

风险评估

湖北省蔬菜中有机磷农药残留分析及膳食暴露评估

熊碧,杨清清,李永刚,罗萍,唐琳,闻胜

(湖北省疾病预防控制中心 国家卫生健康委食品安全风险评估与标准研制特色实验室,湖北 武汉 430079)

摘要:目的 了解湖北省蔬菜中有机磷农药残留特征和居民膳食暴露风险。方法 在湖北省 17 个市州采集 2 182 份蔬菜样品,测定其有机磷农药残留量,结合湖北省居民蔬菜消费量,进行急性和慢性膳食暴露评估。结果 湖北省蔬菜中有机磷农药的总体检出率为 9.67%(211/2 182),超标率为 1.42%(31/2 182)。超标率前 3 位的农药是毒死蜱、水胺硫磷和甲拌磷及其氧类似物。超标率前 3 位的蔬菜品种是叶菜类、鳞茎类和鲜豆类。采用急性危害暴露商(aHQ)、慢性暴露危害商(cHQ)分别对蔬菜中各种农药残留急性暴露风险和慢性暴露风险进行评估。膳食暴露评估结果显示,三唑磷的 aHQ 为 23.89,可能存在急性暴露风险,湖北省居民不同有机磷农药的慢性暴露危害商(cHQ)均<1,累积暴露危害指数(HI)<1,慢性暴露风险较低。结论 湖北省蔬菜中存在有机磷农药违禁使用和残留超标情况,湖北省居民通过蔬菜的有机磷农药慢性暴露风险较低,但存在三唑磷急性暴露风险,建议相关部门进一步加强对蔬菜中有机磷农药的监管。

关键词:农药残留;有机磷农药;蔬菜;膳食暴露评估

中图分类号:R155 文献标识码:A 文章编号:1004-8456(2025)06-0541-06

DOI:10.13590/j.cjfh.2025.06.006

Analysis and dietary exposure assessment of organophosphorus pesticide residues in vegetables in Hubei Province

XIONG Bi, YANG Qingqing, LI Yonggang, LUO Ping, TANG Lin, WEN Sheng

(Hubei Provincial Center for Disease Control and Prevention, NHC Specialty Laboratory of Food Safety Risk Assessment and Standard Development, Hubei Wuhan 430079, China)

Abstract: Objective To explore the characteristics of organophosphorus pesticide residues in vegetables and the dietary exposure risks for residents in Hubei Province. **Methods** 2 182 vegetable samples were collected from all 17 cities of Hubei Province to determine their residual levels of organophosphorus pesticides. Combined with the vegetable consumption of residents in Hubei Province, acute and chronic dietary exposure assessments were conducted. **Results** The overall detection rate of organophosphorus pesticides in vegetables in Hubei Province was 9.67% (211/2 182), and the exceeding standard rate was 1.42% (31/2 182). The top three pesticides with exceeding standard rates are chlorpyrifos, isocarbophos, phorate and its oxygen analogues. The top three vegetable varieties with exceeding standard rates are leafy vegetables, bulbs, and fresh beans. The dietary exposure assessment results showed that the acute exposure hazard quotient (aHQ) of triazophos was 23.89, indicating a possible acute exposure risk. The chronic exposure hazard quotient (cHQ) of different organic phosphorus pesticides among residents in Hubei Province was less than 1, and the cumulative exposure hazard index (HI) was less than 1, indicating a lower chronic exposure risk. **Conclusion** There are cases of illegal use and excessive residues of organophosphorus pesticides in vegetables in Hubei Province. Residents in Hubei Province have a lower risk of chronic exposure to organophosphorus pesticides through vegetables, but there is an acute risk of exposure to triazophos. It is recommended that relevant regulatory departments further strengthen the supervision of organophosphorus pesticides in vegetables.

Key words: Pesticide residues; organophosphorus pesticide; vegetable; dietary exposure assessment

收稿日期:2024-06-19

基金项目:国家重点研发计划(2023YFF1104800);湖北省楚天英才计划

作者简介:熊碧 女 主管技师 研究方向为食品安全 E-mail: 314572386@qq.com

通信作者:闻胜 男 研究员 研究方向为食品安全 E-mail: wenshenggy@aliyun.com

蔬菜中农药残留是最受关注的食品安全问题之一^[1-4]。有机磷农药(Organophosphorus pesticides, OPs)是一类有机磷酸酯或硫代磷酸酯类化合物农药,主要用作杀虫剂或杀菌剂,是我国使用范围最广、用量最大的农药^[5-8]。有机磷农药的毒性作用很广泛,能抑制多种酶,但其急性毒性主要表现为对胆碱酯酶的抑制^[9-10]。有机磷农药在体内与胆碱酯酶形成磷酰化胆碱酯酶,抑制胆碱酯酶活性,使酶不能起到分解乙酰胆碱的作用,从而使组织中乙酰胆碱过量蓄积,进而使胆碱能神经过度兴奋,引起毒蕈碱样症状、烟碱样症状和中枢神经系统症状^[3]。有机磷农药也表现出致癌性、神经毒性和生殖毒性等毒性^[11-13]。鉴于部分有机磷农药的高毒性,我国已禁止甲胺磷、对硫磷、甲基对硫磷、久效磷、杀扑磷等有机磷农药的使用,限制甲拌磷、甲基异柳磷、水胺硫磷、灭线磷、乐果、氧乐果、乙酰甲胺磷、毒死蜱、三唑磷、氯唑磷等在蔬菜上使用^[14]。

但是蔬菜中农药残留超标现象依然存在,湖北省食品安全风险监测也显示,农药检出和超标现象依然存在。为了解湖北省蔬菜中农药残留状况及可能存在的健康风险,本研究结合2016—2020年湖北省食品安全风险监测工作,对蔬菜中有机磷农药的残留特征和膳食暴露情况进行分析评估,为湖北省居民食品安全提供风险预警,为食品安全监管提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品来源

2016—2020年在湖北省17个市(州)的农贸市场和超市,随机采集代表性蔬菜样品2182份。蔬菜品种包括叶菜类(大白菜、小白菜、菠菜、茼蒿、香菜、空心菜、油麦菜、芹菜、苋菜、叶用莴苣)、芸薹类(卷心菜、花菜、西蓝花、菜薹、紫甘蓝)、瓜菜类(黄瓜、苦瓜、丝瓜、西葫芦)、茄果类(辣椒、番茄、茄子)、块根和块茎类(萝卜、胡萝卜、土豆、山药、姜)、豆类(豇豆、四季豆、芸豆)、鳞茎类(大蒜、大葱、小葱、洋葱、韭菜、蒜薹)、茎类(茎用莴苣)、水生类(藕、荸荠、茭白)9类。

1.2 方法

1.2.1 检测方法

按照《国家食品污染物和有害因素监测工作手册》中《植物性样品中农药多组分残留的GC-MS法测定标准操作程序》,共监测水胺硫磷、氯唑磷、敌敌畏、乙酰甲胺磷、甲基对硫磷、灭线磷、毒死蜱、对硫磷、甲胺磷、杀扑磷、乐果、甲拌磷及其氧类似物、三唑磷、甲基异柳磷、马拉硫磷、丙溴磷、氧化乐果、

倍硫磷、二嗪磷、久效磷、杀螟硫磷、亚胺硫磷、乙拌磷、乙硫磷等24种有机磷农药。当检测结果为未检出时,对小于检出限(Limit of detection, LOD)的未检出数据用1/2LOD替代。

消费量数据来源于2018—2020年中国居民食物消费量调查中湖北省居民蔬菜消费量数据。湖北省居民蔬菜平均消费量为251.8 g/d,高端消费量($P_{97.5}$)为623.3 g/d。

1.2.2 判定依据

检测结果依据GB 2763—2021《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》进行判定。

1.2.3 膳食暴露评估方法

急性膳食暴露评估:采用危害商(Hazard quotient, HQ)对蔬菜中各种农药残留暴露风险进行评估。采用急性暴露危害商(Acute exposure hazard quotient, aHQ)对蔬菜中各种农药残留急性暴露风险进行评估。计算公式:

$$ESTI = \frac{C_{\max} \times F}{BW} \quad (1)$$

$$aHQ = \frac{ESTI}{ARfD} \quad (2)$$

式中:ESTI为农药急性暴露量(Estimated short term intake, ESTI), $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW})$;F为蔬菜消费量的P97.5,g/d; C_{\max} 为农药的最大残留量, $\mu\text{g}/\text{kg}$;BW(Body weight)为人群平均体质量(以60 kg计);ARfD(Acute reference dose)为急性参考剂量, $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW})$,ARfD来源于联合国粮农组织和世界卫生组织农药残留联席会议(Joint Meeting on Pesticide Residues, JMPR)。当aHQ≤1时,表示该农药急性暴露风险可以接受;若aHQ>1,表明该农药残留对人体急性暴露风险超过可接受限度。

慢性膳食暴露评估:采用慢性暴露危害商(Chronic exposure hazard quotient, cHQ)对蔬菜中各种农药残留慢性暴露风险进行评估。计算公式:

$$EDI = \frac{C_i \times F_i}{BW} \quad (3)$$

$$cHQ = \frac{EDI}{ADI} \quad (4)$$

式中:EDI(Estimated daily intake)为有机磷农药的慢性暴露量, $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW})$; C_i 为第*i*种农药的残留量平均值, $\mu\text{g}/\text{kg}$; F_i 为第*i*种蔬菜的消费量,g/d;每日容许摄入量(Allowable daily intake, ADI), $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW})$,ADI来源于GB 2763—2021;BW为人群的平均体质量(以60 kg计)。cHQ≤1时,表明该农药残留对人体慢性暴露风险可接受;若cHQ>1,表明该农药残留对人体慢性暴露风险超过可接受限度。

累积暴露评估:有机磷农药残留的累积暴露评

估利用危害指数法(Hazard index, HI)进行。HI是各农药暴露水平与其健康指导值的比值之和,即各类农药危害商之和。计算公式:

$$HI = \sum cHQ_i \quad (5)$$

当 $HI < 1$ 时,认为各类农药的累积暴露风险水平可以接受。

1.3 统计学分析

采用 Excel 进行数据录入,SPSS19.0 软件进行统计分析。农药残留检出率和超标率采用 χ^2 检验,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 蔬菜中有机磷农药的检出和超标情况

湖北省 2016—2020 年共监测蔬菜样品 2 182 份,监测 24 种有机磷农药,监测有机磷农药项次 26 321 项。在 24 种有机磷农药中,倍硫磷、二嗪磷、久效磷、杀螟硫磷、亚胺硫磷、乙拌磷和乙硫磷 7 种未检出,其他 17 种均有检出。2 182 份样品中,211 份样品检出有机磷农药,样品检出率为 9.67%,其中 53 份样品检出 2 种或以上有机磷农药,占检出样品的 25.12%,在 2 份样品中同时检出 4 种有机磷农药。31 份样品超标,样品超标率为 1.42%。超标的有机磷农药为水胺硫磷、氯唑磷、毒死蜱、甲胺磷、甲基异柳磷、甲拌磷和氧化乐果,2 份样品中检出 2 种及以上农药超标,其中 1 份样品中 3 种农药超标,另 1 份样品中 2 种超标。不同年度间超标率差异无统计学意义($\chi^2=0.908, P=0.341$)。

2.2 不同品种蔬菜中农药残留情况

不同品种蔬菜中农药残留情况监测结果显示,不同品种蔬菜样品中均检出有机磷农药残留,检出率较高的依次为叶菜类(12.91%)、茎类(12.50%)、茄果类(11.91%)和鳞茎类蔬菜(10.72%)。不同品种蔬菜的检出率差异有统计学意义($\chi^2=31.408, P < 0.05$)。超标率由高到低分别为叶菜类(2.55%)、鳞茎类(2.03%)、鲜豆类(1.74%)、甘蓝类(1.56%)和瓜菜类蔬菜(0.74%)。不同品种蔬菜的超标率差异有统计学意义($\chi^2=17.286, P < 0.05$)。见表 1。

2.3 不同品种农药残留情况

在检出的农药中,甲胺磷、对硫磷、甲基对硫磷、久效磷、杀扑磷是禁止使用的农药,甲拌磷、甲基异柳磷、水胺硫磷、灭线磷、乐果、氧化乐果、乙酰甲胺磷、毒死蜱、三唑磷、氯唑磷等是农业部规定禁止在蔬菜上使用的农药,仅丙溴磷、敌敌畏和马拉硫磷允许在蔬菜中使用。检出率较高的有机磷农药种类是毒死蜱(4.87%)、甲拌磷及其类似物(3.45%)、甲基对硫磷(2.02%)、丙溴磷(1.93%)和

敌敌畏(1.56%),见表 2。不同品种农药的检出率差异有统计学意义($\chi^2=346.516, P < 0.05$)。

表 1 不同品种蔬菜中农药残留情况

Table 1 Pesticide residues in different types of vegetables

食品类别	样品 份数	检出 项次	检出 份数	检出率/%	超标 份数	超标率/%
叶菜类	666	123	86	12.91	17	2.55
甘蓝类	192	11	8	4.17	3	1.56
块根和块茎类	247	28	20	8.10	0	0.00
瓜菜类	136	6	6	4.41	1	0.74
鲜豆类	172	21	16	9.30	3	1.74
鳞茎类	345	73	37	10.72	7	2.03
茄果类	235	40	28	11.91	0	0.00
茎类	64	11	8	12.50	0	0.00
水生类	125	2	2	1.60	0	0.00
总计	2 182	315	211	9.67	31	1.42

表 2 蔬菜中不同种类有机磷农药残留情况

Table 2 Results of different types of organophosphorus pesticide residues in vegetables

农药种类	样品 份数	检出 份数	检出 率/%	超标 份数	超标 率/%
水胺硫磷	1 871	12	0.64	7	0.37
氯唑磷	1 139	16	1.40	3	0.26
敌敌畏	963	15	1.56	0	0
乙酰甲胺磷	1 255	14	1.12	0	0
甲基对硫磷	1 188	24	2.02	0	0
灭线磷	1 272	9	0.71	0	0
毒死蜱	2 094	102	4.87	11	0.53
对硫磷	1 223	3	0.25	0	0
甲胺磷	1 505	8	0.53	1	0.07
杀扑磷	928	2	0.22	0	0
乐果	1 242	8	0.64	0	0
甲拌磷及其氧类似物	2 117	73	3.45	7	0.33
三唑磷	1 859	12	0.65	0	0
甲基异柳磷	1 464	3	0.20	1	0.07
马拉硫磷	192	1	0.52	0	0
丙溴磷	362	7	1.93	0	0
氧化乐果	1 935	4	0.21	1	0.05
倍硫磷	192	0	0	0	0
二嗪磷	60	0	0	0	0
久效磷	1 034	0	0	0	0
杀螟硫磷	132	0	0	0	0
亚胺硫磷	60	0	0	0	0
乙拌磷	60	0	0	0	0
乙硫磷	90	0	0	0	0
总计	24 237	313	1.29	31	0.13

湖北省的蔬菜中存在农药违法使用情况。超标的有机磷农药为毒死蜱、水胺硫磷、甲拌磷及其类似物、氯唑磷、甲胺磷、甲基异柳磷和氧化乐果。超标率较高的是毒死蜱(0.53%)、水胺硫磷(0.37%)

和甲拌磷及其类似物(0.33%)。不同品种农药的超标率差异有统计学意义($\chi^2=14.755, P<0.05$)。

2.4 蔬菜中农药残留膳食暴露评估

根据蔬菜中不同农药的最大含量和湖北省居民蔬菜消费量的 $P_{97.5}$,计算不同农药的急性暴露量,结果显示,湖北省居民不同有机磷农药的急性暴露量为 $0.06\sim46.44 \mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW})$,其中三唑磷的暴露量是 ARfD 的 2 389%,有急性暴露风险,其他有机磷农药的急性暴露量均<ARfD,急性暴露风险较低。

根据蔬菜中不同农药的平均含量和湖北省居民蔬菜的平均消费量,计算不同农药的慢性膳食暴露量,结合 ADI 计算每种农药的 cHQ,累计加和得

到 HI。结果显示,湖北省居民不同有机磷农药的平均 EDI 为 $4.62\times10^{-5}\sim2.40\times10^{-2} \mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW})$,cHQ 为 $1.37\times10^{-6}\sim1.07\times10^{-2}$,cHQ 最低的是马拉硫磷,最大的是甲拌磷及其氧类似物,但均远<1,EDI 高端暴露量(P_{90})为 $8.74\times10^{-5}\sim4.54\times10^{-2} \mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW})$,高暴露的 cHQ 为 $2.60\times10^{-6}\sim2.03\times10^{-2}$,提示湖北省居民不同有机磷农药的慢性暴露风险较低,累加得到 HI 为 0.03,小于 1,湖北省居民有机磷农药的慢性累积暴露风险较低。不同种有机磷农药中,甲拌磷及其类似物的贡献率最高(35.41%),其次为三唑磷(29.92%)、氯唑磷(14.68%)、毒死蜱(7.91%)和水胺硫磷(5.44%),其他有机磷农药的贡献率均在 2% 以下。

表3 蔬菜中不同种类有机磷农药急性和慢性膳食暴露评估

Table 3 Assessment of acute and chronic dietary exposure to organophosphorus pesticides in vegetables

农药种类	样品 份数	含量均值/ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	含量最大值/ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	ARfD/ $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW})$	ESTI/ $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW})$	aHQ	ADI/ $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW})$	EDI/ $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW})$		cHQ	
								均值 P_{90}	均值 P_{90}	均值 P_{90}	均值 P_{90}
丙溴磷	362	3.07	380	—	3.95	—	30	1.29E-02	2.44E-02	4.30E-04	8.14E-04
敌敌畏	963	0.04	8.8	100	0.09	0.0009	4	1.81E-04	3.42E-04	4.51E-05	8.54E-05
毒死蜱	2 094	5.71	4 470	100	46.44	0.46	10	2.40E-02	4.54E-02	2.40E-03	4.54E-03
对硫磷	1 223	0.01	6.1	10	0.06	0.01	4	4.62E-05	8.74E-05	1.15E-05	2.18E-05
甲胺磷	1 505	0.08	69.5	10	0.72	0.07	4	3.53E-04	6.67E-04	8.81E-05	1.67E-04
甲拌磷及其 氧类似物	2 117	1.79	68.0	3	0.71	0.24	0.7	7.51E-03	1.42E-02	1.07E-02	2.03E-02
甲基对硫磷	1 188	0.17	18.3	30	0.19	0.01	3	7.05E-04	1.33E-03	2.35E-04	4.45E-04
甲基异柳磷	1 464	0.04	51.0	—	0.53	—	3	1.76E-04	3.34E-04	5.88E-05	1.11E-04
乐果	1 242	0.14	101	20	1.05	0.05	2	5.67E-04	1.07E-03	2.83E-04	5.36E-04
氯唑磷	1 139	0.05	12.0	—	0.13	—	0.05	2.22E-04	4.21E-04	4.45E-03	8.42E-03
马拉硫磷	192	0.10	18.9	2 000	0.20	0.0001	300	4.11E-04	7.79E-04	1.37E-06	2.60E-06
灭线磷	1 272	0.02	6.3	50	0.07	0.0013	0.4	7.97E-05	1.51E-04	1.99E-04	3.77E-04
三唑磷	1 859	2.16	2 300	1	23.89	23.89	1	9.07E-03	1.72E-02	9.07E-03	1.72E-02
杀扑磷	928	0.04	30.4	10	0.32	0.03	1	1.72E-04	3.26E-04	1.72E-04	3.26E-04
水胺硫磷	1 871	1.18	631	—	6.56	—	3	4.95E-03	9.37E-03	1.65E-03	3.12E-03
氧化乐果	1 935	0.03	25.0	20	0.26	0.01	0.3	1.22E-04	2.30E-04	4.06E-04	7.68E-04
乙酰甲胺磷	1 255	0.58	323	100	3.36	0.03	30	2.43E-03	4.61E-03	8.11E-05	1.54E-04

注:—表示无相应参考值

采用不同性别-年龄组的平均消费量和体质量计算各性别-年龄组有机磷农药的暴露量,结果显示,各性别-年龄组中,3~7岁组暴露量最高,其次是8~12岁组,暴露量最低的是13~19岁女性组和13~19岁男性组。这是由于低年龄组体质量较小,单位体质量消费量和暴露量较高,暴露风险较高。

不同种类蔬菜中各有机磷农药暴露贡献率结果显示,甲拌磷及其类似物、三唑磷、氯唑磷和毒死蜱对 HI 的贡献较大,约为 66.16%~77.46%。

3 讨论

本研究分析了 2016—2020 年湖北省蔬菜中

24 种有机磷农药的残留情况和对人体健康的影响。结果显示,2 182 份样品中有机磷农药的检出率为 9.67%,其中有 31 份样品超标,超标率为 1.42%。毒死蜱、甲拌磷及其氧类似物的检出率和超标率较高。值得关注的是,隋海霞等^[15]、张婷等^[5]、赵岚等^[16]、罗莎等^[1]等分别分析了全国、云南省、黑龙江省、天津市有机磷农药残留情况,发现毒死蜱的超标率均处于前几位。毒死蜱是农业部规定的禁止在蔬菜上使用的农药,然而,包括本研究在内的几项研究中,毒死蜱的检出率和超标率在有机磷农药中均处于最高或较高水平,提示毒死蜱可能存在较为普遍的滥用情况,建议相关部门加强毒死蜱的监管。

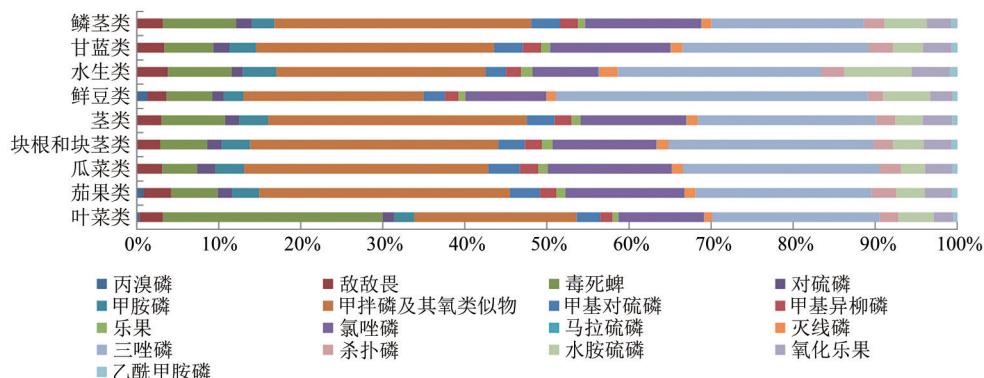


图1 不同种类蔬菜中各有机磷农药暴露贡献率

Figure 1 Exposure contribution rates of organophosphorus pesticides in different types of vegetables

表4 不同性别-年龄组有机磷农药暴露量

Table 4 Dietary exposure to organophosphorus pesticides of different age-sex group

性别-年龄组	平均消费量/(g/d)	平均暴露量/[$\mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{BW})$]
3~7岁	133.4	0.105
8~12岁	186.2	0.089
13~19岁男	204.3	0.060
13~19岁女	191.6	0.058
20~50岁男	265.6	0.060
20~50岁女	258.4	0.071
51~65岁男	296.8	0.070
51~65岁女	289.4	0.077
65岁以上男	265.5	0.065
65岁以上女	238.9	0.066

急性暴露评估结果显示,湖北省居民可能存在三唑磷的急性暴露风险,其他有机磷农药的急性暴露风险较低。慢性暴露评估结果显示,湖北省居民通过蔬菜的有机磷农药慢性暴露风险较低,有机磷农药的累积暴露风险也较低。此评估结果与国内其他地区蔬菜中农药残留现状和膳食暴露结果相近^[17~19]。不同研究发现,蔬菜中甲拌磷^[1]、久效磷、三唑磷^[20]可能存在急性暴露风险,有机磷农药通过蔬菜的慢性暴露风险和累积暴露风险较低,提示蔬菜中有机磷农药需重点关注急性暴露风险。不同种类蔬菜中,有机磷农药检出率、超标率、膳食暴露贡献率最高的均为叶菜类蔬菜^[21~24],提示应重点加强叶菜类蔬菜中农药的监管。

本研究采用点评估的方法对湖北省蔬菜中农药残留风险进行评价,点评估的方法可能会造成评估结果的不确定性,本次累积暴露评估采用HI,但由于不同有机磷农药的ADI是基于不同的毒性终点,叠加计算累积暴露风险时可能存在一定的不确定性。此外,本研究仅考虑了蔬菜中农药残留,居民农药膳食暴露风险还可能来源于水果、食用菌、茶叶等其他食品,后续还需开展进一步的评估,系统评价湖北省居民的农药残留暴露风险。

参考文献

- [1] 罗莎,赵帅,高春海,等.2016—2020年天津市市售蔬菜中农药残留状况及膳食暴露评估[J].中国食品卫生杂志,2022,34(6):1238-1243.
- [2] LUO S, ZHAO S, GAO C H, et al. Present situation and dietary exposure assessment of pesticide residues in vegetables sold in Tianjin from 2016 to 2020[J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2022, 34(6): 1238-1243.
- [3] LIANG S X, LI H, CHANG Q, et al. Residual levels and dietary exposure risk assessment of banned pesticides in fruits and vegetables from Chinese market based on long-term nontargeted screening by HPLC-Q-TOF/MS[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2022, 248: 114280.
- [4] TANG F H M, LENZEN M, MCBRATNEY A, et al. Risk of pesticide pollution at the global scale [J]. Nature Geoscience, 2021, 14: 206-210.
- [5] 张婷,万玉萍,段毅宏,等.云南省新鲜蔬菜中11种有机磷农药残留情况分析及慢性累积暴露评估[J].中国食品卫生杂志,2019,31(5):475-480.
- [6] ZHANG T, WAN Y P, DUAN Y H, et al. Contamination and cumulative risk assessment of 11 organophosphorus pesticides in fresh vegetables from Yunnan Province [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2019, 31(5): 475-480.
- [7] SANG C, NIU Y, GAO Q, et al. Characterizing the cumulative health risks of 19 kinds of pesticides in Chinese food from the cancer and non-cancer perspective [J]. Journal of Environmental Management, 2024, 351: 119813.
- [8] WANG J, WANG Z, DOU Y, et al. Ecological risk assessment for typical organophosphorus pesticides in surface water of China based on a species sensitivity distribution model [J]. Science of The Total Environment, 2024, 913: 169805.
- [9] 孙金芳,余小金,闵捷,等.我国有机磷农药膳食暴露累积风险评估模型构建[J].东南大学学报(医学版),2017,36(5):789-794.
- [10] SUN J F, YU X J, MIN J, et al. Construction of cumulative risk assessment model for dietary exposure to organophosphorus pesticides in China [J]. Journal of Southeast University (Medical Science Edition), 2017, 36(5): 789-794.

- [9] CHEN Z, XU Y, LI N, et al. A national-scale cumulative exposure assessment of organophosphorus pesticides through dietary vegetable consumption in China[J]. Food Control, 2019, 104(3): 34-41.
- [10] US EPA. Organophosphate Pesticides: Revised Cumulative Risk Assessment[R]. Washington, DC: US Environmental Protection Agency, 2002.
- [11] JOKANOVIĆ M, OLEKSAK P, KUCA K. Multiple neurological effects associated with exposure to organophosphorus pesticides in man[J]. Toxicology, 2023, 484: 153407.
- [12] CZAJKA M, MATYSIAK-KUCHAREK M, JODŁOWSKA-JĘDRYCH B, et al. Organophosphorus pesticides can influence the development of obesity and type 2 diabetes with concomitant metabolic changes[J]. Environmental Research, 2019, 178: 108685.
- [13] MORTAZAVI N, ASADIKARAM G, EBADZADEH M R, et al. Organochlorine and organophosphorus pesticides and bladder cancer: a case-control study[J]. Journal of Cellular Biochemistry, 2019, 120(9): 14847-14859.
- [14] 中华人民共和国农业农村部. 禁限用农药名录[EB/OL]. (2019-11-29) [2024-06-14]. http://www.moa.gov.cn/xw/bmjt/201911/t20191129_6332604.htm. Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. List of banned and restricted pesticides[EB/OL]. (2019-11-29) [2024-06-14]. http://www.moa.gov.cn/xw/bmjt/201911/t20191129_6332604.htm.
- [15] 隋海霞, 杨大进, 蒋定国, 等. 相对效能因子法在有机磷农药慢性累积膳食风险评估中的应用研究[J]. 中国食品卫生杂志, 2016, 28(4): 523-528.
- SUI H X, YANG D J, JIANG D G, et al. Relative potency factor approach and its application in organophosphorus pesticide chronic cumulative dietary risk assessment in Chinese population[J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2016, 28(4): 523-528.
- [16] 赵岚, 陈彦凤, 栾丹, 等. 黑龙江省常见蔬菜中有机磷农药残留膳食暴露风险评估[J]. 中国公共卫生管理, 2018, 34(4): 526-528, 533.
- ZHAO L, CHEN Y F, LUAN T, et al. Risk assessment of dietary exposure for organophosphorus pesticide residues in common vegetables in Heilongjiang province[J]. Chinese Journal of Public Health Management, 2018, 34(4): 526-528, 533.
- [17] 郭蓉, 王玮, 刘存卫, 等. 陕西省部分蔬菜中有机磷农药残留的膳食暴露风险评估[J]. 预防医学, 2018, 30(2): 148-152.
- GUO R, WANG W, LIU C W, et al. Risk assessment of dietary exposure for organophosphates pesticides residues in some vegetables in Shaanxi Province[J]. Preventive Medicine, 2018, 30(2): 148-152.
- [18] 聂宏骞, 赖宣丞, 黄圣南, 等. 2019—2020年海南省蔬菜农药残留及膳食暴露评估[J]. 环境与健康杂志, 2022, 39(6): 256-260.
- NIE H Q, LAI X C, HUANG S N, et al. Pesticide residues in vegetables and dietary exposure assessment in Hainan[J]. Journal of Environment and Health, 2022, 39(6): 256-260.
- [19] 李安, 王北洪, 潘立刚, 等. 北京市蔬菜中农药残留现状及慢性膳食暴露评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(3): 1164-1169.
- LI A, WANG B H, PAN L G, et al. Present situation and chronic dietary exposure assessment of pesticide residues in vegetables in Beijing[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2016, 7(3): 1164-1169.
- [20] 李读兴, 阎延荣. 2016年—2020年枣庄市市售蔬菜中农药残留污染状况和膳食暴露评估[J]. 中国卫生检验杂志, 2021, 31(20): 2545-2550.
- LI D X, KAN Y R. Assessment of pesticide residues pollution and dietary exposure in commercially available vegetables in Zaozhuang City from 2016 to 2020[J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2021, 31(20): 2545-2550.
- [21] 左晓磊, 刘培, 齐琨, 等. 2018年石家庄市蔬菜中农药残留及慢性膳食暴露评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(18): 6562-6567.
- ZUO X L, LIU P, QI K, et al. Assessment of pesticide residues and chronic dietary exposure in vegetables in Shijiazhuang city in 2018[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2020, 11(18): 6562-6567.
- [22] 蔡圆圆, 林丹, 山若青, 等. 2016年—2017年温州市市售蔬菜中有机磷农药残留监测结果分析及膳食暴露风险评估[J]. 中国卫生检验杂志, 2019, 29(22): 2792-2794, 2801.
- CAI Y Y, LIN D, SHAN R Q, et al. Current situation and dietary exposure assessment of organophosphorus pesticides residues in vegetables from Wenzhou markets, 2016—2017[J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2019, 29(22): 2792-2794, 2801.
- [23] 孙玲, 黄健祥, 邓义才, 等. 广东省主要叶菜农药残留膳食暴露风险评估研究[J]. 食品科学, 2017, 38(17): 223-227.
- SUN L, HUANG J X, DENG Y C, et al. Risk assessment of dietary exposure to pesticide residues in staple leaf vegetables in Guangdong province[J]. Food Science, 2017, 38(17): 223-227.
- [24] 郭蓉, 王玮, 田丽, 等. 陕西省主要叶菜中有机磷农药残留的膳食暴露风险评估[J]. 现代预防医学, 2017, 44(11): 1965-1968, 1973.
- GUO R, WANG W, TIAN L, et al. Risk assessment of dietary exposure to organophosphates pesticides residues in staple leaf vegetables in Shanxi province[J]. Modern Preventive Medicine, 2017, 44(11): 1965-1968, 1973.