

风险评估

2018—2021年陕西省市售水果中农药残留状况调查及膳食摄入风险评估

赵莹,王玮,尹丹阳,梁晓聪,乔海鸥

(陕西省疾病预防控制中心,陕西西安 710054)

摘要:目的 调查分析陕西省市售水果中杀虫剂和杀菌剂类农药残留情况,评估当地居民通过摄入水果的农药残留暴露风险。方法 采集2018—2021年陕西省10个地市共6大类486份市售水果样品,依据国家风险监测工作手册《植物性样品中农药多组分残留的气相色谱-串联质谱(GC-MS)法测定的标准操作程序》和《植物性样品(含食用菌)中农药多组分残留的液相色谱质谱-串联质谱(LC-MS)法测定标准操作程序》对水果中13种杀虫剂和15种杀菌剂残留水平进行检测,依据GB 2763—2021《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》评价多组分农药残留的检出和超标状况。采用点评估法对各类农药残留进行急性、慢性膳食暴露风险评估,通过食品安全指数模型对检出农药开展总体风险判定。结果 本次监测的28种农药除吡唑醚菌酯、恶霜灵、腈菌唑、异菌脲4种杀菌剂和灭线磷、灭蝇胺、氟氯氰菊酯3种杀虫剂未检出,其余21种农药均有不同程度的检出,检出率在0.77%~21.54%,共7份样品4种农药残留超标,超标率在0.28%~1.27%,且有禁用的高毒农药检出。核果类(39.24%)、热带及亚热带水果(28.33%)、柑橘类(26.47%)及仁果类(25.96%)水果的农药残留检出率较高,浆果类(2.54%)的超标率较高,且均存在多种农药联合使用的情况。各类农药的急性和慢性膳食暴露量均低于其健康指导值,单项农药的食品安全指数均小于1,水果总体食品安全指数小于1。结论 陕西省市售水果中农药残留检出率较高,但超标率较低,本次监测的水果膳食摄入风险在可接受范围内,整体安全质量良好。

关键词:陕西省;水果;农药残留;风险评估

中图分类号:R155 文献标识码:A 文章编号:1004-8456(2023)12-1749-08

DOI:10.13590/j.cjfh.2023.12.009

Investigation of pesticide residues in commercialized fruits and risk assessment of dietary intake in Shaanxi Province from 2018 to 2021

ZHAO Ying, WANG Wei, YIN Danyang, LIANG Xiacong, QIAO Haiou

(Center for Disease Control and Prevention of Shaanxi Province, Shaanxi Xi'an 710054, China)

Abstract: Objective To assess human exposure risk from pesticide residues through ingestion of fruit in Shaanxi Province, pesticide residues in fruits were investigated and analyzed. **Methods** Four hundred eighty-six commercialized fruit samples from 6 categories were collected from 10 cities in Shaanxi Province from 2018 to 2021. Two standard procedures, including “National Risk Monitoring Manual Standard Operating Procedure for the Determination of Multi-Component Pesticide Residues in Vegetal Samples by Gas Chromatography-Tandem Mass Spectrometry (GC-MS)” as well as “Standard Operating Procedure for the Determination of Multi-Component Pesticide Residues in Vegetal Samples (including Edible Fungi) by Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry (LC-MS)” were used to analyze the residues of 13 kinds of insecticides and 15 kinds of bactericides. Furthermore, the detection rate and over-standard rate of multi-component pesticide residues in fruits were evaluated according to the GB 2763—2021 “National Food Safety Standard-Maximum Residue Limits of Pesticides in Food”. The point assessment method was used to assess the acute and chronic dietary exposure risks of all pesticide residues, and a food safety index model was used to determine the overall risk assessment of the detected pesticides. **Results** In addition to four bactericides (pyraclostrobin, oxadixyl, myclobutanil and iprodione) and three insecticides (ethoprophos, cyromazine and cyfluthrin), the remaining 21 pesticides, including some banned, highly toxic pesticides, were detected to different degrees with detection rates ranging

收稿日期:2022-08-22

作者简介:赵莹 女 副主任技师 研究方向为食品卫生检验 E-mail:yingzhao0618@163.com

通信作者:乔海鸥 男 副主任技师 研究方向为食品卫生检验 E-mail:271924647@qq.com

from 0.77% to 21.54%. Four pesticide residues in seven samples exceeded the standard, with detection rates ranging from 0.28% to 1.27%. The detection rate of pesticide residues was highest in stone fruits (39.24%), tropical and subtropical fruits (28.33%), citrus fruits (26.47%), and kernel fruits (25.96%). The over-standard rate was highest in berry fruits (2.54%), and combined utilization of multiple pesticides was found. The values for acute and chronic dietary exposure to all pesticide types were lower than the health guidelines. The food safety index for a single pesticide is < 1. The overall food safety index of the fruits was less than 1. **Conclusion** Although the detection rate of pesticide residues in fruits from Shaanxi Province was relatively high, the over-standard rate was low. The risk from dietary intake of fruits monitored in this study was within an acceptable range; therefore, the safety and quality of the commercialized fruits collected from 2018 to 2020 met the requirements.

Key words: Shaanxi Province; fruit; pesticide residue; risk assessment

随着人民生活水平的提升和全民健康意识的增强,居民的营养意识和营养供给能力也在逐年提升,膳食营养的均衡得到普遍关注。水果因富含矿物质、维生素、纤维素等多种重要营养素,已经成为居民日常生活中保证膳食均衡的重要食品种类,其消费量也在逐年上涨。水果在生产过程中需要施用农药用于病虫害的防治和病媒的根除,以保证商品果的产量和品质^[1],然而生产者对农药残留的毒性认识不足,国家禁用限用的剧毒、高毒、高残留农药往往因效果更好而被频繁违规使用,这些极有可能导致居民食用受污染的水果使得农药在体内蓄积,威胁人体健康^[2]。因此,开展水果中农药残留的监测调查以及食品安全风险评估能够有效掌握当地水果中农药残留状况并科学评价其对人体健康造成的潜在风险^[3]。

本研究通过分析陕西省 2018—2021 年连续 4 年共 486 份市售水果中 28 种农药残留的监测数据,从单项农药残留状况、不同水果种类及多种农药混用情况等方面对目前陕西省市售水果中的农药残

留状况进行分析。结合城镇居民水果消费量等相关数据,进行水果中农药残留膳食暴露风险评估,研究水果中农药残留对人体潜在的急性、慢性危害和对人体健康的安全性评价,为监督管理部门制定食品安全风险管理措施,保障当地水果供应的安全提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 样品采集

2018—2021 年,按照定点随机采样原则,从陕西省陕北地区的延安、榆林,关中地区的西安、咸阳、渭南、铜川、宝鸡和陕南地区的安康、汉中、商洛共 10 个地市所有县(区)105 个监测点的主要农贸市场、批发市场、超市、便利店进行样品采集。共采集 6 大类水果样品 486 份,其中包括 34 份柑橘类、12 份瓜果类、79 份核果类、197 份浆果类、60 份热带及亚热带水果、104 份仁果类,历年采样数量及具体监测指标见表 1。

表 1 2018—2021 年采样数量及农药残留检测项目

Table 1 Sample quantity and detection items of pesticide residues from 2018 to 2021

采样年份	样品种类及数量						样品检测项目
	柑橘类	瓜果类	核果类	浆果类	热带及亚热带水果	仁果类	
2018	柑橘(13)	—	桃(9)、樱桃(6)	蓝莓(8)、草莓(9)、葡萄(13)、猕猴桃(10)	香蕉(16)、杨梅(4)	苹果(20)、梨(22)	烯酰吗啉、啉霉胺、咪鲜胺、甲霜灵、甲基硫菌灵、多菌灵、腐霉利、三唑酮、苯醚甲环唑、丙环唑、戊唑醇、恶霜灵、异菌脲、腈菌唑、吡唑醚菌酯
2019	柑橘(12)	西瓜(12)	桃(12)、枣(6)	葡萄(9)、草莓(10)、猕猴桃(13)	香蕉(15)	苹果(17)、梨(14)	氧乐果、毒死蜱、甲拌磷及其氧类似物、氯氟氰菊酯、氟氯氰菊酯
2020	—	—	樱桃(14)、枣(11)	葡萄(27)、草莓(19)、蓝莓(15)、猕猴桃(24)	杨梅(8)	—	乐果、氧乐果、甲拌磷及其氧类似物、毒死蜱、水胺硫磷、三唑磷、灭线磷、乙醚甲胺磷、甲胺磷、硫丹及其代谢物、灭蝇胺
2021	柑橘(9)	—	樱桃(5)、枣(3)、桃(13)	葡萄(12)、草莓(10)、蓝莓(8)、猕猴桃(10)	杨梅(5)、香蕉(12)	梨(15)、苹果(16)	乐果、氧乐果、甲拌磷及其氧类似物、毒死蜱、水胺硫磷、三唑磷、灭线磷、乙醚甲胺磷、甲胺磷、硫丹及其代谢物、氯氟氰菊酯、灭蝇胺

注:各水果品种括号内数字为各自的采样数量,“—”表示未采集该种类

1.1.2 主要仪器与试剂

CPA225D 型电子天平(德国 Sartorius 公司),

7890B-7000C 型气相色谱-三重四极杆质谱联用仪(美国 Agilent 公司),Dionex U3000 超高效液相色谱

仪(美国 Thermo Fisher 公司),5500Q-trap 三重四级杆串联质谱仪(美国 AB Sciex 公司),CR22N 型立式高速离心机(日本 Hitachi 公司),TTL-DCII型氮吹浓缩仪(北京同泰联科技公司)。

28 种农药标准品(国家标准物质研究中心),氯化钠、无水硫酸镁(国药集团化学试剂有限公司),乙腈、丙酮、二氯甲烷、甲醇(均为色谱纯,德国 Merk 公司)。

1.2 方法

1.2.1 检测方法和判定依据

样品根据《国家食品污染和有害因素风险工作手册》^[4]要求进行前处理和检测,其中硫丹及其代谢物(α -硫丹、 β -硫丹和硫丹硫酸酯,以下简称硫丹)、氧乐果、乐果、毒死蜱、甲拌磷及其氧类似物(甲拌磷、甲拌磷砒和甲拌磷亚砒,以下简称甲拌磷)、水胺硫磷、三唑磷、灭线磷、乙酰甲胺磷、甲胺磷、氯氟氰菊酯、氟氯氰菊酯、异菌脲 13 种农药残留的测定依据监测工作手册《植物性样品中农药多组分残留的 GC-MS 法测定的标准操作程序》执行;苯醚甲环唑、多菌灵、甲基硫菌灵、甲霜灵、啉霉胺、烯酰吗啉、咪鲜胺、三唑酮、丙环唑、戊唑醇、腐霉利、灭蝇胺、恶霜灵、腈菌唑、吡唑醚菌酯 15 种农药残留的测定依据监测工作手册中《植物性样品(含食用菌)中农药多组分残留的 LC-MS 法测定标准操作程序》执行。根据 GB 2763—2021《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》^[5]及《禁限用农药名录》^[6]对农药残留测定结果进行判定。对没有国家标准限值的检测项目,结果不做评价。参照世界卫生组织(World Health Organization, WHO)关于“食品中低水平污染物可信评价”的推荐性程序^[7],本研究低于检出限(Limit of detection, LOD)的残留量按 LOD 计算。

1.2.2 质量控制

所有采集批次的样品及时进行处理检测,且每批样品进行平行双样测定,相对偏差控制在 10% 以内,同时进行 3 个浓度水平的加标回收试验,回收率控制在 80%~120% 之间。

1.2.3 膳食暴露风险评估

1.2.3.1 慢性膳食摄入风险评估方法

以农药每日允许摄入量(Acceptable daily intake, ADI)为慢性暴露评估的健康指导值,水果中各类农药的慢性膳食摄入风险水平采用慢性暴露量(Exposure chronic, Exp)占 ADI 的百分率(%ADI)表示,根据公式(1)~(2)计算。%ADI 值越小,慢性膳食摄入风险越小,当%ADI \leq 100% 时,表示慢性膳食风险可以接受,当%ADI $>$ 100% 时,表示慢性膳食风险不可接受。

$$Exp = \frac{R_i \times F_i}{BW} \quad \text{式(1)}$$

式中 Exp 为人体每日某种农药的暴露量,mg/kg; R_i 为居民日均水果消费量,根据《2019 年中国卫生健康统计年鉴》推荐的数据,0.048 kg^[8]; F_i 为残留量检测数据的平均含量,mg/kg; BW 为体质量,按成人 60 kg 计算。

$$\%ADI = \frac{Exp}{ADI} \times 100 \quad \text{式(2)}$$

式中 Exp 见式(1);ADI 根据 GB 2763—2021《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》^[5]查得,mg/kg·BW。

1.2.3.2 急性膳食摄入风险评估方法

以急性参考剂量(Acute reference dose, ARfD)值为急性暴露评估的健康指导值,水果中各类农药的急性膳食摄入风险水平采用估计短期摄入量(Estimated short-term intake, ESTI)占 ARfD 的百分率(%ARfD)表示,根据公式(3)~(4)计算。%ARfD 的值越小,急性膳食摄入风险越小,当%ARfD \leq 100% 时,表示急性膳食风险可以接受,当%ARfD $>$ 100% 时,表示急性膳食风险不可接受。

$$ESTI = \frac{HR \times LP}{BW} \quad \text{式(3)}$$

式中 $ESTI$ 为某种农药的估计短期摄入量,mg/kg; HR 为残留量检测数据的最高含量,取检测数据的 99.9 百分位点值,mg/kg; LP 为水果的高端消费量,根据《2019 年中国卫生健康统计年鉴》提供的居民水果日消费量的 97.5 百分位点值,0.40 kg^[8]; BW 同式(1)。

$$\%ARfD = \frac{ESTI}{ARfD} \times 100 \quad \text{式(4)}$$

式中 $ESTI$ 见式(3); $ARfD$ 根据《JMPR 评估农药 ADI 和 ARfD 清单》^[9]查得,mg/kg·BW。

1.2.3.3 食品安全指数评估

食品安全指数(Index of food safety, IFS)和总体食品安全指数(\overline{IFS})按公式(5)~(7)计算,用以评价某种农药残留和总体农药残留对居民健康的危害程度^[10]。IFS 或 \overline{IFS} 越小,表明某种或总体农药残留的安全风险越小,当 IFS 或 \overline{IFS} $>$ 1 时,表明某种或总体农药残留对人体的健康造成了危害,超过了可以接受的限度;反之则表示安全风险可以接受,造成的危害不明显。

$$EDI_c = R_i \times F_i \times E_i \times P_i \quad \text{式(5)}$$

式中 EDI_c (Estimated daily intake)为某种农药实际日摄入量估算值,mg/kg; R_i 和 F_i 同式(1); E_i 为水果的可食用部分因子,默认为 1; P_i 为水果的加工处理因子,默认为 1。

$$IFS = \frac{EDI_c \times f}{ADI \times BW} \quad \text{式(6)}$$

式中 EDI_c 见式(5); f 为农药安全摄入量的校正因子,默认为 1; ADI 和 BW 同式(1)。

$$\overline{IFS} = \frac{\sum_{i=1}^n IFS}{n} \quad \text{式(7)}$$

式中 IFS 见式(6), n 为评价农药数量。

2 结果

2.1 不同种类农药残留的检出及超标情况

2018—2021年,共监测水果样品 486 份,所检测农药残留项目两大类,包括 13 种杀虫剂和 15 种杀菌剂共 28 项,获得监测数据 6 448 条。除吡唑醚菌酯、恶霜灵、腈菌唑、异菌脲 4 种杀菌剂和灭线磷、灭蝇胺、氟氯氰菊酯 3 种杀虫剂未检出,其余 21 种

农药残留均有不同程度的检出,平均含量介于 0.001 1(三唑酮)~0.023 mg/kg(乐果)之间,最大含量介于 0.003 1(三唑酮)~1.9 mg/kg(烯酰吗啉)之间,其余各分位值具体结果见表 2。13 种杀虫剂检出率为 0.85%~6.30%,大于 2% 的项目为:氯氟氰菊酯(6.30%, 15/238)、毒死蜱(5.62%, 20/356)、乙酰甲胺磷(2.54%, 6/236)、硫丹(2.12%, 5/236)、三唑磷(2.12%, 5/236)、乐果(2.12%, 5/236); 15 种杀菌剂检出率为 0.77%~21.54%,大于 10% 的项目为:多菌灵(21.54%, 28/130)、戊唑醇(20.00%, 26/130)、苯醚甲环唑(15.38%, 20/130)。除去没有规定限值的种类,待检农药中超标项目为乐果(1.27%, 3/236)、烯酰吗啉(0.77%, 1/130)、氧乐果(0.56%, 2/356)和甲拌磷(0.28%, 1/356)。

表 2 不同种类农药残留的检出及超标情况

Table 2 Detection levels and exceeding ratios of different kinds of pesticide residues

检测项目	样品份数	监测结果						检出情况			
		均值/(mg/kg)	P90/(mg/kg)	P95/(mg/kg)	P97.5/(mg/kg)	P99/(mg/kg)	最大值/(mg/kg)	检出份数	检出率/%	超标份数	超标率/%
甲基硫菌灵	130	0.003 1	0.003 0	0.005 7	0.020 0	0.045	0.11	13	10.00	0	0
咪鲜胺	130	0.003 2	0.003 0	0.003 0	0.016 5	0.063	0.12	8	6.15	0	0
异菌脲	130	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0	0.00	0	0
苯醚甲环唑	130	0.003 3	0.003 6	0.009 4	0.018 9	0.029	0.12	20	15.38	0	0
吡唑醚菌酯	130	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0	0.00	0	0
丙环唑	130	0.003 2	0.001 9	0.003 0	0.003 0	0.003 0	0.26	2	1.54	0	0
多菌灵	130	0.012	0.010 6	0.020	0.046	0.150	0.90	28	21.54	0	0
恶霜灵	130	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0	0.00	—	—
腐霉利	130	0.012	0.010	0.010	0.024	0.044	0.22	5	3.85	0	0
甲霜灵	130	0.001 3	0.001 0	0.003 0	0.003 0	0.003 0	0.028	1	0.77	0	0
腈菌唑	130	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0	0.00	0	0
啞霉胺	130	0.001 2	0.001 0	0.003 0	0.003 0	0.003 0	0.007 7	1	0.77	0	0
三唑酮	130	0.001 1	0.001 0	0.003 0	0.003 0	0.003 0	0.003 1	1	0.77	0	0
戊唑醇	130	0.008 3	0.005 3	0.025 2	0.066	0.189	0.26	26	20.00	0	0
烯酰吗啉	130	0.020	0.003 0	0.009 3	0.063 6	0.279	1.9	7	5.38	1	0.77
硫丹	236	0.010	0.015	0.020	0.030	0.030	0.034	5	2.12	0	0
甲胺磷	236	0.009 9	0.015	0.015	0.020	0.020	0.028	3	1.27	0	0
乐果	236	0.023	0.015	0.015	0.020	0.152	1.6	5	2.12	3	1.27
灭线磷	236	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0	0.00	0	0
三唑磷	236	0.015	0.030	0.030	0.030	0.030	0.063	5	2.12	0	0
水胺硫磷	236	0.014	0.024	0.030	0.030	0.030	0.041	2	0.85	0	0
乙酰甲胺磷	236	0.016	0.030	0.030	0.030	0.035	0.16	6	2.54	0	0
灭蝇胺	236	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0	0.00	0	0
氟氯氰菊酯	120	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0	0.00	0	0
氯氟氰菊酯	238	0.011	0.015	0.021	0.024	0.036	0.080	15	6.30	0	0
毒死蜱	356	0.011	0.015	0.018	0.024	0.058	0.30	20	5.62	0	0
氧乐果	356	0.012	0.018	0.019	0.020	0.020	0.085	4	1.12	2	0.56
甲拌磷	356	0.007 4	0.010	0.010	0.010	0.010	0.044	4	1.12	1	0.28

注:“ND”表示未检出;各项农药的最大残留限量值详见 GB 2763—2021;“—”表示 GB 2763—2021 中没有规定限量值

甲胺磷为国家禁止销售和使用的农药,乙酰甲胺磷、硫丹、乐果、氧乐果、甲拌磷、水胺硫磷和灭线磷为限制在果树上使用的农药。虽然上述农药已在禁用限用名录中,但本次调查中除灭线磷外其余项目均有样品检出,具体包括:乙酰甲胺磷检出率为 2.54%(6/236),最大含量为 0.16 mg/kg;硫丹检

出率为 2.12%(5/236),最大含量均为 0.034 mg/kg;乐果检出率为 2.12%(5/326),3 份超标(1.27%),最大含量为 1.6 mg/kg;甲胺磷检出率为 1.27%(3/236),最大含量为 0.028 mg/kg;氧乐果检出率为 1.12%(4/356),2 份超标(0.56%),最大含量为 0.085 mg/kg;甲拌磷检出率为 1.12%(4/356),1 份

超标(0.28%),最大含量为0.044 mg/kg;水胺硫磷检出率为0.85%(2/236),最大含量为0.041 mg/kg。其中乙酰甲胺磷、乐果的检出率和检出最大含量较高,乐果和氧乐果的检出样品有一半以上超标。

2.2 不同种类水果农药残留检出及超标情况

除瓜果类,其余5类水果均检出农药残留,平均含量介于0.0077 mg/kg(仁果类)~0.013 mg/kg(核果类)之间;最大含量介于0.19 mg/kg(柑橘类)~1.9 mg/kg(浆果类)之间,其余各分位值见表3。6个种类的水果农药残留检出率高于20%的种类包括:

核果类(39.24%)、热带及亚热带水果(28.33%)、柑橘类(26.47%)、仁果类(25.96%)。浆果类(16.75%)虽然检出率较低,但是超标率较高(2.54%,5/197),涉及的品种主要为草莓、猕猴桃、葡萄、蓝莓。5类水果中乐果和氧乐果的超标情况较为严重,包括1份草莓和1份桃均检出氧乐果超标,检出值均达到限量值的4倍以上;1份蓝莓、1份猕猴桃和1份香蕉均检出乐果超标,其中猕猴桃的检出值是限量值的18倍,香蕉的检出值是限量值的45倍以上,见表4。

表3 不同种类水果农药残留检出及超标情况

Table 3 Detection levels and exceeding ratios of pesticide residues in different kinds of fruits

水果种类	样品份数	均值/(mg/kg)	P90/(mg/kg)	P95/(mg/kg)	P97.5/(mg/kg)	P99/(mg/kg)	最大值/(mg/kg)	检出份数	检出率/%	超标份数	超标率/%
柑橘类	34	0.0087	0.015	0.018	0.030	0.048	0.19	9	26.47	0	0
瓜果类	12	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0	0	0	0
核果类	79	0.013	0.018	0.024	0.030	0.045	1.6	31	39.24	1	1.27
浆果类	197	0.012	0.015	0.020	0.030	0.037	1.9	33	16.75	5	2.54
热带及亚热带水果	60	0.0093	0.015	0.018	0.024	0.030	0.93	17	28.33	1	1.67
仁果类	104	0.0077	0.015	0.018	0.024	0.030	0.30	27	25.96	0	0

注:“ND”表示未检出

表4 不同种类水果农药残留具体超标情况

Table 4 Specific exceedances of pesticide residues in different kinds of fruits

种类	水果名称	年份	超标农药	检测值/(mg/kg)	限量值/(mg/kg)
浆果类	草莓	2018	烯酰吗啉	0.051	0.05
浆果类	猕猴桃	2020	乐果	0.18	0.01
浆果类	草莓	2021	氧乐果	0.082	0.02
浆果类	葡萄	2021	甲拌磷砒	0.044	0.01
浆果类	蓝莓	2021	乐果	0.016	0.01
热带及亚热带水果	香蕉	2021	乐果	0.93	0.02
核果类	桃	2021	氧乐果	0.085	0.02

2.3 多种农药混用情况

为了达到更好的防病防虫效果,水果种植过程中普遍存在多种农药混用的情况。6类水果中瓜果类样品无检出;热带及亚热带水果和仁果类水果中均有8%的样品同时检出2~3种农药残留;柑橘类和核果类水果分别有15%和9%的样品同时检出2~4种农药残留;浆果类水果中有8%的样品同时检出2、3、5种农药残留,见图1。

2.4 水果中各类农药残留膳食摄入风险

对所监测水果中的农药残留进行膳食摄入风险评估,其中恶霜灵、甲霜灵、啞霉胺和水胺硫磷因缺乏ARfD数据不予评价,其余农药残留的%ARfD均小于100%,乐果(47%)、三唑磷(39%)较高,即急性膳食摄入风险可以接受。各种农药残留的%ADI均小于100%,三唑磷(1.2%)、灭线磷(2.2%)和氧乐果(3.3%)较高,但仍然远小于100%,表明监测水果的农药残留慢性膳食摄入风险很低,是可以接受的,具体见表5。

2.5 食品安全指数评价

使用IFS模型评价某项监测农药对人体健康安全风险的接受程度及水果整体的农药残留安全性。被检农药的IFS范围介于0.000005~0.033之间,IFS为0.0035,均远小于1,见表5。说明陕西省2018—2021年连续4年采集的水果样品中检出的各项农药残留对消费者的安全风险在可接受范围内,市售水果中整体农药残留的安全风险处于较低水平。

3 讨论

虽然陕西省连续4年市售水果的农药残留整体检出率较高,但与往年监测结果相比有所降低^[11-12],整体检出水平较低且超标率低,基本上都能满足国家限值的要求,这表明在生产种植环节中农药的施用和监管总体是符合规范要求的。杀菌剂中多菌灵、戊唑醇、苯醚甲环唑和甲基硫菌灵的检出率较高,但均无超标现象。杀虫剂中氯氟氰菊酯、毒死蜱、三唑磷、硫丹、乙酰甲胺磷、乐果的检出率较高。氯氟氰菊酯检出率最高,主要是因为菊酯

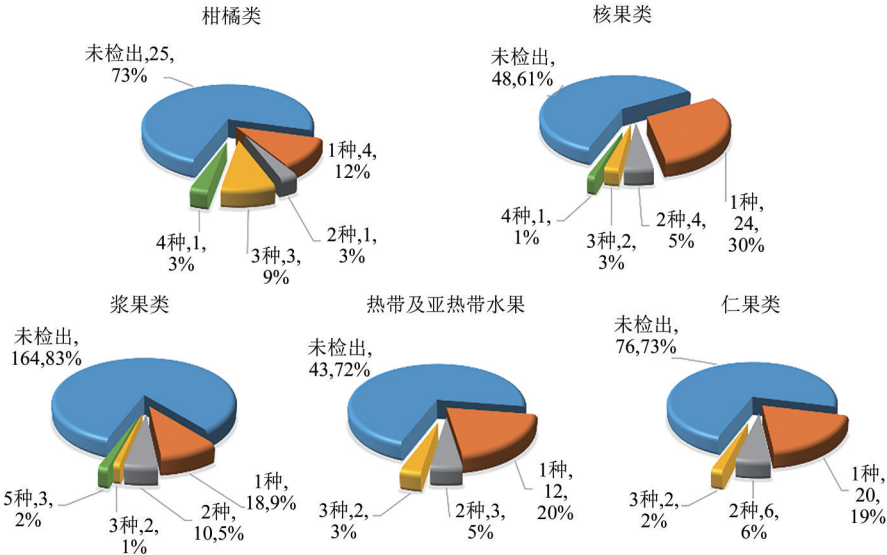


图1 不同种类水果农药残留同时检出情况分布
Figure 1 Simultaneous detection of pesticide residues in different kinds of fruits

表5 陕西省市售水果中各类农药残留膳食摄入风险评估

Table 5 Risk assessment of dietary intake of pesticide residues in fruits sold in Shaanxi Province

农药残留	慢性膳食摄入风险			急性膳食摄入风险			食品安全指数		
	Exp	ADI	%ADI	ESTI	ARfD	%ARfD	EDIc	IFS	IFS
甲基硫菌灵	0.000 002 5	0.09	0.002 8	0.000 68	1	0.068	0.000 15	0.000 028	
咪鲜胺	0.000 002 5	0.01	0.025	0.000 76	0.1	0.76	0.000 15	0.000 25	
异菌脲	0.000 008 0	0.06	0.013	0.000 067	0.06	0.11	0.000 48	0.000 13	
苯醚甲环唑	0.000 002 6	0.01	0.026	0.000 72	0.3	0.24	0.000 16	0.000 26	
吡唑醚菌酯	0.000 008 0	0.03	0.027	0.000 067	0.7	0.009 5	0.000 48	0.000 27	
丙环唑	0.000 002 6	0.07	0.003 7	0.001 5	0.3	0.51	0.000 15	0.000 037	
多菌灵	0.000 009 5	0.03	0.032	0.005 4	0.1	5.4	0.000 57	0.000 32	
恶霜灵	0.000 008 0	0.03	0.027	0.000 067	—	—	0.000 48	0.000 27	
腐霉利	0.000 009 8	0.1	0.009 8	0.001 3	0.1	1.3	0.000 59	0.000 10	
甲霜灵	0.000 001 0	0.08	0.001 3	0.000 16	—	—	0.000 063	0.000 013	
腈菌唑	0.000 008 0	0.03	0.027	0.000 067	0.3	0.022	0.000 48	0.000 27	
啶菌胺	0.000 000 93	0.2	0.000 5	0.000 047	—	—	0.000 056	0.000 005	
三唑酮	0.000 000 90	0.03	0.003 0	0.000 021	0.08	0.026	0.000 054	0.000 030	
戊唑醇	0.000 006 6	0.03	0.022	0.001 7	0.3	0.57	0.000 40	0.000 22	0.003 5
烯酰吗啉	0.000 016	0.2	0.008 2	0.012	0.6	1.9	0.000 98	0.000 082	
硫丹	0.000 008 3	0.006	0.14	0.000 22	0.02	1.1	0.000 50	0.001 4	
乐果	0.000 018	0.002	0.90	0.009 4	0.02	47	0.0011	0.009 0	
灭线磷	0.000 008 8	0.000 4	2.2	0.000 13	0.05	0.27	0.000 53	0.022	
三唑磷	0.000 012	0.001	1.2	0.000 39	0.001	39	0.000 73	0.012	
水胺硫磷	0.000 011	0.003	0.36	0.000 26	—	—	0.000 65	0.003 6	
乙酰甲胺磷	0.000 012	0.03	0.041	0.000 91	0.1	0.91	0.000 74	0.000 41	
灭蝇胺	0.000 008 0	0.06	0.013	0.000 067	0.1	0.067	0.000 48	0.000 13	
氟氯氧菊酯	0.000 009 2	0.02	0.046	0.000 10	0.02	0.50	0.000 55	0.000 46	
氯氟氧菊酯	0.000 009 1	0.04	0.023	0.000 48	0.04	1.2	0.000 54	0.000 23	
毒死蜱	0.000 009 1	0.01	0.091	0.001 5	0.1	1.5	0.000 55	0.000 91	
氧乐果	0.000 010	0.000 3	3.3	0.000 56	0.02	2.8	0.000 60	0.033	
甲拌磷	0.000 005 9	0.000 7	0.85	0.000 21	0.003	7.1	0.000 36	0.008 5	

注：“—”表示缺乏相关数据

类具有广谱性和低残留的特点。虽不是禁用限用农药,但仍需防止该类低毒农药的滥用。毒死蜱、三唑磷为农业部 2032 号公告^[13]限制在蔬菜中使用的农药,虽然在果树上还未限制使用,但水果中较高的检出情况也需引起关注。硫丹、乙酰甲胺磷和乐果为农业部 2552 号公告^[14]限制在蔬菜、瓜果、茶叶、菌类和中药材中使用的高毒剧毒农药,尤其是

乐果在此次监测中还存在超标现象。上述这些禁用限用却仍有检出和超标情况、虽然允许使用但检出率较高的农药应作为重点监测指标,同时应重视并加强种植过程中对农户的科学用药指导,着重监管禁用、限用农药的生产、销售和使用渠道。

本次监测的水果品种中,核果类、热带及亚热带水果、仁果类和柑橘类农药残留检出率较高,这

与近年来监测的不同种类水果中农药残留情况基本相同^[15-16],其中香蕉、柑橘、苹果、梨等为农药残留量较多的作物类型,尤其是杀菌剂的检出率较高,这跟植物的生长特点和农药的施用方式有关。果园环境湿度高、通风条件差或套袋不易透光透气等因素易造成水果在生长过程中染菌染病^[17],导致果实品质下降,林间大面积落果。为追求产品质量和经济效益,农户往往会增加农药的使用剂量和频次。以葡萄、猕猴桃和草莓为代表的浆果类水果,果实营养丰富、水分充足,易招病虫害入侵,且果实的生长周期短,种植中需搭建棚架等设施,因此不仅农药的施用频次高,且采摘期往往未到达安全间隔期^[18],同时棚架的遮挡或果实的套袋阻挡了雨水冲刷果面,导致农药施用后易残留在表面,难以降解^[19],这些因素造成了浆果类水果的农残超标率高且检出值往往高于限值数倍。本次监测显示,陕西省水果中还普遍存在多种农药联用的情况,除瓜果类无检出以外,其他品种均存在同时检出3种以上农残的情况,且在柑橘类、核果类和浆果类水果中最为明显。值得关注的是,不同种类农药的混用对人体引发的健康风险存在着毒性的累加效应,会导致低含量水平存在高风险的情况^[20]。

除缺乏相关数据未做评价的种类,2018—2021年陕西省市售水果中各类农药残留的急性和慢性膳食暴露量是安全可接受的,总体安全风险处于较低水平。这与近年来我国其他省市居民消费水果的农药残留膳食暴露风险评估情况基本一致,黄惠玲等^[21]报道海南省2015—2020年63份水果中的10种有机磷农药残留的暴露风险指数和平均个人年风险(膳食摄入风险水平/平均寿命)均是安全可以接受的,常薇等^[22]于2022年报道成都市203份水果中48种农药残留的食品安全指数值均小于1,农药残留安全风险可接受;马淑青等^[23]报道潍坊市2019—2021年水果中14种农药残留的慢性膳食暴露风险在可接受范围内,且不同消费人群之间差距不大。

本次风险评估存在一定的不确定性因素,主要表现在急性暴露风险点评估方法中对消费量数据的选择上。本次研究未使用所涉及水果的具体消费量,而是采用了居民水果日消费量的高端值(P97.5)计算暴露水平,其本质是假定所有个体对各种水果的消费水平一致,且农药残留总是处于较高残留浓度值(P99.9)。这与中国居民实际的水果消费情况会有一些差异,且现实中最高的检出浓度水平尚为少数,因此对于日均消费量较低的单种产品会更为偏向于高估。考虑到点评估是趋向于化学物暴露量最坏情况的假设,在较为保守的暴露假

设下所得的点评估结果仍低于健康指导值,这对本次得到的急性膳食摄入风险可接受的结论影响不大。需要注意的是,本次评估缺少农药间的联合效应对暴露风险的影响评价^[24],后续的研究还需要更加全面地分析,保证得到更准确的评估结果,最大限度地保障居民的膳食安全。

参考文献

- [1] 毛敏. 厦门市售特色农产品水果中64种农药残留研究与分析[J]. 现代食品, 2022, 28(3): 163-166.
MAO M. Research and analysis of 64 pesticide residues in fruits of characteristic agricultural products in Xiamen [J]. Modern Food, 2022, 28(3): 163-166.
- [2] 梁靖凯, 蒲云霞. 蔬菜与水果中农药残留现状及风险评估工作进展[J]. 公共卫生与预防医学, 2022, 33(3): 123-126.
LIANG J K, PU Y X. Current status of pesticide residues in vegetables and fruits and progress in risk assessment [J]. Journal of Public Health and Preventive Medicine, 2022, 33(3): 123-126.
- [3] 魏启文, 陶传江, 宋稳成, 等. 农药风险评估及其现状与对策研究[J]. 农产品质量与安全, 2010, 44(2): 38-42.
WEI Q W, TAO C J, SONG W C, et al. Study on status quo and measures of pesticide risk assessment [J]. Quality and Safety of Agro-Products, 2010, 44(2): 38-42.
- [4] 杨大进, 李宁. 2013年国家食品污染及有害因素风险监测工作手册[M]. 北京: 中国质检出版社, 2014.
YANG D J, LI N. National working manual on risks of food contamination and hazardous factors [M]. Beijing: China Quality Inspection Press, 2013.
- [5] 国家卫生健康委员会, 农业农村部, 国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量: GB 2763—2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
National Health Commission of the People's Republic of China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, State Administration for Market Regulation of the People's Republic of China. National food safety standard-Maximum residue limits of pesticides in food: GB 2763—2021[S]. Beijing: Standards Press of China, 2021.
- [6] 中华人民共和国农业农村部. 禁限用农药名录[EB/OL]. (2019-11-29) [2023-05-01]. http://www.zzys.moa.gov.cn/gzdt/201911/t20191129_6332604.htm.
Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. List of prohibited and restricted pesticides [EB/OL]. (2019-11-29) [2023-05-01]. http://www.zzys.moa.gov.cn/gzdt/201911/t20191129_6332604.htm.
- [7] World Health Organization. Second workshop on reliable evaluation of low-level contamination of food [R]. Rome: World Health Organization, 1995.
- [8] 国家卫生健康委员会. 2019中国卫生健康统计提要[M]. 北京: 中国协和医科大学出版社, 2019.
State Health Commission of the People's Republic of China. China health statistical yearbook 2019 [M]. Beijing: China Union Medical College Press, 2019.

- [9] World Health Organization. Inventory of evaluations performed by the Joint Meeting on Pesticide Residues (JMPR) [DB/OL]. (2014-01-16) [2023-05-01]. <https://apps.who.int/pesticide-residues-jmpr-database/Home/Range/All>
- [10] 王姝婷, 何华丽, 刘少颖, 等. 食品安全指数法评估杭州地区市售草莓中农药残留风险[J]. 中国卫生检验杂志, 2021, 31(23): 2917-2920.
WANG S T, HE H L, LIU S Y, et al. Risk assessment of pesticide residues in strawberry in Hangzhou region based on food safety indexes [J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2021, 31(23): 2917-2920.
- [11] 田丽, 胡佳薇, 王敏娟, 等. 2015—2017年陕西省市售水果中杀菌剂残留状况[J]. 卫生研究, 2019, 48(1): 140-143.
TIAN L, HU J W, WANG M J, et al. Residue status of fungicides in fruits sold in Shaanxi Province from 2015 to 2017 [J]. Journal of Hygiene Research, 2019, 48(1): 140-143.
- [12] 郭蓉, 程国霞, 王彩霞, 等. 陕西省蔬菜、水果、食用菌和袋泡茶农药残留调查[J]. 预防医学, 2017, 29(11): 1158-1159.
GUO R, CHENG G X, WANG C X, et al. Investigation on pesticide residues in vegetables, fruits, edible fungi and teabags in Shaanxi province [J]. Journal of Preventive Medicine, 2017, 29(11): 1158-1159.
- [13] 中华人民共和国农业农村部. 中华人民共和国农业部公告第2032号[J]. 中华人民共和国农业部公报, 2014, 124(1): 53.
Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Bulletin of the ministry of agriculture of the People's Republic of China No. 2032 [J]. Bulletin of the Ministry of Agriculture of the People's Republic of China, 2014, 124(1): 53.
- [14] 中华人民共和国农业农村部. 中华人民共和国农业部公告第2552号[J]. 中华人民共和国农业部公报, 2017, 167(8): 60.
Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Bulletin of the ministry of agriculture of the People's Republic of China No. 2552 [J]. Bulletin of the Ministry of Agriculture of the People's Republic of China, 2017, 167(8): 60.
- [15] 于世锋, 孙红艳, 贾琦. 2014—2016年西安市蔬菜水果农药残留状况分析[J]. 现代农业科技, 2018, 714(4): 113-116.
YU S F, SUN H Y, JIA Q. Analysis of pesticide residues in vegetables and fruits in Xi'an from 2014 to 2016 [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2018, 714(4): 113-116.
- [16] 尹全, 李忆, 刘炜, 等. 2017—2019年成都地区水果农药残留状况[J]. 贵州农业科学, 2021, 49(2): 133-139.
YIN Q, LI Y, LIU W, et al. Pesticide residues in fruit of Chengdu area during 2017-2019 [J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2021, 49(2): 133-139.
- [17] 赵方方, 谢德芳, 张月. UPLC-MS/MS法对香蕉果肉中吡唑醚菌酯残留的测定[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(10): 2477-2479.
ZHAO F F, XIE D F, ZHANG Y. Determination of residue pyraclostrobin in banana by UPLC-MS/MS [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2015, 54(10): 2477-2479.
- [18] 宫春波, 董峰光, 邢玉芳, 等. 烟台市市售水果中18种杀菌剂类农药残留状况调查[J]. 现代预防医学, 2019, 46(2): 242-246.
GONG C B, DONG F G, XING Y F, et al. Investigation on contamination of 18 kinds of fungicide residues in fruits sold in Yantai city [J]. Modern Preventive Medicine, 2019, 46(2): 242-246.
- [19] 班思凡, 李春梅, 贺青华, 等. 设施栽培草莓中农药残留膳食风险评估[J]. 食品工业科技, 2020, 41(3): 212-220.
BAN S F, LI C M, HE Q H, et al. Dietary risk assessments of pesticide residues in greenhouse-grown strawberry [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(3): 212-220.
- [20] 朱盼, 万欢, 黄芮, 等. 广东省本地产茶叶农药多残留累积风险评估[J]. 中国食品卫生杂志, 2022, 34(2): 308-314.
ZHU P, WAN H, HUANG R, et al. Cumulative intake risk assessment of multi-pesticides in local tea samples in Guangdong province [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2022, 34(2): 308-314.
- [21] 黄惠玲, 王朝政, 庄鹏, 等. 海南省蔬菜、水果中有机磷农药残留情况的调查和风险评估[J]. 中国卫生检验杂志, 2021, 31(13): 1637-1640.
HUANG H L, WANG C Z, ZHUANG P, et al. Survey and risk assessment of organophosphorus pesticide residues in vegetables and fruits in Hainan province [J]. Chinese Journal of Health Inspection, 2021, 31(13): 1637-1640.
- [22] 常薇, 李慧, 李春梅, 等. 成都市售果蔬中农药残留水平分析及慢性膳食风险评估[J]. 食品工业科技, 43(6): 258-268.
CHANG W, LI H, LI C M, et al. Analysis of pesticide residue levels and chronic dietary risk assessment in fruits and vegetables in Chengdu market [J]. Science and Technology of Food Industry, 43(6): 258-268.
- [23] 马淑青, 王丹, 代飞飞. 潍坊市售果蔬中14种内吸性杀菌剂残留状况调查及慢性膳食暴露评估[J]. 预防医学论坛, 2022, 28(5): 345-348.
MA S Q, WANG D, DAI F F. Evaluation and chronic dietary exposure and survey on 14 systemic fungicides in market fruits and vegetables, Weifang city [J]. Preventive Medicine Tribune, 2022, 28(5): 345-348.
- [24] 卢素格, 张榕杰, 张伟, 等. 2017年河南省蔬菜和水果中杀菌剂类农药残留风险评估[J]. 中国预防医学杂志, 2018, 19(10): 747-751.
LU S G, ZHANG R J, ZHANG W, et al. Risk assessment of pesticide residues in vegetables and fruits in Henan province in 2017 [J]. Chinese Preventive Medicine, 2018, 19(10): 747-751.