头冲洗2min后,称取200g将其切成3cm的小段,在微波专用碗中加入25g金龙鱼色拉油,放置于微波炉胆里,中高火4min,分别设3组烹饪方式:微波中高火炒制、微波中高火炒制加水、微波中高火蒸制;每组处理设置3组平行,待检测。

##### 1.3.2.3 焯水烹饪实验

选取模拟毒死蜱豇豆,分别在水中浸泡15min后水龙头冲洗2min后,称取200g将其切成3cm的小段,在不锈钢锅内加入3L自来水,放置于加热的电磁炉上,待水煮沸,将样品豇豆进行焯制,分别焯煮1、2、3、4、5min 5个不同时间,每组处理设置3组平行,待检测。

##### 1.3.2.4 腌制烹饪实验

加工工艺流程:原料处理→清洗(最佳清洗条件)→切分→装瓶→发酵→酸豆角→检测。

原料处理:称取3kg模拟毒死蜱豇豆,分别在水中浸泡15min后水龙头冲洗2min后,用其做酸豆角发酵实验,去除头尾部分,待用。豇豆发酵用5L容器瓶使用前清洗干净,高温灭菌,装瓶前保持干燥状态。按照容器容量配制质量分数7%的盐水,待水温降至25℃左右,将处理好的豆角装入瓶中,瓶口用水密封,在恒温培养箱中发酵完成<sup>[11]</sup>。豇豆在发酵过程中,必须经常检查封口水的水量,保持封口处的水面澄清,水面高于容器瓶瓶4cm左右。在挑选检测样品时,必须使用不带有油污的工具捡取,以免杂菌或油污污染发酵液影响实验。

#### 1.3.3 毒死蜱残留分析方法

##### 1.3.3.1 样品提取净化

取1.3.2节中待用豇豆样品,准确称取25.0g放入匀浆机中,加入50.0mL乙腈,在匀浆机中高速匀浆2min后,用布氏漏斗过滤,滤液收集到装有5~7g无水氯化钠的100mL具塞量筒中,盖上塞子,剧烈振荡1min后于室温静置30min,使乙腈相和水相分层。从具塞量筒中吸取10.00mL乙腈溶液,移入250mL圆底烧瓶中,水温为40℃旋转蒸发仪上蒸发至近干,氮气吹干,直接用5mL丙酮定容超声1min。

另外,烹调实验的实验室模拟豇豆样品,经提取

后, 还需进一步净化, 用10mL正己烷将弗罗里硅土柱子预淋洗, 分别用丙酮-正己烷(体积比1:1)20.00mL分3次洗脱蒸发近干的烹调样品圆底烧瓶用250mL圆底烧瓶接收洗脱液, 在水温40℃旋转蒸发仪上旋转至近干。用5mL丙酮定容, 超声1min, 移至自动进样器样品瓶中待测。

### 1.3.3.2 色谱条件

色谱柱: DB-5MS(30m×0.32mm, 0.25μm); 载气: N<sub>2</sub>, 流速: 30mL/min; H<sub>2</sub>, 流速: 90mL/min。进样口温度: 220℃; 检测器温度: 300℃; 柱温程序升温: 初始温度150℃, 保持2min, 以20℃/min速率升温至250℃, 保持1min; 进样量: 1μL。

### 1.3.4 方法的准确度和精确度

采用外标法, 保留时间定性, 峰面积定量。在空白豇豆样品中分别添加0.01、0.5、2.0mg/kg的毒死蜱, 每组3个平行。

### 1.3.5 标准曲线的绘制

采取外标法定量, 将标准工作液稀释成0.05、0.10、0.50、1.00、2.00mg/L 5个质量浓度, 以峰面积(y)和毒死蜱质量浓度(x)作标准工作曲线。

### 1.3.6 豇豆中毒死蜱含量计算

毒死蜱含量按NY/T 761—2008《蔬菜和水果中有机磷、有机氯、拟除虫菊酯和氨基甲酸酯类农药多残留的测定》标准所述计算<sup>[11]</sup>如式(1)所示。

$$X/(\text{mg/kg}) = \frac{A \times \rho \times V}{S \times m} \quad (1)$$

式中:  $X$ 为试样中毒死蜱的残留量/(mg/kg);  $A$ 为液中毒死蜱峰面积;  $\rho$ 为标准工作液中毒死蜱的质量浓度/(μg/mL);  $S$ 为标准工作液中毒死蜱的色谱峰面积;  $V$ 为样液定容体积/mL;  $m$ 为样品质量/g。

### 1.3.7 加工因子的计算

加工因子是食品污染物在经过清洗、烹饪等加工环节中其浓度下降的比例的体现<sup>[1]</sup>, 加工因子在本实验包括清洗因子和烹饪因子(包含炒制、微波、焯水、腌制等因子), 加工因子( $f_i$ )按式(2)计算。

$$\text{加工因子} = \frac{\text{样品加工后的毒死蜱残留量}/(\text{mg/kg})}{\text{样品加工前的毒死蜱残留量}/(\text{mg/kg})} \quad (2)$$

### 1.3.8 统计分析方法

应用DPS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。

### 1.3.9 慢性膳食暴露点评估风险指数(CRfD)<sup>[13]</sup>

$$\text{CRfD} = \frac{I \times R \times f_i}{m \times \text{ADI}} \times 100 \quad (3)$$

式中:  $I$ 为评估人群每天每千克体重摄入豇豆的人均消费量/g;  $R$ 为豇豆中毒死蜱的平均残留量/(mg/kg);  $f_i$ 为对应的清洗因子和烹饪因子的乘积<sup>[14]</sup>; ADI为每千克体质量

的农药日允许摄入量/(mg/kg); FAO/WHO农药残留专家联席会议(JMPR) 和国际理论与应用化学联合会(IUPAC)确定人体每日允许摄入量(ADI)为0.01mg/kg<sup>[15]</sup>;  $m$ 代表标准体质量/kg。

其中CRfD≤100, 说明人群慢性膳食暴露评估风险水平尚可接受; 反之若CRfD>100, 说明人群暴露水平处于不安全状态, 需校正暴露量的估计或采取相应风险管理措施<sup>[16]</sup>。

通过查阅《中国居民营养与健康状况调查报告之十-2002营养与健康状况数据集》获得暴露人群居民体质量和24h豇豆膳食平均摄入量<sup>[17]</sup>(表1)。

表1 全国城市人群基本情况调查表  
Table 1 National survey of urban population

年龄	性别	体质量/kg	平均摄入量/g
2~3岁	男	13.2	127.4
	女	12.3	122.9
4~6岁	男	16.8	164.8
	女	16.2	160.8
7~10岁	男	22.9	210.3
	女	21.7	202.7
11~13岁	男	34.1	238.1
	女	34.0	233.6
14~17岁	男	46.7	269.4
	女	45.2	241.3
18~29岁	男	58.4	297.7
	女	52.1	274.4
30~44岁	男	64.9	305.1
	女	55.7	289.2
45~59岁	男	63.1	315.6
	女	57.0	294.3
60~69岁	男	61.5	289.4
	女	54.3	268.1
70岁以上	男	58.5	265.1
	女	51.0	232.7

## 2 结果与分析

### 2.1 添加回收率实验结果

表2 毒死蜱在豇豆中的添加回收率( $n=3$ )  
Table 2 Recoveries of chlorpyrifos in cowpea spiked at varying concentrations ( $n=3$ )

毒死蜱添加量/(mg/kg)	平均回收率/%	变异系数/%
0.01	106	5.2
0.50	103	6.8
2.00	93	3.8

毒死蜱添加量与峰面积有良好的相关性, 满足毒死蜱定量分析的要求。毒死蜱的标准曲线为:  $y = 50917x - 246.55$ , 相关系数为0.9996, 保留时间为9.62min。由表2可知, 毒死蜱的添加回收率在93%~106%之间, 变异系

数在3.8%~6.8%之间,均符合《农药残留试验准则》的要求<sup>[9]</sup>。

2.2 烹饪对豇豆中毒死蜱的去除效果

2.2.1 炒制烹饪对豇豆中的毒死蜱的加工因子影响

表3 不同炒制烹饪方式对豇豆中毒死蜱的加工因子影响( $\bar{x} \pm s, n=3$ )  
Table 3 Processing factor of chlorpyrifos residues in cowpea under different cooking modes ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

加工方法	清洗后残留量/(mg/kg)	烹饪后残留量/(mg/kg)	清洗因子( $f_{wi}$ )	炒制烹饪因子( $f_{ci}$ )
不盖锅盖炒制	0.3613±0.0106	0.1986±0.0343	0.3279±0.0016 <sup>Ab</sup>	0.5498±0.0003 <sup>Bb</sup>
炒制烹饪加水	0.3667±0.0051	0.1969±0.0356	0.3178±0.0023 <sup>Bb</sup>	0.5451±0.0001 <sup>Cc</sup>
炒制烹饪盖锅盖	0.3649±0.0016	0.2102±0.0150	0.3007±0.0007 <sup>Cc</sup>	0.5735±0.0001 <sup>Aa</sup>
炒制烹饪加水盖锅盖	0.3622±0.0068	0.1938±0.0049	0.3156±0.0006 <sup>Bb</sup>	0.5365±0.0078 <sup>Dd</sup>

注:同列小写字母不同表示有显著性差异( $P<0.05$ );同列大写字母不同表示有极显著性差异( $P<0.01$ )。下同。

由表3可知,在清洗后,模拟毒死蜱豇豆中毒死蜱的残留量有所降低,无论何种烹饪方式对去除豇豆中毒死蜱残留的效果都很显著,其中炒制加工因子为0.5498;炒制中加水炒制烹饪因子为0.5451;炒制盖锅盖炒制烹饪因子为0.5735。炒制烹饪因子范围在0.5365~0.5735,可能因为毒死蜱对高温及水较为敏感,水蒸气带动农药散失,降解速度加快,去除效果跟烹饪方式有关<sup>[18]</sup>。

2.2.2 微波烹饪对豇豆中毒死蜱的加工因子影响

表4 微波方式对豇豆中毒死蜱的加工因子影响( $\bar{x} \pm s, n=3$ )  
Table 4 Processing factor of chlorpyrifos residues in cowpea under different microwave cooking modes ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

加工方法	清洗后残留量/(mg/kg)	烹饪后残留量/(mg/kg)	清洗因子( $f_{wi}$ )	微波烹饪因子( $f_{ci}$ )
微波中高火炒制	0.3444±0.0032	0.1712±0.0031	0.3134±0.0013 <sup>Ab</sup>	0.4799±0.0087 <sup>Cc</sup>
微波中高火炒制加水	0.3406±0.0010	0.2012±0.0014	0.3156±0.0001 <sup>Aa</sup>	0.5640±0.0038 <sup>Bb</sup>
微波中高火蒸制	0.3496±0.0023	0.3011±0.0012	0.3098±0.0003 <sup>Bb</sup>	0.8440±0.0003 <sup>Aa</sup>

由表4可知,清洗后进行微波炒制,毒死蜱残留去除效果较明显,其中微波中高火炒制加工因子为0.4799;而微波中高火炒制加水,炒制加工因子为0.5640;但是微波中高火蒸制毒死蜱去除效果不是很明显,炒制加工因子为0.8440;微波烹饪因子范围在0.4779~0.8440。

2.2.3 焯水烹饪对豇豆中毒死蜱的加工因子影响

表5 不同焯水时间对豇豆中毒死蜱的加工因子影响( $\bar{x} \pm s, n=3$ )  
Table 5 Processing factor of chlorpyrifos residues in cowpea under different blanching times ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

加工方法	清洗后残留量/(mg/kg)	烹饪后残留量/(mg/kg)	清洗因子( $f_{wi}$ )	焯水因子( $f_{bi}$ )
焯水1min	0.3486±0.0044	0.2848±0.0090	0.3122±0.0094 <sup>Dd</sup>	0.8172±0.0149 <sup>Aa</sup>
焯水2min	0.3457±0.0039	0.2202±0.0047	0.3150±0.0039 <sup>Cc</sup>	0.6319±0.0076 <sup>Bb</sup>
焯水3min	0.3469±0.0028	0.2063±0.0168	0.3146±0.0092 <sup>Cc</sup>	0.5919±0.0280 <sup>Cc</sup>
焯水4min	0.3449±0.0068	0.2050±0.0065	0.3165±0.0074 <sup>Bb</sup>	0.5883±0.0107 <sup>Dd</sup>
焯水5min	0.3411±0.0040	0.2024±0.0147	0.3196±0.0032 <sup>Aa</sup>	0.5818±0.0248 <sup>Ee</sup>

由表5可知,焯制烹饪对豇豆中毒死蜱残留去除效果较明显,在焯制4min时,焯水加工因子为0.5883。当焯制更长时间已无变化,焯水加工因子范围在0.5818~0.8172,焯水时间过长豇豆失水较为严重。

2.2.4 腌制烹饪对豇豆中毒死蜱的加工因子的影响

表6 腌制时间对豇豆中毒死蜱的加工因子的影响( $\bar{x} \pm s, n=3$ )  
Table 6 Processing factor of chlorpyrifos residues in cowpea under different marination times ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

加工方法	清洗后残留量/(mg/kg)	烹饪后残留量/(mg/kg)	清洗因子( $f_{wi}$ )	腌制因子( $f_{bi}$ )
7%盐水腌制5d	0.3645±0.0045	0.2679±0.0002	0.3157±0.0041 <sup>Ab</sup>	0.7353±0.0002 <sup>Dd</sup>
7%盐水腌制10d	0.3633±0.0026	0.2377±0.0007	0.3156±0.0051 <sup>Ab</sup>	0.6740±0.0007 <sup>Aa</sup>
7%盐水腌制20d	0.3675±0.0071	0.2750±0.0061	0.3111±0.0024 <sup>Cc</sup>	0.6814±0.0061 <sup>Cc</sup>
7%盐水腌制30d	0.3625±0.0044	0.2935±0.0001	0.3129±0.0087 <sup>Bb</sup>	0.6786±0.0001 <sup>Bb</sup>

由表6可知,腌制对豇豆中毒死蜱还是具有一定去除效果的,在腌制5~10d的时候,去除较明显,发酵10d时加工因子为0.6740。但是发酵后期去除效果不是很明显,在腌制30d时,腌制因子为0.6786,腌制因子范围在0.6740~0.7353之间,腌制加工对农药残留量有明显的影响。

2.2.5 不同烹饪方式下实验室模拟毒死蜱浸泡豇豆残留量分布

从4组烹饪实验中获得实验室模拟毒死蜱浸泡豇豆残留量的平均残留值,用于做各种烹饪方式的膳食暴露评估,结果见表7。

表7 实验室模拟毒死蜱浸泡豇豆残留量分布( $n=3$ )  
Table 7 Residue levels of chlorpyrifos in cowpea cooked by different methods ( $n=3$ )

食品种类	样品数	平均残留量/(mg/kg)
炒制烹饪	12	1.113
微波烹饪	9	1.116
腌制烹饪	12	1.122
焯水烹饪	12	1.115

2.2.6 豇豆中毒死蜱膳食暴露评估中加工因子的计算

表8 豇豆在不同烹饪方式中加工因子的变化( $n=3$ )  
Table 8 Changes in processing factors under different cooking modes ( $n=3$ )

烹饪方式	清洗因子( $f_{wi}$ )	烹饪因子( $f_{ci}$ )	加工因子( $f_{bi}$ )
炒制烹饪加水	0.317951	0.545101	0.1733154
微波中高火炒制	0.313342	0.479987	0.1504001
焯水3min	0.314592	0.591928	0.1862158
7%盐水腌制10d	0.315689	0.674007	0.2127766

从4组烹饪实验中挑选出一组用来做膳食暴露评估,得出总加工因子,结果如表8所示。这4组代表了家庭烹饪的4种基础烹饪方式,对其进行加工,观察其毒死蜱残留量下降幅度,从而得到最佳去除毒死蜱的烹饪方式,再对其进行膳食暴露评估,正确评价人群农药膳食暴露评估水平。

2.3 不同烹饪方式对豇豆中的毒死蜱的膳食暴露评估

由表9可知,城市不同年龄组不同性别居民人群。在未考虑加工因子时,男性CRfD范围在50.3599~109.0132,女性CRfD范围在50.7058~111.0397;其中2~3岁、4~6岁、7~10岁男性和女性的CRfD范围在102.0552~111.0397,均

大于100, 处于高风险暴露水平, 属于高危人群, 其他组人群的CRfD属于可接受范围, 但是接近危险水平。比较性别在未考虑加工因子时, 所承受风险女性大于男性。当引入加工因子时, 比较炒制烹饪、微波烹饪、焯水烹饪、腌制烹饪的慢性点评估结果, 其中炒制烹饪选择炒制烹饪加水的男性CRfD范围是8.5288~18.4622, 女性CRfD范围是8.5874~18.8054; 微波烹饪选择微波中高火炒制的男性CRfD范围是7.5741~16.3956, 女性CRfD范围是7.6262~16.7004; 焯水烹饪选择焯水烹饪3min的男性CRfD范围是9.3778~20.3000, 女性CRfD范围是9.4422~20.6773; 腌制烹饪选择腌制烹饪10d的男性CRfD范围是10.6773~23.1129, 女性CRfD范围是10.7506~23.5425, 均处于安全状态。未考虑加工因子时的CRfD为考虑加工因子时的5~10倍, 引入加工因子获得的膳食暴露评估结果更符合不同年龄段不同性别组的居民实际生活摄入风险。

表9 豇豆在加工前后毒死蜱膳食慢性风险指数CRfD分布(人·日)

Table 9 The value distribution and risk of CRfD before and after cooking

年龄	性别	未考虑加工因子	炒制烹饪加水	微波烹饪中高火炒制	焯水烹饪3min	腌制烹饪10d
2~3岁	男	107.2573	18.1648	16.1315	19.9730	22.7406
	女	111.0397	18.8054	16.7004	20.6773	23.5425
4~6岁	男	109.0132	18.4622	16.3956	20.3000	23.1129
	女	110.3068	18.6813	16.5902	20.5409	23.3871
7~10岁	男	102.0552	17.2838	15.3491	19.0043	21.6376
	女	103.8067	17.5804	15.6125	19.3304	22.0090
11~13岁	男	77.5955	13.1414	11.6704	14.4495	16.4517
	女	76.3528	12.9309	11.4835	14.2181	16.1882
14~17岁	男	64.1080	10.8572	9.6418	11.9379	13.5921
	女	59.3267	10.0474	8.9227	11.0476	12.5784
18~29岁	男	56.6497	9.5940	8.5201	10.5491	12.0108
	女	58.5299	9.9125	8.8029	10.8992	12.4094
30~44岁	男	52.2431	8.8478	7.8574	9.7285	11.0765
	女	57.6998	9.7719	8.6781	10.7446	12.2334
45~59岁	男	55.5826	9.4133	8.3596	10.3504	11.7846
	女	57.3782	9.7174	8.6297	10.6847	12.1653
60~69岁	男	52.2943	8.8564	7.8651	9.7380	11.0874
	女	54.8692	9.2925	8.2523	10.2175	11.6333
70岁以上	男	50.3599	8.5288	7.5741	9.3778	10.6773
	女	50.7058	8.5874	7.6262	9.4422	10.7506

### 3 结 论

研究表明, 通过对豇豆进行实验室模拟毒死蜱浸泡, 再计算4种烹饪方式后得到烹饪因子。4种烹饪方式对豇豆中的毒死蜱均有去除效果, 其中微波烹饪去除效果最好。

未引入加工因子时, 通过针对不同性别不同人群对烹饪前后豇豆中的毒死蜱进行慢性膳食暴露评估研究, 其中2~3岁、4~6岁、7~10岁男性和女性的CRfD范围在102.0552~111.0397, 均大于100, 属于高风险暴露的高危人群。引入加工因子时, 研究表明: 不同人群不同性别的炒制烹饪CRfD范围均小于100, 处于可接受水平。

比较未引入和引入的加工因子时, 慢性膳食暴露评估研究表明: 两种评估结果均显示女性风险较男性高, 2~3岁组人群最为敏感, 属高危人群。且未引入加工因子时的CRfD是引入加工因子时的5~10倍, 表明引入加工因子后豇豆中的毒死蜱慢性膳食暴露评估的结果更接近实际值。经清洗后不同烹饪方式对豇豆中的毒死蜱均有去除效果, 微波烹饪效果最好。此结果对指导消费者的膳食安全更具实际意义。

### 参考文献:

- [1] 郝征红, 王怀友. 农药残留-影响食品安全的一大关键问题[J]. 2006(9): 13-17.
- [2] 姜云珍, 刘韬, 秦龙. 毒死蜱国内发展现状及其对农作物害虫的防治效果[J]. 杭州化工, 2010, 40(3): 1-4.
- [3] CALDAS E D, TRESSOU J, BOON P E. Dietary exposure of Brazilian consumers to dithiocarbamate pesticides: a probabilistic approach[J]. Food and Chemical Toxicology, 2006, 44: 1562-15711.
- [4] 肖颖, 李勇. 欧洲食品安全: 食物和膳食中化学物的危险性评估[M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2005.
- [5] SOLIMAN K M. Changes in concentration of pesticide residues in potatoes during washing and homepreparation[J]. Food Chem Toxicol, 2001, 39(2): 887-891.
- [6] 陈晨, 李耘, 陈志军. 美国EPA农药残留急性膳食暴露评估方法[J]. 中国农学通报, 2009, 25(16): 69-74.
- [7] BYRNE S L, PINKERTON S L. The effect of cooking on chlorpyrifos and 3,5,6-trichloro-2-pyridinol levels in chlorpyrifos-fortified produce for use in refining dietary exposure[J]. Agric Food Chem, 2004, 52: 7567-7573.
- [8] 袁玉伟, 张志恒, 叶志华. 加工操作对甘蓝中农药残留影响及其膳食暴露评估[J]. 中国食品学报, 2009(6): 175-182.
- [9] 中华人民共和国农业部. NY/T 788—2004农药残留试验准则[S]. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- [10] 王向未, 仇厚援, 陈文学, 等. 不同加工方式对豇豆中毒死蜱残留量的影响[J]. 食品工业科技, 2012(16): 54-60.
- [11] 刘锐. 酸豆角加工工艺的研究[J]. 中国酿造, 2010(1): 143-146.
- [12] US EPA. Guidance for refining anticipated residue estimates for use in acute dietary probabilistic risk assessment[S]. 2000.
- [13] 罗伟. 食品中毒死蜱残留的暴露评估[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010.
- [14] 王峰. 江苏省居民铅、镉膳食暴露评估[D]. 南京: 东南大学, 2010.
- [15] 张志恒, 袁玉伟, 王强. 浙江居民毒死蜱和氯氰菊酯的长期膳食暴露与风险评估[J]. 农药学报, 2010, 12(3): 335-343.
- [16] 孙金芳, 刘沛, 陈炳为, 等. 中国膳食暴露评估非参数概率模型构建[J]. 中华预防医学杂志, 2010(3): 195-198.
- [17] 金水高, 翟凤英, 何宇娜, 等. 中国居民营养与健康状况调查报告之十-2002营养与健康状况数据集[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2008.
- [18] 黄瑰, 潘康标, 沈娟, 等. 5种有机磷农药在10种蔬菜水煮过程中的消解研究[J]. 食品科学, 2010, 31(3): 142-144.