

桃中农药残留分析及膳食暴露评估研究

李海飞, 聂继云*, 徐国锋, 李静, 沈友明, 匡立学, 闫震

(中国农业科学院果树研究所, 农业农村部果品及苗木质量监督检验测试中心(兴城), 辽宁 兴城 125100)

摘要: 为明确并量化食用桃途径的农药膳食摄入风险水平, 通过对19个桃主产区采集的98份样品进行农药残留检测, 对桃中的农药残留急/慢性膳食摄入风险进行评估, 并借鉴英国兽药残留委员会兽药残留风险排序矩阵进行农药和样品风险排序。结果在桃中检出了38种农药残留, 98个样品的检出率为95.9%, 检出的农药含量为0.007 4~3.399 3 mg/kg; 检出农药的慢性膳食摄入风险(% ADI)和急性膳食摄入风险(% ARfD)的平均值分别为0.89%和11.09%, 风险均低于100%, 不会对人体产生慢性或急性风险; 风险排序结果表明桃果品中氟虫腈、硫丹、灭多威、丁硫克百威、毒死蜱、联苯菊酯为6种为高风险农药, 应在生产和质量安全监管中予以重点关注。该文为桃安全消费、农药残留监管和农药最大残留限量(MRLs)制修订提供了科学依据。

关键词: 桃; 农药残留; 膳食暴露; 最大残留限量

中图分类号: O657.63 文献标识码: A 文章编号: 1004-4957(2019)09-1066-07

Analysis of Pesticide Residues in Peaches and Their Dietary Exposure Risk Assessments

LI Hai-fei, NIE Ji-yun*, XU Guo-feng, LI Jing, SHEN You-ming, KUANG Li-xue, YAN Zhen
(Institute of Pomology of Chinese Academy of Agricultural Sciences; Quality Inspection and Test Center for Fruit and Nursery Stocks, Ministry of Agriculture and Rural Affairs(Xingcheng), Xingcheng 125100, China)

Abstract: In order to systemically make sure and quantify the dietary intake of pesticide residues in peaches, 98 peach samples from 19 main producing areas in China were detected. Chronic or acute dietary intake risk of pesticide residues in these samples were assessed by ADI and ARfD, respectively, and the Matrix Ranking developed by the Veterinary Residues Committee of the United Kingdom was referred to rank the risk of pesticides and peach samples. Results showed that 38 pesticides in 98 peach samples were detected with a detection rate of 95.9% and pesticides contents of 0.007 4 – 3.399 3 mg/kg. Only 4 peach samples contained residues above the MRLs. For 38 pesticides with detectable residues, their % ADI and % ARfD averages were 0.89% and 11.9%, respectively, far below 100%, indicating that there existed very little risk for these pesticide residues in peaches to human health. The pesticides in peach samples ranked by risk index showed that fipronil, endosulfan, methomyl, carbosulfan, chlorpyrifos and bifenthrin had high pesticide residue risk which should be focused on in the production and the quality and safety supervision. This study provides a scientific basis for peach consumption, peach pesticide residue supervision and establishment of maximum residue limits(MRLs) for pesticides in peach.

Key words: peach; pesticide residue; risk assessment; maximum residue limit

桃(*Prunus persica*(L.) Batsch)属蔷薇科李属桃亚属, 果肉细腻多汁, 味美芳香, 营养丰富, 广为人所喜爱, 2016年在我国的种植面积和产量分别达到851.7千公顷和1428.9万吨, 占全国水果栽培面积的6.6%, 水果产量的7.9%^[1]。使用化学农药是桃生产过程中病虫害防治的重要手段, 据2019年中国农药信息网登记信息, 登记在桃上使用的农药有34种, 其中包括12种杀虫剂和14种杀菌剂。但《小品种果品未登记农药使用调查及产品安全性评估》项目调研结果显示, 桃生产中使用的农药达40多种, 不规范用药现象普遍。开展桃农药残留分析评估, 明确桃农药残留状况, 可为桃安全生产、

收稿日期: 2019-05-08; 修回日期: 2019-06-09

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFD0201207); 国家农产品质量安全风险评估重大专项(GJFP201600301)

* 通讯作者: 聂继云, 博士, 研究员, 研究方向: 果品质量安全, E-mail: jiyunnie@163.com

健康消费、桃农药残留监管及桃中最大农药残留量制修订提供基础数据。

国外水果农药残留风险评估研究开展较早,已有不少报道^[2-5]。国内水果农药残留风险评估已受到重视,也有一些报道^[6-10]。就桃而言,针对全国主产区的、系统的农药残留风险评估尚未见报道。膳食暴露风险评估是风险评估的重要组成部分,也是膳食安全性的衡量指标。在评估技术方面,一般采用慢性膳食摄入风险(% ADI)进行慢性风险的计算,采用急性膳食摄入风险(% ARfD)作为急性风险值进行计算,也有采用食品安全指数(IFS)进行评估的报道^[7,9,11]。本研究通过对全国产区桃中主要农药残留情况以及膳食暴露风险开展研究,同时借鉴英国兽药残留委员会兽药残留风险排序矩阵^[12]对桃中残留农药的风险进行排序,旨在明确全国主产区桃农药残留与风险状况,确定需重点关注的农药种类,探明现行农药最大残留限量的适宜性,为合理引导消费及桃中农药残留监管提供有益借鉴。

1 材料与方法

1.1 基地调研及样品采集

通过在辽宁、河北、陕西、河南、山东、北京、江苏7个桃主产省的主产县(市)的实地调研发现,桃生产过程中的主要病虫害为穿孔病、褐腐病、炭疽病、流胶病、食心虫、蚜虫、红蜘蛛、介壳虫等。在病虫害防治上,主要以化学农药为主,且使用农药种类较多(大约有40多种)。由于气候环境的影响,果园病虫害危害情况差别很大,导致用药频率差异较大,基本上6~7月喷3~4次;8~9月喷6~7次。

在7个桃主产省选取19个重点县采集98份样品,每个重点县选取5~6个代表性果园,每个果园采1份桃样品。样品采集方法参照《新鲜水果和蔬菜取样方法》(GB/T 8855-2008)^[13]。

1.2 农药残留检测与超标判定

111种常用及禁用农药残留采用标准方法^[14-15]进行检测。农药残留检测数据在检出限(LOD)以下的,用1/2LOD代替^[16],采用《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》(GB 2763-2016)^[17]方法判定样品中农药残留是否超标。

1.3 慢性膳食摄入风险的计算

根据中国桃产量(1 428.9万吨)^[1](其中鲜食约占87%^[18],出口桃9.6万吨^[19],贮藏运输损耗率8%^[20],集中消费天数150 d^[21])折算出我国居民日均桃消费量为0.058 kg。以公式(1)计算各农药的慢性膳食摄入风险(% ADI)。 $\% ADI$ 越小风险越小,当 $\% ADI \leq 100\%$ 时,表示风险可以接受;反之,当 $\% ADI > 100\%$ 时,表示有不可接受的风险。

$$\% ADI = \frac{STMR \times 0.058}{bw} / ADI \times 100\% \quad (1)$$

式中,STMR为规范试验残留中值,取平均残留值^[8](mg/kg);0.058为居民日均桃消费量(kg);ADI为每日允许摄入量^[17](mg/kg·bw);bw为体重,按60 kg计^[22]。

1.4 急性膳食摄入风险的计算

由于缺少我国居民桃消费的大份餐(LP)数据,参考我国近邻日本居民桃消费的大份餐数据^[23]进行计算(LP为0.306 0 kg,桃单果重为0.255 0 kg,桃子个体之间变异因子(ν)为3^[10]),采用公式(2)计算各农药的估计短期摄入量^[22]。通过公式(3)和(4)分别计算各农药的急性膳食摄入风险(% ARfD)和安全界限(SM)^[8]。 $\% ARfD$ 越大风险越大,当 $\% ARfD > 100\%$ 时,表示有不可接受的风险;反之,当 $\% ARfD \leq 100\%$ 时,表示风险可以接受。

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

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

$$SM = \frac{ARfD \times bw}{U \times \nu + LP - U} \quad (4)$$

式(2)~(4)中, ν 为变异因子;ESTI、U、LP分别为估计短期摄入量(kg)、单果重量(kg)、大份餐(kg);HR为最高残留量(mg/kg);ARfD为急性参考剂量(mg/kg·bw)。

1.5 最大残留限量估计值的计算

为保护消费者,理论最大日摄入量^[8,22]应不大于每日允许摄入量^[22]。据此导出最大残留限量估计值(eMRL, kg)的计算公式:

$$eMRL = \frac{ADI \times bw}{F} \quad (5)$$

式中, F 为桃日消费量,按照最大风险原则,取大份餐(LP)值(kg)。

1.6 风险排序

借鉴英国兽药残留委员会兽药残留风险排序矩阵^[12],用毒性指标代替药性指标,膳食比例(桃占居民总膳食的百分率)以及农药毒效(即 ADI 值)、使用频率、高暴露人群、残留水平 5 项指标均采用原赋值标准^[7],各指标的赋值标准见表 1。毒性采用急性经口毒性,根据经口半数致死量(LD₅₀)分为剧毒、高毒、中毒和低毒 4 类,各农药 LD₅₀从中国农药信息网查得,ADI 值从国家标准^[17]查得,农药使用频率(FOD)按公式(6)计算,样品中各农药的残留风险得分(S)采用公式(7)^[12]计算。各农药的残留风险得分以该农药在所有样品中的残留风险得分的平均值计,该值越高,残留风险越大。桃样品的农药残留风险用风险指数排序,该指数越大,风险越大。风险指数(Risk index, RI)按公式(8)计算。

$$FOD = T/P \times 100 \quad (6)$$

$$S = (A + B) \times (C + D + E + F) \quad (7)$$

$$RI = \sum_{i=1}^n S - TS_0 \quad (8)$$

式(6)~(8)中, P 为果实发育日数(桃从开花到果实成熟所经历的时间, d); T 为果实发育过程中使用该农药的次数; A 为毒性得分; B 为毒效得分; C 为桃膳食比例得分; D 为农药使用频率得分; E 为高暴露人群得分; F 为残留水平得分; n 为检出的农药种类; TS_0 为 n 种农药均未检出的样品的残留风险得分,由公式(7)算出 n 种农药各自的残留风险得分后求和得到。

表 1 桃农药残留风险排序指标得分赋值标准
Table 1 Scoring criteria for risk ranking index of pesticide residue in peaches

Indicators	Index value	Score	Indicators	Index value	Score
Toxicity	低毒	2	Use frequency (%)	<2.5	0
	中毒	3		2.5~20	1
	高毒	4		20~50	2
	剧毒	5		50~100	3
Potency (mg/kg)	$\geq 1 \times 10^{-2}$	0	High exposure population	无	0
	$1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-2}$	1		不太可能	1
	$1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-4}$	2		很可能	2
	$< 1 \times 10^{-6}$	3		有或无相关数据	3
Diet ratio (%)	<2.5	0	Residual level (mg/kg)	未检出	1
	2.5~20	1		<1 MRL	2
	20~50	2		≥ 1 MRL	3
	50~100	3		≥ 10 MRL	4

2 结果与分析

2.1 农药残留水平分析

在 98 个桃样品中,95.9% 的样品检出了农药残留,共检出农药 38 种,检出含量为 0.007 4~3.399 3 mg/kg(表 2)。其中,25 种农药的检出率在 5% 以上,且以多菌灵、吡虫啉、啶虫脒、苯醚甲环唑和哒螨灵的检出率较高,分别为 64.3%、42.7%、37.8%、36.7% 和 32.6%。检出的 38 种农药中,吡虫啉、哒螨灵、螺螨酯、毒死蜱等 23 种农药尚未制定最大残留限量。根据我国制定的最大残留限量,有 4 个样品农药残留超标(超标农药为多菌灵、氟硅唑和辛硫磷),超标率 4.1%。检出的 38 种农药中,氟虫腈为禁用农药,吡虫啉、苯醚甲环唑、腈苯唑、毒死蜱、灭幼脲、氯氰菊酯、氰戊菊酯、阿维菌素 8 种农药在桃上有登记,其中吡虫啉、苯醚甲环唑和腈苯唑 3 种农药以单剂形式登记,其余 5 种农药则以混配剂的形式登记,剩余 30 种农药均未在桃上登记。在 98 个桃样品中,多残留现象普遍存在,平均每个样品检出农药 3.8 种,其中检出 1~2 种农药的样品占 12.2%,检出 3~5 种农药的样品占

46.9% , 检出 6~10 种农药的样品占 31.6% 。检出率在 30% 以上的农药主要有苯醚甲环唑、多菌灵和吡虫啉、哒螨灵、啉虫脒 5 种, 其检出率高的原因是桃生产过程中的主要病虫害为穿孔病、褐腐病、炭疽病、流胶病、食心虫、蚜虫、红蜘蛛、介壳虫等, 而苯醚甲环唑和多菌灵主要用来防治褐腐病、缩叶病、炭疽病, 吡虫啉、哒螨灵、啉虫脒多用以防治叶螨类害虫、蚜虫、红蜘蛛、潜叶蛾等。

表 2 桃中 38 种农药残留水平
Table 2 Residue levels of 38 pesticides in peaches

Pesticide	Toxicity	Maximum residue limit (mg/kg)	Sample with detectable residue	Detectable rate (%)	Residue leve(mg/kg)
Abamectin(阿维菌素)	低毒	-	4	4.1	0.010 1~0.080 1
Difenoconazole(苯醚甲环唑)	低毒	0.5	36	36.7	0.011 5~0.300 7
Imidacloprid(吡虫啉)	低毒	-	42	42.7	0.020 5~0.396 0
Propiconazol(丙环唑)	中毒	-	2	2.0	0.009 5, 0.018 7
Profenofos(丙溴磷)	中毒	-	5	5.1	0.125 3~0.280 5
Diflubenzuron(除虫脲)	低毒	-	1	1.0	0.027 3
Pyridaben(哒螨灵)	低毒	-	32	32.6	0.009 0~0.296 5
Carbosulfan(丁硫克百威)	中毒	-	5	5.1	0.056 1~0.560 2
Acetamiprid(啉虫脒)	低毒	2	37	37.8	0.011 8~0.374 4
Chlorpyrifos(毒死蜱)	中毒	-	27	27.6	0.032 2~0.842 5
Carbendazim(多菌灵)	低毒	2	63	64.3	0.009 7~3.399 3
Fipronil(氟虫腈)	中毒	0.02	2	2.0	0.010 3, 0.012 6
Flusilazole(氟硅唑)	低毒	0.2	5	5.1	0.033 3~1.015 8
Flucythrinate(氟氰戊菊酯)	中毒	-	6	6.1	0.015 4~0.067 9
Procymidone(腐霉利)	低毒	-	5	5.1	0.068 6~0.386 8
Thiophanate-methyl(甲基硫菌灵)	低毒	-	5	5.1	0.025 0~0.688 2
Fenpropathrin(甲氰菊酯)	中毒	5	2	2.0	0.106 7, 0.422 4
Emamectin benzoate(甲维盐)	低毒	-	9	9.2	0.010 7~0.026 3
Fenbuconazole(腈苯唑)	低毒	0.5	3	3.1	0.011 0~0.085 4
Bifenthrin(联苯菊酯)	中毒	-	8	8.2	0.011 6~0.055 1
Endosulfan(硫丹)	剧毒	-	10	10.2	0.010 1~0.085 0
Spirodiclofen(螺螨酯)	低毒	-	29	29.6	0.007 4~0.113 3
Cyhalothrin(氯氟氰菊酯)	低毒	0.5	26	26.5	0.012 7~0.182 7
Cypermethrin(氯氰菊酯)	中毒	1	15	15.3	0.023 2~0.252 2
Prochloraz(咪鲜胺)	低毒	-	12	12.2	0.013 7~1.293 8
Pyri methanil(啞霉胺)	低毒	4	13	13.3	0.010 9~0.107 5
Methomyl(灭多威)	高毒	-	1	1.0	0.044 4
Chlorbenzuron(灭幼脲)	低毒	-	26	26.5	0.011 1~1.880 2
Fenvalerate(氰戊菊酯)	中毒	1	16	16.3	0.010 6~0.116 5
Propargite(炔螨特)	低毒	-	8	8.2	0.031 4~1.293 8
Buprofezin(噻嗪酮)	低毒	-	10	10.2	0.010 7~0.560 2
Triflumuron(杀铃脲)	低毒	-	2	2.0	0.145 4, 0.188 9
Cymoxanil(霜脲氰)	低毒	-	2	2.0	0.063 3, 0.089 6
Clofentezine(四螨嗪)	低毒	0.5	1	1.0	0.016 2
Tebuconazole(戊唑醇)	低毒	2	11	11.2	0.008 0~0.337 6
Dimethomorph(烯啶吗啉)	低毒	-	1	1.0	0.196 6
Diniconazole(烯唑醇)	低毒	-	1	1.0	0.077 4
Phoxim(辛硫磷)	低毒	0.05	4	4.1	0.027 5~0.069 8

2.2 桃中农药残留慢性膳食摄入风险与急性膳食摄入风险

根据农药毒理学数据(% ADI 值、% ARfD 值)、残留数据和产品消费数据, 对检出的 38 种农药进行慢性膳食摄入风险评估和急性膳食摄入风险评估, 评估结果见表 3。从表 3 可见, 检出的 38 种农药的慢性膳食摄入风险(% ADI) 为 0.02%~4.39%, 均低于 100%, 其平均值为 0.89%。其中, 氟虫腈的 % ADI 最高, 为 4.39%。27 种农药的 % ADI 在 0.02%~1.00% 之间, 占 71.1%, 10 种农药的 % ADI 在 1.00%~3.58% 之间, 占 38.0%。表明我国桃农药残留慢性膳食摄入风险很低。

根据世界卫生组织数据库, 除炔螨特、除虫脲、啞霉胺和四螨嗪 4 种农药的急性参考计量 ARfD 信息为“不需要”, 氟氰戊菊酯、甲基硫菌灵、烯唑醇、哒螨灵、辛硫磷、阿维菌素、灭幼脲、杀铃脲、螺螨酯和甲维盐 10 种农药无 ARfD 信息外, 其余 24 种农药的 ARfD 信息见表 3。从表 3 可知, 24 种农

药的急性膳食摄入风险均低于 100%，其范围为 0.08%~69.07%，平均值为 11.09%。其中，氟硅唑、多菌灵、丁硫克百威、甲氰菊酯、咪鲜胺、氯氟氰菊酯和毒死蜱 7 种农药的% ARfD 超过 10%，分别为 69.07%、46.23%、38.09%、19.15%、17.60%、12.42% 和 11.46%，氯氰菊酯、联苯菊酯、硫丹、氟虫腈、腐霉利、啉虫脒 6 种农药的% ARfD 介于 5%~10% 之间，其余 11 种农药的% ARfD 均小于 5%。这表明我国桃农药残留急性膳食摄入风险是可以接受的。从表 3 最高残留量和安全界限值(SM)可知，各农药的最高残留量均远小于安全界限，进一步证实这些农药的急性膳食摄入风险是可接受的。

表 3 桃中农药残留慢性风险评估和急性风险评估
Table 3 Chronic risk assessment and acute risk assessment for pesticide residues

Pesticide	Chronic risk assessment				Acute risk assessment			
	Acceptable daily intake (mg/kg · bw)	Average residue (mg/kg)	Percentage of ADI (%)	Highest residue (mg/kg)	Acute reference dose (mg/kg · bw)	Estimated short-term intake (mg/kg)	Percentage of ARfD (%)	Safety margin (mg/kg)
Abamectin(阿维菌素)	0.002	0.034 9	1.34	0.080 1	—	0.001 1	—	—
Difenoconazole(苯醚甲环唑)	0.01	0.063 5	0.49	0.300 7	0.3	0.004 1	1.36	22.06
Imidacloprid(吡虫啉)	0.06	0.084 2	0.11	0.396 0	0.4	0.005 4	1.35	29.41
Propiconazole(丙环唑)	0.07	0.014 1	0.02	0.018 7	0.3	0.000 3	0.08	22.06
Profenofos(丙溴磷)	0.03	0.189 0	0.48	0.280 5	1	0.003 8	0.38	73.53
Diflubenzuron(除虫脲)	0.02	0.027 3	0.10	0.027 3	No need	0.000 4	—	—
Pyridaben(啉虫脒)	0.01	0.064 0	0.49	0.296 5	—	0.004 0	—	—
Carbosulfan(丁硫克百威)	0.01	0.210 9	1.62	0.560 2	0.02	0.007 6	38.09	1.47
Acetamiprid(啉虫脒)	0.07	0.075 2	0.08	0.374 4	0.1	0.005 1	5.09	7.35
Chlorpyrifos(毒死蜱)	0.01	0.228 1	1.75	0.842 5	0.1	0.011 5	11.46	7.35
Carbendazim(多菌灵)	0.03	0.264 5	0.68	3.399 3	0.1	0.046 2	46.23	7.35
Fipronil(氟虫腈)	0.000 2	0.011 5	4.39	0.012 6	0.003	0.000 2	5.71	0.22
Flusilazole(氟硅唑)	0.007	0.313 1	3.43	1.015 8	0.02	0.013 8	69.07	1.47
Flucythrinate(氟氰戊菊酯)	0.02	0.039 6	0.15	0.067 9	—	0.000 9	—	—
Procymidone(腐霉利)	0.1	0.237 8	0.18	0.386 8	0.1	0.005 3	5.26	7.35
Thiophanate-methyl(甲基硫菌灵)	0.08	0.343 0	0.33	0.688 2	—	0.009 4	—	—
Fenpropathrin(甲氰菊酯)	0.03	0.264 6	0.68	0.422 4	0.03	0.005 7	19.15	2.21
Emamectin benzoate(甲维盐)	0.000 5	0.015 0	2.30	0.026 3	—	0.000 4	—	—
Fenbuconazole(腈苯唑)	0.03	0.040 4	0.10	0.085 4	0.2	0.001 2	0.58	14.71
Bifenthrin(联苯菊酯)	0.01	0.030 4	0.23	0.055 1	0.01	0.000 7	7.49	0.74
Endosulfan(硫丹)	0.006	0.047 2	0.60	0.085 0	0.02	0.001 2	5.78	1.47
Spirodiclofen(螺螨酯)	0.01	0.043 2	0.33	0.113 3	—	0.001 5	—	—
Cyhalothrin(氯氟氰菊酯)	0.02	0.057 5	0.22	0.182 7	0.02	0.002 5	12.42	1.47
Cypermethrin(氯氰菊酯)	0.02	0.087 7	0.34	0.252 2	0.04	0.003 4	8.58	2.94
Prochloraz(咪鲜胺)	0.01	0.297 4	2.28	1.293 8	0.1	0.017 6	17.60	7.35
Pyrimethanil(啞霉胺)	0.2	0.049 0	0.02	0.107 5	No need	0.001 5	—	—
Methomyl(灭多威)	0.02	0.044 4	0.17	0.044 4	0.02	0.000 6	3.02	1.47
Chlorbenzuron(灭幼脲)	1.25	0.299 6	0.02	1.880 2	—	0.025 6	—	—
Fenvalerate(氰戊菊酯)	0.02	0.046 3	0.18	0.116 5	0.2	0.001 6	0.79	14.71
Propargite(炔螨特)	0.01	0.424 4	3.25	1.293 8	No need	0.017 6	—	—
Buprofezin(噻嗪酮)	0.009	0.122 0	1.04	0.560 2	0.5	0.007 6	1.52	36.76
Triflumuron(杀铃脲)	0.014	0.167 2	0.92	0.188 9	—	0.002 6	—	—
Cymoxanil(霜脲氰)	0.013	0.076 5	0.45	0.089 6	0.04	0.0012	3.05	2.94
Clofentezine(四螨嗪)	0.02	0.016 2	0.06	0.016 2	No need	0.000 2	—	—
Tebuconazole(戊唑醇)	0.03	0.067 6	0.17	0.337 6	0.3	0.004 6	1.53	22.06
Dimethomorph(烯啶吡啶)	0.2	0.196 6	0.08	0.196 6	0.6	0.002 7	0.45	44.12
Diniconazole(啞唑醇)	0.005	0.077 4	1.19	0.077 4	—	0.001 1	—	—
Phoxim(辛硫磷)	0.001	0.046 7	3.58	0.069 8	—	0.000 9	—	—

2.3 农药残留风险排序

根据我国桃产量、鲜食量、出桃量、贮藏运输损耗率^[1,18-20]以及我国居民食物摄入量^[7]推断，我国居民桃摄入量占总膳食的比例为 13%~15%，由表 1 确定桃膳食比例得分为 1。根据农药合理使用国家标准以及未登记农药在其他果树上的使用次数，结合中晚熟桃果实发育期 120~130 d^[11]计算各农药的使用频率，并依据表 1 进行赋值。虽然我国不同人群之间水果消费存在差异，但并没有可以用来判

定存在高暴露人群的相关数据，基于风险评估的目的，取高暴露人群得分(E)为3，以公式(6)计算风险因子和样品的风险得分，对样品、产地和农药进行风险排序。38种农药的残留风险得分见图1。根据残留得分高低，将38种农药分为3类，第一类为高风险农药，风险得分均大于20%，有硫丹、丁硫克百威、毒死蜱、灭多威和氟虫腈5种农药；第二类为中风险农药，风险得分分为15%~20%，有苯醚甲环唑、咪鲜胺、啶虫脒、哒螨灵、螺螨酯等21种农药；第三类为低风险农药，风险得分均小于15%，有多菌灵、啞霉胺、戊唑醇、甲基硫菌灵、腈苯唑、烯酰吗啉、除虫脲、吡虫啉、灭幼脲、腐霉利、杀铃脲和四螨嗪12种农药。用公式(8)计算出98个样品各自农药残留风险指数，根据风险指数得分高低将样品分为高风险($RI \geq 20$)、中等风险($10 \leq RI < 20$)、低风险($5 \leq RI < 10$)和极低风险($RI < 5$)4类。98个桃样品的农药残留风险指数分布结果为，桃极低风险、低风险、中等风险和高风险样品比例分别占17.3%、24.0%、58.7%和30.7%。针对桃中38种农药风险排序结果，桃中氟虫腈、硫丹、灭多威、丁硫克百威、毒死蜱、联苯菊酯6种为高风险农药，在生产和质量安全监管中应予以重点关注。

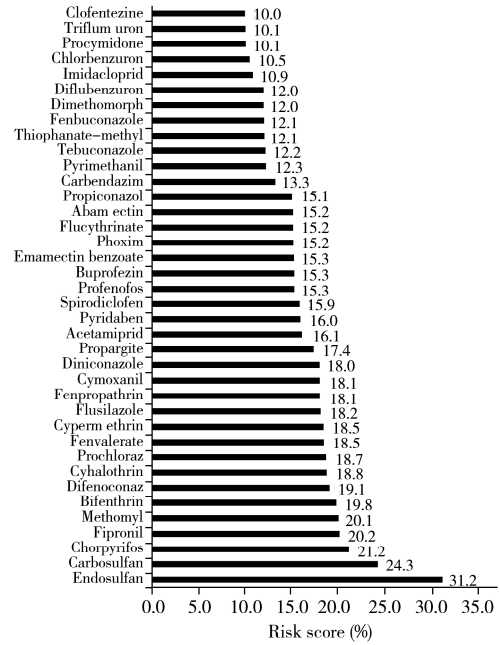


图1 桃中38种农药的残留风险排序
Fig. 1 Ranking of residue risk of 38 pesticides in peaches

2.4 现有农药最大残留限量的适用性

在检出的38种农药中，仅有多菌灵、啶虫脒、苯醚甲环唑、氟硅唑、氯氟氰菊酯、氰戊菊酯、氯氰菊酯、甲氰菊酯、戊唑醇、腈苯唑、辛硫磷、啞霉胺、四螨嗪、氟虫腈、灭多威15种农药制定了最大残留限量。由于灭幼脲的ADI值高达1.25 mg/kg，其在桃中的最大残留限量估计值(eMRL)高达245.10 mg/kg，因此没必要制定桃中灭幼脲的最大残留限量。根据最大残留限量可比eMRL略高或略低原则，参照检出率、风险排序结果、CAC和日本的最大残留限量、我国农药使用的实际情况以及在其他水果上的最大残留限量，建议对低风险农药毒死蜱、哒螨灵、咪鲜胺、螺螨酯和阿维菌素以及低风险农药吡虫啉、甲基硫菌灵和腐霉利8种农药制定最大残留限量。具体建议值见表4。

表4 桃中8种农药的最大残留限量估计值和最大残留建议值(RMRL)

Table 4 eMRLs and RMRLs of 8 pesticides in peaches

(mg/kg)

Pesticide	CAC MRL	Japan MRL	eMRL	RMRL
Chlorpyrifos(毒死蜱)	0.5	1	1.96	1
Imidacloprid(吡虫啉)	0.5	0.5	11.76	0.5
Pyridaben(哒螨灵)	-	2	1.96	2
Prochloraz(咪鲜胺)	-	0.05	1.96	2
Procymidone(腐霉利)	-	3	19.6	3
Spirodiclofen(螺螨酯)	2	1	1.96	2
Thiophanate-methyl(甲基硫菌灵)	-	2	15.69	2
Abamectin(阿维菌素)	-	0.02	0.39	0.02

3 结论

桃中农药多残留现象普遍存在，但检出浓度大多远低于残留限量值。桃中残留慢性摄入风险(%ADI)和急性摄入风险(%ARfD)的平均值较低，分别为0.89%和11.09%，均低于100%，因此，我国桃果品农药残留风险在可接受范围内。但根据风险排序结果，建议在生产和质量安全监管中，对桃中硫丹、丁硫克百威、毒死蜱、灭多威、氟虫腈、联苯菊酯等农药予以重点关注。MRL的缺失对桃果品的安全生产、安全监管和安全消费极为不利。建议对毒死蜱、哒螨灵、咪鲜胺、螺螨酯、阿维菌素、

吡虫啉、甲基硫菌灵和腐霉利 8 种农药制定最大残留限量。

参考文献:

- [1] <http://zdcscxx.moa.gov.cn:8080/misportal/public/dataChannelRedStyle.jsp>.
- [2] European Food Safety Authority. Scientific Report of EFSA: The 2010 European Union Report on Pesticide Residues in Food. *EFSA J.*, **2013**, 11(3): 3130.
- [3] Lozowicka B, Kaczyński P, Rutkowska E, Jankowska M, Hrynyk I. *Agric. Sci.*, **2013**, 4(5B): 106–111.
- [4] Szpyrka E, Kurdziel A, Słowik – Borowiec M, Grzegorzak M, Matyaszek A. *Environ. Monit. Assess.*, **2013**, 185: 8873–8878.
- [5] Lozowicka B, Kaczyński P, Rutkowska E, Jankowska M, Hrynyk I, Paritowa A. *Int. Food Res. J.*, **2014**, 21(2): 663–672.
- [6] Liu Y P. *Studies on Residue and Risk Assessment of Four Fungicides in International Trade of Banana*. Beijing: China Agricultural University(刘艳萍. 香蕉国际贸易中 4 种特殊杀菌剂的残留及风险评估研究. 北京: 中国农业大学), **2014**.
- [7] Nie J Y, Li Z X, Liu C D, Fang J B, Wang C, Guo Y Z, Lei S R, Li H F, Xu G F, Yan Z. *Sci. Agric. Sin.* (聂继云, 李志霞, 刘传德, 方金豹, 王成, 郭永泽, 雷绍荣, 李海飞, 徐国锋, 闫震. 中国农业科学), **2014**, 47(18): 3655–3667.
- [8] Zhang Z H, Tang T, Xu H, Li Z, Yang G L, Wang Q. *Sci. Agric. Sin.* (张志恒, 汤涛, 徐浩, 李振, 杨桂玲, 王强. 中国农业科学), **2012**, 45(8): 1982–1991.
- [9] Ye M L, Nie J Y, Xu G F, Yan Z, Zheng L J. *Trans. Chin. Soc. Agric. Eng.* (叶孟亮, 聂继云, 徐国锋, 闫震, 郑丽静. 农业工程学报), **2016**, 32(1): 286–297.
- [10] Wang D Q, Pan D X, Hua X X, Weng C D. *J. Anhui Agric. Sci.* (王冬群, 潘丹霞, 华晓霞, 翁崇迪. 安徽农业科学), **2016**, 44(21): 126–130.
- [11] Wang D Q, Wu H X, Shen Q C, Cen W L. *Jiangsu Agric. Sci.* (王冬群, 吴华新, 沈群超, 岑伟烈. 江苏农业科学), **2012**, 40(2): 229–231.
- [12] Fang L P, Zhang S Q, Chen Z L, Du H X, Zhu Q, Dong Z, Li H D. *Regul. Toxicol. Pharm.*, **2015**, 73: 578–586.
- [13] GB/T 8855–2008. Fresh Fruits and Vegetables—Sampling. National Standards of the People’s Republic of China(新鲜水果、蔬菜采样方法. 中华人民共和国国家标准), **2008**.
- [14] GB/T 20769–008. Determination of 450 Pesticides and Related Chemical Residues in Fruits and Vegetables—LC – MS/MS Method. National Standards of the People’s Republic of China(水果和蔬菜中 450 种农药及相关化学品残留量的测定 液相色谱–串联质谱法. 中华人民共和国国家标准), **2009**.
- [15] NY/T 761–2008. Pesticide Multiresidue Screen Methods for Determination of Organophosphorus Pesticides, Organochlorine Pesticides, Pyrethroid Pesticides and Carbamate Pesticides in Vegetables and Fruits. National Standards of the People’s Republic of China(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. 中华人民共和国国家标准), **2008**.
- [16] Zhao M X, Wang C N, Li T T, Yi N N, He X S, Wu H, Yao X Y. *J. Hyg. Res.* (赵敏娴, 王灿楠, 李亭亭, 乙楠楠, 何贤松, 吴惠, 姚欣雅. 卫生研究), **2013**, 42(5): 844–848.
- [17] GB 2763–2016. National Food Safety Standard: Maximum Residue Limits for Pesticides in Food. National Standards of the People’s Republic of China(食品安全国家标准: 食品中农药最大残留限量. 中华人民共和国国家标准), **2016**.
- [18] Lü J, Bi J F, Zhao X Y, Liu X, Ding Y Y. *Food Mach.* (吕健, 毕金峰, 赵晓燕, 刘璇, 丁媛媛. 食品与机械), **2012**, 28(1): 268–271, 274.
- [19] Zhang F. *China Fruit News*(张放. 中国果业信息), **2018**, 35(12): 25–35.
- [20] Yang S H, Lu Y M, Lin N. *Storage and Process*(杨少桢, 卢运明, 林娜. 保鲜与加工), **2001**, 1(7): 1–3.
- [21] Wang Z G, Yu C Y, Ma M X, Ding G M, Yu G H. *Deciduous Fruits*(王志刚, 于彩云, 马明兴, 丁光梅, 于国合. 落叶果树), **2015**, 47(2): 16–18.
- [22] Food and Agriculture Organization of the United Nations(FAO). Submission and Evaluation of Pesticide Residues Data for Estimation of Maximum Residue Levels in Food and Feed(FAO Plant Production and Protection Paper 197). Rome: FAO, **2009**.
- [23] www.who.int/entity/foodsafety/chem/IESTI-calculation-13c.xlt. WHO. A template for the automatic calculation of the IESTI EB/OL]. [2016–02–08].

(责任编辑: 盛文彦)