

山东省主产区苹果农药残留水平及累积急性膳食摄入风险评估

兰 丰, 刘传德*, 周先学, 王志新, 鹿泽启, 姚 杰, 柳 璇, 姜 蔚
(山东省烟台市农业科学研究院, 农业部果品质量安全风险评估实验室(烟台), 烟台 265500)

摘 要: **目的** 评估目前山东主要苹果产区的农药残留水平, 为农药残留监管提供科学依据。**方法** 对采自山东苹果主产区的 110 个苹果样品运用现有的标准方法进行 102 种农药残留分析检测, 利用急性参考剂量(acute reference dose, ARfD)和国家估计短期摄入量(international estimated short-term intake, IESTI)公式评估苹果农药累积急性风险。**结果** 山东省苹果共检出 26 种农药残留, 多残留(2 种农残及以上)样品占样品总数的 78%, 所有样品检出农药残留量均未超过规定的最大残留限量值; 检出苹果上禁用农药灭多威和未登记农药噻嗪酮、螺螨酯、杀铃脲; 有机磷类、菊酯类、三唑类和烟碱类农药在山东苹果中累积急性膳食摄入风险(%ARfD 值)分别为 37.7%、7.37%、0.28%和 1.53%。**结论** 山东省苹果农药残留种类较多, 残留水平不高, 有机磷类、菊酯类、三唑类和烟碱类农药累计急性摄入风险较小, 但需重点关注苹果上禁用农药和未登记农药。

关键词: 苹果; 农药; 残留水平; 累积急性风险评估

Residue levels and cumulative acute risk assessment of pesticides in apples of main fruits area in Shandong province

LAN Feng, LIU Chuan-De*, ZHOU Xian-Xue, WANG Zhi-Xin, LU Ze-Qi, YAO Jie,
LIU Xuan, JIANG Wei

(Laboratory of Quality & Safety Risk Assessment for Fruit (Yantai), Ministry of Agricultural, Yantai Academy of Agricultural Science in Shandong Province, Yantai 265500, China)

ABSTRACT: Objective To assess the levels of pesticide residues and provide scientific basis for regulation of pesticide residues in major apple producing areas in Shandong province. **Methods** Residues of 102 pesticides in 110 apples from main fruits areas were detected by standard methods. The method of cumulative acute risk assessment of pesticide in apple was established by acute reference dose (ARfD) and international estimated short-term intake (IESTI). **Results** Many types of pesticide residues (26 kinds) were detected in apples. Multiple residues (2 kinds of pesticides and above) accounted for a higher sample proportion of the total number of samples (78%). All pesticide residues detected in the samples did not exceed the maximum residue limit (MRL). Banned methomyl and unregistered buprofezin, spiroticlofen, and triflumuron pesticides were detected. The values of accumulation acute risk of organophosphate, pyrethroid, triazoles and neonicotinoid

基金项目: 国家果品质量安全风险评估项目(GJFP2015002)、烟台市科技计划项目(2014NC111)

Fund: Supported by National Program of Fruit Product Quality and Safety Risk Assessment and Evaluation(GJFP2015002) and Yantai Science and Technology Project(2014NC111)

*通讯作者: 刘传德, 研究员, 主要研究方向为植物保护和果品质量安全风险评估。E-mail: ytnpcjc888@sina.com

*Corresponding author: LIU Chuan-De, Professor, Yantai Academy of Agricultural Science in Shandong Province, Yantai 265500, China. E-mail: ytnpcjc888@sina.com

pesticides were 37.7%, 7.37%, 0.28% and 1.53%. **Conclusion** Many types of pesticides residue were detected, but the levels were not high. Organophosphate and pyrethroid, triazoles and neonicotinoid pesticides accumulate less risk of acute dietary intake of apples in Shandong, and the likelihood of harm is unlikely. The banned pesticides and unregistered pesticides are needed to focus on.

KEY WORDS: apple; pesticide; residue level; cumulative acute risk assessment

1 引言

随着人们对农产品质量安全日益关注,风险评估工作越来越重要。对农产品质量安全进行风险评估,有利于摸清农产品生产全过程存在的安全隐患,科学地预防和应对农产品质量安全事件的发生。山东省是我国重要的苹果产区,无论从苹果产量还是品牌效应,在我国苹果产业都有着举足轻重的影响力。先前研究表明,农药残留是影响果品质量安全的主要因素^[1,2]。对山东省苹果农药残留进行风险评估,有利于引导消费、强化安全监管和提高果品质量。国外对果品质量安全风险评估研究较早,主要从慢性膳食摄入风险评估、急性膳食摄入风险评估和累积风险评估等角度开展风险评估研究^[3-5]。国内在果品质量安全风险评估方面起步较晚,目前主要集中在单一化合物单一暴露评估^[6,7],对于多种农药组分的联合暴露评估,特别是许多有相同作用机制农药的累积风险评估研究较少,这样会出现评判各自残留量时不会对消费者构成风险,但考虑到累积暴露就可能对健康造成影响的情况^[8]。本文对山东省苹果农药残留水平进行初步评价并从累积暴露的角度开展风险评估,以期明确山东省苹果农药残留水平和累积急性风险状况,为农药残留监管提供科学依据,为相关研究提供有益借鉴。

2 材料与方法

2.1 样品来源

根据山东省各地区苹果产量、种植面积和市场影响力进行布点取样,2013年至2014年连续两年从烟台(栖霞、招远、蓬莱、牟平)、威海(文登、荣成、乳山)、青岛(莱西)、临沂(蒙阴)、淄博(沂源)、聊城(冠县)、潍坊(寿光)7个果品主产区12个县市区抽取110个苹果样品。

2.2 农药残留检测方法

采用现有的标准方法^[9,10]进行102种农药残留检测,具体参数和采用的标准见表1。

2.3 累积性膳食摄入风险评估方法

本文对检出的农药残留状况进行分析,将同一样品中具有相同作用机制的农药分组进行累积急性风险评估。未分组的农药(检出一种或不能划分组别)以最大残留限量值评判风险。

2.3.1 相对强度系数

相对强度系数(relative potency factors, RPF)表示作用机制相同的每组农药中各农药与参考农药比较的相对毒性^[11]。根据检出结果,将涉及到累积暴露急性风险评估的农药分为4组,分别为有机磷类、菊酯类、三唑类、烟碱类^[11-13]。各组中具有最小急性参考剂量(acute reference dose, ARfD)的农药为参考农药,其RPF值为1.0,根据参考农药与其他农药ARfD值的比,计算得出各农药的RPF值^[14]。各农药的ARfD值与RPF值见表2。

2.3.2 参照农药累积当量浓度计算

每组检出的农药浓度乘以相对强度系数(RPF)得出各组相对参照农药的浓度,累加后得到每组参照农药的累积当量浓度^[16],计算公式为:

$$HR = \sum_{i=1}^n C_i \times RPF_i \quad (1)$$

(1)式中 HR 为参考农药的累积当量浓度, mg/kg; C_i 为 i 种农药浓度, mg/kg; RPF_i 为 i 种农药相对参考农药的 RPF 值。

2.3.3 累积急性膳食风险评估

累积急性膳食摄入量是基于 JMPR 通过的生鲜产品农残估计短期摄入量(IESTI)公式(公式2)计算得来^[17,18]。

$$IESTI = \frac{U \times HR \times v + (LP - U) \times HR}{bw} \quad (2)$$

$$\%ARfD = \frac{IESTI}{ARfD} \times 100 \quad (3)$$

表 1 102 种农药参数及采用的标准方法
Table 1 Parameters of 102 kinds of pesticides and the standard methods

参数	采用的标准方法
倍硫磷、丙溴磷、稻丰散、敌百虫、敌敌畏、地虫硫磷、毒死蜱、对硫磷、二嗪磷、伏杀硫磷、甲胺磷、甲拌磷、甲基对硫磷、甲基硫环磷、甲基异柳磷、久效磷、啶硫磷、乐果、磷胺、硫环磷、马拉硫磷、灭线磷、三唑磷、杀螟硫磷、杀扑磷、水胺硫磷、特丁硫磷、辛硫磷、亚胺硫磷、氧乐果、乙酰甲胺磷、蝇毒磷、治螟磷	NY/T 761-2008 ^[9]
滴滴涕、百菌清、氟胺氰菊酯、氟氯氰菊酯、氟氰戊菊酯、腐霉利、甲氰菊酯、联苯菊酯、硫丹、六六六、氯氟氰菊酯、氯菊酯、氯氰菊酯、氰戊菊酯、三氯杀螨醇、三唑酮、五氯硝基苯、溴氰菊酯、乙烯菌核利、异菌脲	NY/T 761-2008 ^[9]
甲萘威、克百威、灭多威、涕灭威、涕灭威砒、涕灭威亚砒、3-羟基克百威、速灭威、异丙威	NY/T 761-2008 ^[9]
矮壮素、多效唑、苯醚甲环唑、吡虫啉、啶螨灵、啉虫脒、杀虫脒、多菌灵、甲基硫菌灵、噻菌灵、抗蚜威、啞霉胺、炔螨特、氟硅唑、抑霉唑、噻螨酮、噻嗪酮、咪鲜胺、戊唑醇、烯唑醇、四螨嗪、烯酰吗啉、啞螨酯、氯唑磷、腈苯唑、腈菌唑、氟虫脲、甲霜灵、灭幼脲、除虫脲、螺螨酯、虫酰肼、氟铃脲、杀铃脲、苯菌灵、甲维盐、丙环唑、噻虫嗪、肟菌酯、霜脲氰	GB/T 20769-2008 ^[10]

(2)式中 U 为苹果单果重, kg, 取 $0.255\text{ kg}^{[19]}$; HR 为最高残留量, mg/kg ; v 为个体之间变异因子, 苹果取 $3^{[19]}$; LP 为大份餐(97.5 百分位点值), mg/kg , 中国居民苹果消费的大份餐为 $0.6931\text{ kg}^{[19]}$; bw 为体重, 按 60 kg 计。

在累积急性膳食风险评估研究中, HR 为每组中参考农药累积当量浓度, 即通过每种农药相对参考农药的 RPF 值将每组农药残留量转化成参考农药的浓度后累加起来。

(3)式用于计算累积急性膳食摄入风险。 $\%ARfD \leq 100\%$ 时, 表示风险可以接受; $\%ARfD > 100\%$ 时, 表示存在急性中毒风险^[20]。

3 结果与分析

3.1 山东省苹果农药残留水平分析

据调研, 苹果实际生产过程中常用农药有 70 余种, 在所抽取的 110 个苹果样品共检出 26 种, 其中杀菌剂 5 种, 杀虫剂 20 种, 生长调节剂 1 种。检出率在 5%以上的农药有 10 种, 以多菌灵、啉虫脒、毒死蜱检出率最高, 分别为 59.1%、33.6%和 28.2%。农药多残留样品(检出 2 种及以上农药残留)约占样品总数 78%。所有检出的农药残留量均未超过规定(或参考)的限量标准值。在检出的 26 种农药中, 灭多威为苹果树上禁用农药, 噻嗪酮、螺螨酯、杀铃脲未在苹果上登记使用^[21]; 螺螨酯、噻螨酮、噻嗪酮、亚胺硫磷和杀扑磷 5 种农药中国尚未制定苹果中的限量标准,

暂参考 CAC 和美国相关标准。具体农药残留水平见表 3。

3.2 累积急性膳食摄入风险评估

累积急性膳食摄入风险评估需将检出农药根据相同的毒性机制或相似的分子结构等因素分组^[23,24]。目前, 常见累积风险评估分组类别有菊酯类、有机磷类、有机氯类、氨基甲酸酯类、三唑类等。由于烟碱类农药, 特别是吡虫啉、啉虫脒、噻虫嗪等对蜜蜂有害^[25], 前期研究主要集中对蜜蜂的风险评估。2013 年欧洲食品安全局(EFSA)开始研究吡虫啉和啉虫脒等烟碱类农药对人体神经毒性的风险评估^[12]。本文将检出的 26 种农药分成了菊酯类、有机磷类、三唑类和烟碱类农药 4 组, 进行累积急性膳食摄入风险评估, 其他未进行归类的单一农药以最大残留限量值(MRL)评定风险情况, 见表 3。将每个样品检出农药进行分组, 利用 RPF 值计算出每组以参考农药表示的累积浓度, 选择各组最高的累积参考农药残留值(HR_i)代入公式(2)计算出估计短期摄入量, 与各组参考农药的 $ARfD$ 值比较, 评估累积急性膳食摄入风险大小。具体情况见表 4。

所有检出的农药以各自的最大残留限量评判时风险系数较小, 但将同类别农药的残留量根据 RPF 值累加后, 以 $\%ARfD$ 评判时, 风险系数会增大。如表 4, 有机磷组三唑磷、毒死蜱、乐果与马拉硫磷残留量分别占各自 MRL 值的 7.5%、32.0%、1.2%和 3.0%, 计算有机磷累积急性摄入风险时, $\%ARfD$ 为 37.7%。

表 2 4 组农药(有机磷、菊酯类、三唑类、烟碱类)各自对应的 ARfD 和 RPF 值
Table 2 The ARfDs and RPFs of organophosphorus, pyrethroids, triazophos and neonicotinoids pesticides

组	农药种类	急性参考剂量 (mg/kg bw)	来源	相对强度系数 (RPF)
有机磷 organophosphorus	毒死蜱	0.1	WHO/2004	0.01
	马拉硫磷	2.0	WHO/2003	0.0005
	三唑磷	0.001	WHO/2002	1.0
	亚胺硫磷	0.2	WHO/2003	0.005
	杀扑磷	0.01	WHO/1997	0.1
	乐果	0.02	WHO/2003	0.05
菊酯类 pyrethroids	氯氟氰菊酯	0.02	WHO/2007	1.0
	氯氰菊酯	0.04	WHO/2006	0.5
	氰戊菊酯	0.2	WHO/2012	0.1
三唑类 triazophos	苯醚甲环唑	0.3	WHO/2007	1.0
	戊唑醇	0.9	WHO/2003	0.33
	啉虫脒	0.1	WHO/2011	1.0
烟碱类 neonicotinoids	吡虫啉	0.4	WHO/2001	0.25
	噻虫嗪	1.0	WHO/2010	0.1

注: 表 2 中急性参考剂量数据来源农药残留联合会议评价数据库^[15]

表 3 苹果中 26 种农药的残留水平
Table 3 Residue levels of 26 pesticides in apples

农药种类	检出次数	检出率 (%)	浓度范围 (mg/kg)	最大残留限量 (mg/kg)
多菌灵 Carbendazim	65	59.1	0.0010-0.17	3.0
啉虫脒 Acetamiprid	37	33.6	0.0050-0.063	0.8
毒死蜱 Chlorpyrifos	31	28.2	0.0016-0.36	1.0
唑螨酯 Fenpyroximate	22	20.0	0.0010-0.021	0.3
吡啶灵 Pyridaben	13	11.8	0.0020-0.054	2.0
吡虫啉 Imidacloprid	12	10.9	0.0028-0.076	0.5
戊唑醇 Tebuconazole	10	9.1	0.0045-0.020	2.0
异菌脲 Iprodione	9	8.2	0.0011-0.024	5.0
氯氟氰菊酯 Cyhalothrin	9	8.2	0.0011-0.043	0.2
螺螨酯 Spirodiclofen	7	6.4	0.0010-0.033	0.8(CAC)
氰戊菊酯 Fenvalerate	5	4.5	0.0043-0.087	1.0
氯氰菊酯 Cypermethrin	4	3.6	0.0024-0.087	2.0
肟菌酯 Trifloxystrobin	2	1.8	0.0010, 0.0062	0.7
多效唑 Paclobutrazol	2	1.8	0.0035, 0.011	0.5
苯醚甲环唑 Difenconazole	2	1.8	0.0032, 0.037	0.5
噻嗪酮 Buprofezin	2	1.8	0.0010, 0.0035	3.0(CAC)
乐果 Dimethoate	2	1.8	0.012, 0.014	1.0
三唑磷 Triazophos	1	0.9	0.021	0.2
噻虫嗪 Thiamethoxam	1	0.9	0.004	0.2(美国)
虫酰肼 Tebufenozide	1	0.9	0.0054	1.0
亚胺硫磷 Phosmet	1	0.9	0.0035	3.0(CAC)
灭多威 Methomyl	1	0.9	0.001	2.0
杀扑磷 Methidathion	1	0.9	0.0015	0.5(CAC)
马拉硫磷 Malathion	1	0.9	0.06	2.0
噻嗪酮 Hexythiazox	1	0.9	0.0020	0.5
杀铃脲 Triflumuron	1	0.9	0.0064	0.1

注: 表 3 中最大残留限量值来源于农药最大残留限量数据库^[22]

表 4 苹果中有机磷、菊酯类、三唑类、烟碱类农药的累积急性摄入风险评估
Table 4 Cumulative acute risk assessment of organophosphorus, pyrethroids, triazophos, and neonicotinoids pesticides in apples

组	检出农药/残留量 (mg/kg)	最大累积当量浓度 (HRt) (mg/kg)	急性膳食摄入量 (IESTI)(mg/kg bw)	急性参考剂量 (ARfD)(mg/kg bw)	%ARfD
有机磷	三唑磷/0.015	0.0188	0.000377	0.001	37.7
	毒死蜱/0.32				
	乐果/0.012				
	马拉硫磷/0.06				
菊酯类	氯氟氰菊酯/0.043	0.0735	0.00147	0.02	7.37
	氰戊菊酯/0.052				
	氯氰菊酯/0.045				
三唑类	苯醚甲环唑/0.037	0.0420	0.000842	0.3	0.28
	戊唑醇/0.015				
烟碱类	吡虫啉/0.054	0.0765	0.00153	0.1	1.53
	啉虫脒/0.063				

注: 表 4 中急性参考剂量数据来源农药残留联席会议评价数据库^[15]

从表 4 看出, 有机磷类、菊酯类、三唑类和烟碱类农药最高累计急性膳食摄入风险值(%ARfD 值)分别为 37.7%、7.37%、0.28%和 1.53%, 均未超过 100%, 表明山东苹果在有机磷类、菊酯类、三唑类和烟碱类农药的累积急性摄入风险较小。由于每个样品中检出同组农药的种类较少, 平均残留量较低, 因此, 计算有机磷、菊酯类、三唑类、烟碱类 4 组农药累积急性膳食摄入量值较低, 均未超过各组参考农药的急性参考剂量(ARfD), 即各组农药的%ARfD<100%, 累积急性膳食摄入风险较小。

4 讨 论

4.1 关于相对强度系数(RPF)

相对强度系数(RPF)是同类农药毒性大小的比较值, 先前是通过研究乙酰胆碱酶活性降低到一定比例所需农药的量或出现副反应所需农药的最小剂量来计算农药的 RPF 值^[5,14,26,27], 也有通过急性参考剂量(ARfD)进行 RPF 值的计算^[11]。急性参考剂量的概念从 1995 年提出后, 经过这些年的发展已经成熟, 能覆盖目前使用的农药(除了一些无需制定 ARfD 值)。对某些尚未进行乙酰胆碱酶活性或副反应试验的农药, 由于缺乏相关数据, 在进行累积急性风险评估时, 就需要从急性参考剂量角度来比较同类农药

的急性毒性大小。本文将山东主产区苹果所检出的农药残留分成了菊酯类、有机磷类、三唑类和新烟碱类 4 组, 利用 ARfD 值计算了这 4 组农药 RPF 值。虽然每组农药涉及的农药种类少, 但该计算 RPF 值的方法在涉及同类别农药多的情况下的累积急性风险评估就显得更加方便, 同时该计算方法也为进行累积急性风险评估相关研究提供了有益途径。

4.2 累积急性膳食摄入风险评估

有害化合物的累积风险评估方法很多, 如危害指数法(hazard index, HI)、偏离指数点(point of departure index, PODI)、联合暴露边界(magin of exposure, MOE)、累积风险指数(cumulative risk index, CRI)等, 同时也建立了很多风险评估模型, 如毒理代谢动力模型(physiologically based toxicokinetics, PBTK)、蒙特卡洛风险评估模型(Monte Carlo risk assessment, MCRA)等^[28]。HI、PODI、MOE、CRI 这几类风险评估方法相类似, 其中 HI 法相比其他方法理解起来相对简单, 应用较其他方法较普遍。PBTK 和 MCRA 模型的建立需要大量的数据和资源以及专业的经验, 并且应用有一定的条件限制, 在一般的风险评估中应用较少。2003 年 FAO 通过了计算生鲜产品国家评估短期摄入量公式。Andréia 等运用该公式评估了苹果、石榴、柿子和桃的累积急性风险^[18]。

在山东省苹果农药累积急性风险评估中,也借鉴该公式计算各组农药累积急性膳食摄入量。此项风险评估研究,单个样品检出的同组农药种类少,因此,只列出每类农药最高累计当量浓度的样品为代表,见表4。如果具有最高累积当量浓度的样品%ARfD值小于100,那么说明所有样品的这类农药累积急性风险不高。目前累积急性风险评估除了以上所研究的同类别农药剂量相加外,还有不同类农药的协同效应相加,虽然研究这类风险评估需要每种农药的暴露量超过一定的参考值(如每日允许摄入量或最大残留限量值),但由于农产品多残留问题和累积风险评估研究的不断深入,不同种类农药协同效应累积风险评估会得到更广泛的关注和研究。此研究中未有农药超过参考值,未研究协同作用的累积风险评估,所研究的同类别农药剂量相加风险评估可以为开展相关研究提供一定的借鉴。

4.3 禁用和未登记使用农药

2014年国家禁用和限用农药中,六六六、滴滴涕等33种农药是禁止生产、销售和使用,甲拌磷、甲基异柳磷等17种农药在蔬菜、果树、茶叶、中草药材上不得使用 and 限制使用。其中,灭多威是禁止在柑橘树、苹果树、茶树和十字花科蔬菜上使用。另外,根据《农药管理条例》的规定,未经批准登记的农药不得生产、销售和使用。对山东省苹果的质量安全风险评估研究过程中检出苹果上禁用农药灭多威和未在苹果上登记使用的农药杀扑磷、亚胺硫磷、噻嗪酮、螺螨酯、杀铃脲,这些农药的检出有可能是实际生产过程中使用了该农药,也有可能是使用了隐性添加该成分的农药,总之这些禁用或不允许使用的农药可能会对苹果的质量安全造成一定的风险,建议加强禁用农药的监测和治理,强化农药登记使用相关管理工作。

5 结 论

通过标准方法对山东省果品主产区苹果农药残留进行了102种农药筛查分析和评价,建立了初步评估苹果中农药累积急性摄入风险方法。山东省果品主产区苹果农药残留检出率较高96.7%,但残留水平不高,均低于规定的最大残留限量值。分别以三唑磷、氯氟氰菊酯、苯醚甲环唑、啉虫脒为参考农药,评估了山东苹果在有机磷、菊酯类、三唑类、新烟碱类农

药的累积急性摄入风险,风险系数%ARfD分别为37.7%、7.37%、0.28%、1.53%,均低于100%,累积急性摄入风险不高。禁用农药灭多威和未登记使用农药噻嗪酮、螺螨酯、杀铃脲对苹果质量会造成一定的风险隐患,应予以重点关注。从农药最大残留限量值和累积急性风险系数来看,山东省果品主产区苹果的农药残留水平不高,累积急性风险系数较小,风险较低。

参考文献

- [1] 梁俊,赵政阳,樊明涛,等. 陕西苹果主产区果实农药残留水平及其评价[J]. 园艺学报, 2007, 34(5): 1123–1128.
Liang J, Zhao ZY, Fan MT, *et al.* Monitoring and evaluation of apple pesticide residues in Shanxi [J]. *Acta Horti Sinica*, 2007, 34(5): 1123–1128.
- [2] 聂继云,丛佩华,杨振锋,等. 中国苹果农药残留研究初报[J]. 中国农学通报, 2005, 21(10): 88–90.
Nie JY, Cong PH, Yang ZF, *et al.* Primary report of apple pesticide residues in China [J]. *Chin Agric Sci Bulletin*, 2005, 21(10): 88–90.
- [3] Drouillet-Pinard P, Boisset M, Periquet A, *et al.* Realistic approach of pesticide residues and French consumer exposure within fruit & vegetable intake [J]. *J Environ Sci Health part B*, 2011, 46(1): 84–91.
- [4] Sohair AGA, Mohsen MA, Mohamed AA, *et al.* Dietary intake of pesticide residues in some Egyptian fruits [J]. *J Appl Sci Res*, 2013, 9(1): 965–973.
- [5] Boon PE, Van der Voet H, Van Raaij MT, *et al.* Cumulative risk assessment of the exposure to organophosphorus and carbamate insecticides in the Dutch diet [J]. *Food Chem Toxicol*, 2008, 46(9): 3090–3098.
- [6] 张志恒,袁玉伟,王强,等. 浙江居民毒死蜱和氯氟菊酯的长期膳食暴露与风险评估[J]. 农药学报, 2010, 12(3): 335–343.
Zhang ZH, Yuan YW, Wang Q, *et al.* On the long-term dietary exposure and its risk assessment of lorpyrifos and cypermethrin for the residents in Zhejiang Province [J]. *Chin J Pest Sci*, 2010, 12(3): 335–343.
- [7] 张志恒,袁玉伟,郑蔚然,等. 三唑磷残留的膳食摄入与风险评估[J]. 农药学报, 2011, 13(5): 485–495.
Zhang ZH, Yuan YW, Zheng WR, *et al.* Dietary intake and its risk assessment of triazophos residue [J]. *Chin J Pest Sci*, 2011, 13(5): 485–495.
- [8] 张磊,李凤琴,刘兆平. 食品中化学物累积风险评估方法及应用[J]. 中国食品卫生杂志, 2011, 23(4): 378–382.

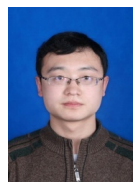
- Zhang L, Li FQ, Liu ZP. Cumulative risk assessment of chemicals in food [J]. *Chin J Food Hyg*, 2011, 23(4): 378–382.
- [9] NY/T 761-2008 蔬菜和水果中有机磷、有机氯、拟除虫菊酯和氨基甲酸酯类农药多残留的测定[S].
NY/T 761-2008 Pesticide multiresidue screen methods for determination of organophosphorus pesticides, organochlorine pesticides, pyrethroid pesticides and carbamate pesticides in vegetables and fruits [S].
- [10] GB/T 20769-2008 水果和蔬菜中 450 种农药及相关化学残留量的测定[S].
GB/T 20769-2008 Determination of 450 kinds of pesticides and related chemicals residues in fruits and vegetables LC-MS-MS method[S].
- [11] Winfried RL, Lisette K, Geert FH. Complex mixtures: Relevance of combined exposure to substances at low dose levels [J]. *Food Chem Toxicol*, 2013, (58): 141–148.
- [12] European Food Safety Authority. Scientific Opinion: Scientific Opinion on the developmental neurotoxicity potential of acetamiprid and imidacloprid [J]. *EFSA Journal*, 2013, 11(12): 3471.
- [13] European Food Safety Authority. Scientific/Technical Report submitted to EFSA [EB/OL]. [2010-01-15]. <http://www.efsa.europa.eu/en/supporting/doc/40e.pdf>, [2015-04-10].
- [14] [14] Environmental Protection Agency. Environmental Protection Agency Office of Pesticide Programs [EB/OL]. [2011-10-04]. <http://www.regulations.gov/#!documentDetail;D=EPA-HQ-OPP-2011-0746-0003>, [2015-04-10].
- [15] World Health Organization. Inventory of evaluations performed by the Joint Meeting on Pesticide Residues(JMPR) [DB/OL]. <http://apps.who.int/pesticide-residues-jmpr-database>. [2015-04-10]
- [16] 赵敏娴, 王灿楠, 李亭亭, 等. 江苏居民有机磷农药膳食累积暴露急性风险评估[J]. *卫生研究*, 2013, 5(42): 844–848.
Zhao MX, Wang CN, Li TT, *et al.* Acute risk assessment of cumulative dietary exposure to organophosphorus pesticide among people in Jiangsu province [J]. *J Hyg Res*, 2013, 5(42): 844–848.
- [17] Food and Agriculture Organization of the United Nations(FAO). Report of the Joint Meeting of the FAO panel of experts on pesticide residues in food and the environment and the WHO expert group on pesticide residues [DB/OL]. [2003-9-24]. http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests_Pesticides/JMPR/Reports_1991-2006/Report_2003.pdf [2015-4-10].
- [18] Andréia NOJ, Denise CM, Fernanda CSG, *et al.* Pesticide residues in cashew apple, guava, kaki and peach: GC- μ ECD, GC-FPD and LC-MS/MS multiresidue method validation, analysis and cumulative acute risk assessment [J]. *Food Chem*, 2014, (164): 195–204.
- [19] 聂继云, 李志霞, 刘传德, 等. 苹果农药残留风险评估[J]. *中国农业科学*, 2014, 47(18): 3655–3667.
Nie JY, Li ZX, Liu CD, *et al.* Risk assessment of pesticide residues in apples [J]. *Sci Agric Sinica*, 2014, 47(18): 3655–3667.
- [20] Łozowicka B, Jankowska M, Kaczyński P. Pesticide residues in Brassica vegetables and exposure assessment of consumers [J]. *Food Control*, 2012, 2(25): 561–575.
- [21] 中华人民共和国农业部农药检定所. 中国农业信息网[DB/OL]. <http://www.chinapesticide.gov.cn/service/zhcx/yxcfx.html>. [2015-4-10]
Institute for the Control of Agrochemicals, Ministry of Agriculture, People's Republic of China. China Pesticide Information Network [DB/OL]. <http://www.chinapesticide.gov.cn/service/zhcx/yxcfx.html>. [2015-4-10].
- [22] 中华人民共和国农业部农药检定所. 农药最大残留限量数据库 [DB/OL]. <http://202.127.42.84/tbt-sps/mrlsdb/mrlsdb.do>. [2015-4-10]
Institute for the Control of Agrochemicals, Ministry of Agriculture, People's Republic of China. The database of the maximum pesticide residue limits[DB/OL]. <http://202.127.42.84/tbt-sps/mrlsdb/mrlsdb.do>. [2015-4-10]
- [23] Food Standard Agency. Review of the Risk Assessment of Mixtures of Pesticides and Similar Substances [EB/OL]. [2002-9]. <http://cot.food.gov.uk/sites/default/files/cot/reportindexed.pdf>. [2015-4-10]
- [24] European Food Safety Authority. Cumulative Risk Assessment of Pesticides to Human Health: The Way Forward. European Food Safety Authority Scientific Colloquium 7, Summary report[EB/OL]. [2006-11-29]. <http://www.efsa.europa.eu/en/supporting/doc/colloquiapesticides.pdf>. [2015-4-10]
- [25] European Food Safety Authority. Scientific services to support EFSA systematic reviews: Lot 5 Systematic literature review on the neonicotinoids (namely active substances clothianidin, thiamethoxam and imidacloprid) and the risks to bees[EB/OL]. [2013-3]. <http://www.efsa.europa.eu/en/supporting/doc/756e.pdf> [2015-4-10].
- [26] Environmental Protection Agency. EPA's Points of Departure and Revised Relative Potency Factors for the Cumulative Risk Assessment of the Organophosphate Pesticides [EB/OL]. [2002-4-17]. <http://www.epa.gov/pesticides/cumulative/pr-a-op/>

rpf_final.htm [2015-4-10].

- [27] Environmental Protection Agency. Revised organophosphorous pesticides cumulative risk assessment. [EB/OL]. [2002-6-10]. <http://www.epa.gov/pesticides/cumulative/rra-op/> [2015-4-10].
- [28] Denis AS, Ute H. Considering the cumulative risk of mixtures of chemicals-A challenge for policy makers [J]. Sarig Hansen Environ Health, 2012, 11(suppl 1): s18.

(责任编辑: 杨翠娜)

作者简介



兰 丰, 硕士, 助理农艺师, 主要研究方向为农药残留检测和果品质量安全风险评估。

E-mail: lanfeng9527@163.com



刘传德, 本科, 研究员, 主要研究方向为植物保护和果品质量安全风险评估。

E-mail: ytnpcjc888@sina.com