

海南与广西地区农药污染及人体暴露现状

李娟华¹, 刘钧淇¹, 覃 宁¹, 彭 阳¹, 李 涵¹, 徐顺清²

(1. 广西医科大学公共卫生学院, 南宁 530021; 2. 海南大学环境科学与工程学院, 海口 570228)



徐顺清, 教育部长江学者特聘教授, 获国务院政府特殊津贴, 入选国家百千万人才工程, 海南大学环境科学与工程学院院长, 生态环境部环境污染健康效应重点实验室主任。先后主持国家“973”、“863”、国家重点研发计划、国家自然科学基金重点项目等国家重大重点项目10余项。现任国家环境与健康专家咨询委员会委员、中国环境科学学会环境与健康数据标准与信息共享咨询专家委员主任委员、环境医学与健康分会副主任委员, *Eco-environment & health*、*Current medical science* 副主编, *International journal of hygiene and environmental health*、*Journal of applied toxicology* 等杂志编委。长期从事环境污染物人群健康风险识别和评估研究, 特别是环境污染对孕妇和儿童健康的影响及其机制研究, 环境与健康相关标准研究。在 *New england journal of medicine*、*Lancet infectious diseases*、*Lancet planetary health* 等高质量学术期刊发表SCI论文310余篇。荣获国家科技进步奖二等奖1项、湖北省科技进步奖一等奖2项、环境保护科技奖一等奖1项、湖北省自然科学奖二等奖1项、教育部自然科学奖二等奖1项等。

摘要 海南省和广西壮族自治区(广西)作为我国重要的农业生产区域, 受气候、土壤等因素的影响, 为提高农作物的收成率, 两个地区的农药使用量相对较高。然而, 这也导致蔬果中农药残留的增加, 以及农药成分在土壤、水体和沉积物等环境介质中的广泛检出, 进而对环境和人类健康产生不利影响。本文综述了海南和广西地区蔬果、土壤、水体和沉积物中农药污染现状, 以及生物体的农药暴露情况, 旨在为全面了解两地的污染状况和科学监管提供参考。

关键词 海南; 广西; 农药; 暴露水平

中图分类号: R994.4 文献标志码: A 文章编号: 1005-930X(2024)11-1464-06

DOI: 10.16190/j.cnki.45-1211/r.2024.11.003

Pesticide pollution and human exposure in Hainan and Guangxi

LI Juanhua¹, LIU Junqi¹, QIN Ning¹, PENG Yang¹, LI Han¹, XU Shunqing². (1. School of Public Health, Guangxi Medical University, Nanning 530021, China; 2. School of Environmental Science and Engineering, Hainan University, Haikou 570228, China)

Abstract Hainan Province and Guangxi Zhuang Autonomous Region (Guangxi), as important agricultural production areas in China, are affected by factors such as climate and soil conditions. Both regions experience relatively high pesticide usage to boost crop yields. However, this practice has resulted in increased pesticide residues in fruits and vegetables, along with the widespread detection of pesticide components in environmental media, including soil, water, and sediment, which in turn poses adverse effects on both the environment and human health. This article offers an overview of the current situation of pesticide pollution in fruits, vegetables, soil, water bodies, and sediments in Hainan and Guangxi, as well as the exposure of organisms to pesticides. The aim is to provide a comprehensive reference for understanding the pollution situation and enhancing scientific supervision in Hainan and Guangxi.

Keywords Hainan; Guangxi; pesticides; exposure levels

农药作为重要的农业生产资料, 在保障农作物稳产、高产方面发挥了不可替代的作用。然而, 在实际的农业生产中, 农药不规范、不科学地使用以及超范围施药的现象普遍存在^[1]。一般情况下, 农

药施用后, 只有不到1%的药剂能够有效作用于目标生物^[2], 目前, 在土壤、水体等环境介质和生物体内均能检测到农药残留^[3]。农药可以在土壤和水体等多种介质中扩散, 而人群长期暴露于环境中低浓

[基金项目] 广西杰出青年科学基金资助项目(No.2024GXNSFFA010012)

[通信作者] 李涵, E-mail: leehan1988@126.com; 徐顺清, E-mail: xus@hainanu.edu.cn

[收稿日期] 2024-08-24

度农药的健康风险仍不明确。因此,监测环境中的农药残留对于保障人群健康至关重要。

海南省是我国热带地区重要的农产品生产区域,拥有广泛的果蔬种植业^[4]。广西壮族自治区(广西)具有丰富的水热资源,水果产量位居全国第一^[5]。作为农业大省,海南和广西两地在农药外暴露和内暴露方面的综合研究尚较缺乏,现有研究大多集中于单一环境或生物样品、或单一农药的检测。因此,本文综述了近年来海南和广西地区蔬菜水果、环境介质和生物体中的农药暴露水平,旨在为两地农药的安全使用和科学监管提供参考依据。

1 蔬果农药污染情况

针对海南和广西蔬果中农药残留的长期监测结果显示,蔬果常见的残留农药主要包括杀虫剂、杀菌剂和除草剂等,其中杀虫剂包括有机磷类、拟除虫菊酯类、新烟碱类、氨基甲酸酯类及有机氯类等。与传统的有机磷、氨基甲酸酯和拟除虫菊酯类农药相比,新烟碱类农药因其高效、广谱和高选择性,已成为全球使用最广泛的杀虫剂之一^[6],并广泛检出于两地蔬果。此外,有研究报道检出了国家明令禁止在蔬菜上使用的农药,例如甲拌磷和毒死蜱^[7]。

有机磷农药价格低廉、效果显著且易于分解,因此被广泛应用。但有机磷农药具有神经毒性作用,能与乙酰胆碱酯酶的催化位点不可逆结合,抑制参与神经传递的关键酶,长期暴露会对中枢神经系统造成严重危害^[8]。我国自2007年起开始逐步禁用甲胺磷等多种高毒有机磷农药^[9]。然而,2023年的一项研究在海南芹菜样品中检出了毒死蜱(检出率22.6%)、敌敌畏(检出率2.6%)、丙溴磷(检出率0.9%)和甲拌磷(检出率0.9%)4种有机磷类农药,其中毒死蜱和甲拌磷禁止在蔬菜上使用,敌敌畏属于禁用农药^[7]。海南芒果中也检出毒死蜱,检出率为21.35%^[10]。根据现有文献报道,广西蔬果中有机磷农药检出率相对较低,敌敌畏、敌百虫和毒死蜱的检出率均为0.32%^[11]。

拟除虫菊酯类农药是一类具有高效、广谱、低毒和可生物降解等特性的合成杀虫剂,其作用机理是扰乱昆虫神经的正常生理,使之由兴奋、痉挛到麻痹而死亡^[12]。而对于人体,拟除虫菊酯类农药可通过与钠通道的相互作用和诱导神经细胞长时间的去极化从而影响神经系统,具有潜在的健康风

险^[13]。在海南的芹菜样本中,检出了氯氰菊酯、高效氯氰菊酯、甲氰菊酯和联苯菊酯4种拟除虫菊酯类农药^[7]。海南芒果样本中拟除虫菊酯类农药的检出率为31.46%,包括联苯菊酯、氯氰菊酯和氯氟氰菊酯^[10]。广西富川县2017—2021年蔬果中检出5种拟除虫菊酯类农药,检出率由高到低依次为氯氟氰菊酯(4.96%)、氯氰菊酯(2.08%)、联苯菊酯(1.12%)、氰戊菊酯(0.32%)和溴氰菊酯(0.32%)^[11]。2017年广西49份荔枝样品中拟除虫菊酯类农药检出率较高,氯氰菊酯和氯氟氰菊酯的检出率分别为69.4%和20.4%,最大残留限量分别为0.5 mg/kg和0.1 mg/kg,残留水平超过我国农药残留标准^[14]。

新烟碱类农药是一类与烟碱结构相似的合成化合物,能选择性地与昆虫乙酰胆碱受体结合,阻断中枢神经正常传导,进而导致昆虫麻痹、死亡,被认为是一类对哺乳动物毒性低,安全、高效、高选择性的新型杀虫剂,使用量逐年上升。然而近年来越来越多的研究显示,新烟碱类农药对蚯蚓和蜜蜂具有高毒性,还可能对人体具有神经毒性,需要引起高度重视^[15]。黎承等^[16]在2022年开展海南省市售蔬菜中农残情况检测时,发现新烟碱类检出率为30.3%,其中检出率最高的是噻虫嗪(12.3%)。广西豇豆样本中有16.7%同时检出2种及以上农药残留^[17]。此外,海南芹菜和芒果等蔬果均报道有新烟碱类农药检出,其中芒果吡虫啉检出率高达47.19%^[7,10]。

氨基甲酸酯类化合物是一种可逆的胆碱酯酶抑制剂,可导致神经突触和神经肌肉连接功能异常^[18]。曾有报道,广西荔枝出现克百威和灭多威残留浓度超过我国热带及亚热带水果农药残留限量标准的最大残留限量(均为0.02 mg/kg),且根据残留风险得分显示,这两种农药为高风险农药^[14]。海南178份芒果样品中,灭多威检出率为1.69%,其中1份样品残留浓度检出超过我国最大残留限量值0.2 mg/kg^[10]。有机氯农药是一类环境持久性污染物,具有“三致”作用和生物蓄积性^[19]。我国自1983年起,已不再允许在农业中使用有机氯农药^[20],但其仍能在环境介质中检出。广西2017—2021年果蔬中有机氯农药腐霉利和乙烯菌核利仍有残留检出,检出率分别为7.84%和4.8%^[11]。

与杀虫剂相比,海南和广西两地果蔬杀菌剂残留的相关报道相对有限。在海南省开展的研究表明,芹菜等作物中常见的杀菌剂如苯醚甲环唑、吡唑醚菌酯等的检出率较高,部分农药如吡唑醚菌酯

和苯醚甲环唑在芒果中的残留量甚至超过最大残留限量(分别为 0.05 mg/kg 和 0.2 mg/kg)^[10]。广西和海南的香蕉中也发现多种杀菌剂的残留,并有部分超限量检出^[21]。广西荔枝样本中农药检出率高达93.9%,其中多菌灵、丙环唑等杀菌剂的检出率超过20%^[14]。

综上,近年来海南和广西蔬果中的农药残留问题严重,尤其是同一样本检出多种农药残留的现象较为普遍。尽管总体健康风险评估较低,但仍存在潜在风险,特别是禁用和高毒农药的残留值得进一步关注。

2 土壤、水体和水体沉积物农药污染情况

2023年发表在《自然》杂志上的一项全球研究指出,每年约有7万吨农药渗入含水层,影响淡水资源;约80%的施用农药会降解并进入作物周围的土壤,威胁生态系统和人类健康^[22]。因此,环境介质中农药污染情况同样需要引起高度重视。

海南和广西两地土壤、水体和水体沉积物等多种环境介质中,均有农药检出报道。在土壤环境介质中的农药残留检测方面,有研究报道在海南省南渡江水稻—蔬菜轮作地区土壤样本中除草剂普遍检出,浓度最高的是有机磷类除草剂;草甘膦、氨基膦酸、丁草胺和乙草胺等有机磷和苯胺类农药构成了较高的生态风险^[23]。谭华东等^[24]对海南省南渡江沿河流域的典型瓜菜种植区耕作层土壤进行检测,发现所有样本均有农药检出,并存在多种农药残留的情况(≥ 7 种),其中拟除虫菊酯类农药联苯菊酯的检出浓度最高。该研究团队同时期在海南热带稻—菜轮作区采集了水、水体沉积物、土壤等环境样本,发现新烟碱类农药的检出率和检出浓度较高,其中吡虫啉和噻虫嗪的占比最高^[25]。此外,在南渡江流域农业土壤中多菌灵、吡虫啉、甲基硫菌灵、丁草胺等多种当前使用农药均有检出^[26]。在2013年进行的广西漓江流域果园表土研究中,发现所检测的21种有机氯农药检出率为24%^[27]。

针对水中的农药残留,何书海等^[28]在2019年于海南省槟榔园附近采集的水样中检测出草甘膦,其浓度范围为 $0.67\sim 0.91\text{ }\mu\text{g/L}$ 。另一项在我国东中部区域开展的研究发现,海南地表水中啶虫脒、噻虫胺、吡虫啉、噻虫啉和噻虫嗪5种新烟碱类农药总环境暴露浓度最高($0.35\text{ }\mu\text{g/L}$)^[29]。在广西,2019年6月,

一项研究检测了我国32个省份的饮用水和地下水样本中12种新烟碱类农药代谢物浓度,发现广西地区水样的中位数浓度在各省份中最高(25.8 ng/L),而南宁市水样中新烟碱类农药的代谢物中位数浓度也处于各采样城市的首位(83.7 ng/L)^[30]。同年,有研究报道北部湾近岸海水未检出滴滴涕(DDTs)和六六六(HCHs),推断这可能得益于我国在30余年前就已经禁止使用DDTs和HCHs^[20,31]。

目前,关于海南和广西地区水体沉积物中农药残留的研究主要集中在有机氯农药上。研究显示,海南淡水区沉积物中检出10余种有机氯农药,如HCHs、DDTs、 α -硫丹等,其中DDTs主要来源于新输入,部分地区可能仍在使用DDT,而HCHs主要来源于农药的使用^[32]。刘保良等^[33]研究广西北海市近岸海域的表层沉积物样品,发现DDTs含量介于检出限以下和 3.82 ng/g 之间,平均值低于国家标准,表明污染总体较轻。总体而言,海南和广西地区水体沉积物中有机氯农药的生态风险较低,但部分区域仍存在一定的农药暴露风险,需持续关注其对健康的潜在影响。

3 生物体农药暴露情况

环境中的农药残留通过不同介质传播,最终通过摄食、饮水等途径进入生物体内。研究表明,海南松涛水库鱼类和螺蛳中主要的农药污染物为DDTs,这可能主要源于历史遗留的污染,并通过食物链积累于生物体内,总体污染较轻^[34]。在广西淡水中,野生罗非鱼体内检出的主要农药残留为DDTs、硫丹等有机氯农药,其残留水平与历史使用有关,同时部分河流也可能存在新的DDTs输入^[35]。总之,广西鱼类中的有机氯农药总浓度高于海南,但与其他沿海地区如西南群岛、珠江三角洲等相比残留水平相对较低,食用这些鱼类不会对当地居民构成重大健康风险^[35]。

4 人体农药暴露情况

目前关于海南和广西两地人群农药暴露情况的相关研究较为有限。一项在海南孕妇人群中开展的研究显示,孕妇尿液中8种新烟碱类农药及其代谢物浓度中位数范围为 $0.03\sim 1.04\text{ ng/mL}$,其中噻虫嗪和噻虫胺的中位数浓度均为 0.05 ng/mL ^[36],低于日本孕妇暴露水平(中位数浓度分别为 $7.4\text{ }\mu\text{g/g}$ 肌酐和 $15.3\text{ }\mu\text{g/g}$ 肌酐,检出限分别为 1.03 ng/mL 和

0.43 ng/mL)^[37]。在海南省陵水市人群的血清中,有机氯农药六氯苯的浓度平均值为190.03 ng/g脂质,约为日本、瑞典和美国人群中报道浓度的10倍;研究人群血样中总有机氯农药浓度的算术平均值为850 ng/g脂质,且血清样本的平均总有机氯农药浓度随研究对象年龄的下降而降低^[38]。广西壮族人群出生队列研究发现,其孕妇人群血清中9种新烟碱类农药原型和1种代谢物(n-去甲基啶虫脒)的检出率为49%~87%,其中暴露水平较高的是烯啶虫胺(中位数浓度0.131 ng/mL)和n-去甲基啶虫脒(中位数浓度0.101 ng/mL)^[39]。另一项来自广西的病例一对照研究在人群血清中检出了9种有机氯农药、11种有机磷农药、甲氰菊酯和12种除草剂^[40]。

5 总结与展望

本文综述了海南省与广西壮族自治区蔬果、土

壤、水体、水体沉积物和生物体内的农药暴露现状,研究表明,农药在多种环境介质中均有不同程度的检出,且在部分样品中农药残留量超过我国最大残留限量标准,在部分蔬果中甚至检出已禁用农药。膳食摄入和生态风险评估结果显示,多数环境介质中的农药暴露风险较低,但仍需加强监测和管理。尽管许多高残留剧毒农药已被新型低毒农药取代,但部分农药可能存在尚未明确的毒性作用,对人群健康和环境造成潜在负面影响,仍需要引起高度重视。根据主要农药的检出率、毒性及半衰期显示(表1、表2),当前两地污染现状比较严峻,建议相关部门可从源头、中间和使用者等各环节进行综合管理,完善农药生产、销售、使用管理体系,加强农药安全使用监管力度,对使用者开展农药危害宣传教育,引导高效、低毒新型农药的推广和使用,促进海南和广西农业可持续发展。

表1 海南和广西地区蔬果、土壤、水体和沉积物中农药检出率水平

农药种类		蔬果		土壤		水体		沉积物	
		海南/%	广西/%	海南/%	广西/%	海南/%	广西/%	海南/%	广西/%
有机磷类	毒死蜱	21.35~22.6 ^[7,10]	0.32 ^[11]	84.4 ^[26]	-	-	-	-	-
	敌敌畏	2.6 ^[7]	0.32 ^[11]	-	-	-	-	-	-
	丙溴磷	0.9 ^[7]	-	-	-	-	-	-	-
	甲拌磷	0.9 ^[7]	-	-	-	-	-	-	-
	草甘膦	-	-	88.2 ^[23]	-	11.8~34.0 ^[23,28]	-	92.4 ^[23]	-
	氨基甲基膦酸	-	-	99.3 ^[23]	-	11.8~24.3 ^[23,28]	-	86.1 ^[23]	-
拟除虫菊酯类	草铵膦	-	-	75.0 ^[23]	-	2.9~37.5 ^[23,28]	-	64.6 ^[23]	-
	氯氟菊酯	9.6~12.36 ^[7,10]	2.08~69.4 ^[11,14]	-	-	-	-	-	-
	联苯菊酯	0.9~12.92 ^[7,10]	1.12 ^[11]	75 ^[24]	-	-	-	-	-
	氯氟氰菊酯	2.25 ^[10]	4.96~20.4 ^[11,14]	-	-	-	-	-	-
新烟碱类	高效氯氟菊酯	7.0 ^[7]	-	-	-	-	-	-	-
	噻虫嗪	12.3 ^[16]	-	98.2 ^[25]	-	99.1 ^[25]	-	99.1 ^[25]	-
	啶虫脒	9.02 ^[16]	-	76.8~100 ^[25,26]	-	99.1 ^[25]	-	99.1 ^[25]	-
	吡虫啉	7.38 ^[16]	-	96.1~100 ^[25,26]	-	99.1 ^[25]	-	99.1 ^[25]	-
	噻虫胺	4.10 ^[16]	-	98.2 ^[25]	-	99.1 ^[25]	-	99.1 ^[25]	-
	呋虫胺	6.56 ^[16]	-	100 ^[25]	-	93.8 ^[25]	-	93.8 ^[25]	-
	噻虫啉	-	-	76.8 ^[25]	-	43.2 ^[25]	-	63.4 ^[25]	-
	氯噻啉	-	-	73.2 ^[25]	-	92.9 ^[25]	-	92.5 ^[25]	-
氨基甲酸酯类	烯啶虫胺	-	-	35.4 ^[25]	-	23.2 ^[25]	-	8.9 ^[25]	-
	灭多威	1.69 ^[10]	-	-	-	-	-	-	-
	茚虫威	-	-	28.5 ^[26]	-	-	-	-	-
有机氯类	腐霉利	-	7.84 ^[11]	-	-	-	-	-	-
	乙烯菌核利	-	4.80 ^[11]	-	-	-	-	-	-
	滴滴涕	-	-	100 ^[24]	68.8 ^[27]	100 ^[32]	0 ^[20]	11.6 ^[20]	65 ^[33]
	六六六	-	-	100 ^[24]	11.1 ^[27]	100 ^[32]	0 ^[20]	0 ^[20]	-

-:未报道。

表2 海南和广西地区主要农药的LD₅₀及半衰期

农药种类		LD ₅₀	半衰期	来源
有机磷类	毒死蜱	大鼠,经口,163.24 mg/kg	大鼠,10~16 h;海水,24 d; 土壤,15.8~17.3 d	ATSDR
	敌敌畏	大鼠,经口,17 mg/kg	水体,几天至几周; 土壤,17 d	ATSDR
	甲拌磷	雄性大鼠,经口,2.3 mg/kg; 雌性大鼠,经口,1.1 mg/kg	土壤,7~9 d	ATSDR; PubChem
	草甘膦	大鼠,经口,4 320 mg/kg	土壤,2~215 d; 水体,1.5~130 d	ATSDR
拟除虫菊酯类	氯氰菊酯	大鼠,经口,250.89 mg/kg	土壤,63~71 d; 河流和海水,0.6~1 d	ATSDR; PubChem
	溴氰菊酯	雄性大鼠,经口,128 mg/kg	大鼠,静脉,33 h; 土壤,5.7~209 d	PubChem; ATSDR
新烟碱类	噻虫嗪	大鼠,经口,1 563 mg/kg	大鼠,组织,2~6 h; 地表水,7.9~39.5 d	PubChem
	啶虫脒	雄性大鼠,经口,417 mg/kg; 雌性大鼠,经口,314 mg/kg	土壤,<1~8.2 d	PubChem
	吡虫啉	雄性大鼠,经口,424 mg/kg; 雌性大鼠,经口,450~475 mg/kg	土壤,34 d	PubChem
氨基甲酸酯类	涕灭威	大鼠,经口,0.65 mg/kg	土壤,7 d;水体,34~94 d	PubChem
有机氯类	滴滴涕	大鼠,经口,250 mg/kg	土壤,2~15 y; 水体,>150 y	ATSDR
	六六六	雄性大鼠,经口,88 mg/kg(γ -HCH); 雌性大鼠,经口,91 mg/kg(γ -HCH)	人体血液,7.2 y(β -HCH); 水体,191 d(γ -HCH); 土壤,2.3~24.8 d(γ -HCH)	ATSDR

LD₅₀:导致50%的动物死亡的暴露剂量;ATSDR:美国毒物和疾病登记署;PubChem:有机小分子生物活性数据。

参考文献:

- [1] 陈惠清,杨丹萍,梁和平,等.河池市蔬菜中农药残留现状及对策[J].广东农业科学,2010,37(3):153-154,161.
- [2] PEREIRA L C, BERNARDES M F F, PAZIN M, et al. Impact of pesticides on environmental and human health[J]. Toxicology studies-cells, drugs and environment, intech open, London, UK, 2015: 195-233.
- [3] KAUR R, CHOUDHARY D, BALI S, et al. Pesticides: An alarming detrimental to health and environment[J]. The science of the total environment, 2024, 915:170113.
- [4] 伍婷,李备,吴龙.海南热带果蔬农药残留现状分析及对策研究[J].食品安全质量检测学报,2023,14(13):117-125.
- [5] 屠爽爽,简代飞,龙花楼,等.广西主要农作物生产格局演变特征与机制研究[J].地理学报,2022,77(9):2322-2337.
- [6] BASS C, DENHOLM I, WILLIAMSON M S, et al. The global status of insect resistance to neonicotinoid insecticides[J]. Pesticide biochemistry and physiology, 2015, 121:78-87.
- [7] 梁晓涵,林敏,万娜,等.基于食品安全指数法和危害物风险系数法评估海南芹菜的农药残留风险[J].食品安全质量检测学报,2023,14(1):112-121.
- [8] BURKE R D, TODD S W, LUMSDEN E, et al. Develop-
- mental neurotoxicity of the organophosphorus insecticide chlorpyrifos: From clinical findings to preclinical models and potential mechanisms[J]. Journal of neurochemistry, 2017, 142(Suppl 2):162-177.
- [9] 农业部办公厅印发《2007年甲胺磷等5种高毒有机磷农药管理工作方案》[J].中国植保导刊,2007(7):42-43.
- [10] 马晨,张群,刘春华,等.海南芒果中农药多残留分析[J].农药学学报,2021,23(3):552-560.
- [11] 黄世海,严吉婷,陈金瑛,等.广西富川果蔬农残检出率的季节性差异及监管建议[J].黑龙江农业科学,2023(6):72-78.
- [12] JUREWICZ J, RADWAN P, WIELGOMAS B, et al. Exposure to pyrethroid pesticides and ovarian reserve[J]. Environment international, 2020, 144:106028.
- [13] LUCERO B, MUÑOZ-QUEZADA M T. Neurobehavioral, neuromotor, and neurocognitive effects in agricultural workers and their children exposed to pyrethroid pesticides: A review[J]. Frontiers in human neuroscience, 2021, 15:648171.
- [14] 王运儒,邓有展,陈永森,等.广西荔枝农药残留现状及膳食风险评估[J].南方农业学报,2018,49(9):1804-1810.
- [15] ZHANG D, LU S. Human exposure to neonicotinoids and the associated health risks: A review[J]. Environment international, 2022, 163:107201.
- [16] 黎承,赖宣丞,叶海湄,等.2022年海南省售蔬菜中烟碱类农药残留状况分析及膳食暴露评估[J].职业与健

- 康, 2023, 39(22):3076-3080.
- [17] HUAN Z, XU Z, LUO J, et al. Monitoring and exposure assessment of pesticide residues in cowpea (*vigna unguiculata* l. Walp) from five provinces of southern china [J]. *Regul toxicol pharmacol*, 2016, 81:260-267.
- [18] MISHRA S, PANG S, ZHANG W, et al. Insights into the microbial degradation and biochemical mechanisms of carbamates[J]. *Chemosphere*, 2021, 279:130500.
- [19] SIDDIQUE S, CHAUDHRY M N, AHMAD S R, et al. Ecological and human health hazards; integrated risk assessment of organochlorine pesticides (ocps) from the chenab river, pakistan[J]. *The science of the total environment*, 2023, 882:163504.
- [20] 苏伟, 郭梅修, 任朝兴, 等. 广西近岸海水和沉积物中有机氯农药的分布及生态风险[J]. *中国环境监测*, 2024, 40(3):156-164.
- [21] 马晨, 张群, 刘春华, 等. 香蕉果实中杀菌剂的残留、分布与膳食评估[J]. *热带作物学报*, 2022, 43(1):153-164.
- [22] MAGGI F, TANG F H M, TUBIELLO F N. Agricultural pesticide land budget and river discharge to oceans[J]. *Nature*, 2023, 620(7976):1013-1017.
- [23] TAN H, XING Q, MO L, et al. Occurrence, multiphase partitioning, drivers, and ecological risks of current-use herbicides in a river basin dominated by rice-vegetable rotations in tropical china[J]. *The science of the total environment*, 2024, 908:168270.
- [24] 谭华东, 赵淑巧, 吴东明, 等. 微量quechers/气相色谱质谱法快速测定土壤中15种农药残留[J]. *化学试剂*, 2020, 42(2):147-153.
- [25] TAN H D, WANG C M, ZHU S P, et al. Neonicotinoids in draining micro-watersheds dominated by rice-vegetable rotations in tropical china: Multimedia occurrence, influencing factors, transport, and associated ecological risks [J]. *Journal of hazardous materials*, 2023, 446:130716.
- [26] 谭华东, 李勤奋, 张汇杰, 等. 南渡江农业土壤中农药分布特征与生态风险评估[J]. *生态环境学报*, 2021, 30(1): 181-189.
- [27] 谢运球, 陈羽, 唐秀观. 漓江流域果园表土有机氯、磷农药残留及其风险分析[J]. *中国岩溶*, 2015, 34(4):325-330.
- [28] 何书海, 曹小聪, 吴海军, 等. 直接进样超高效液相色谱—三重四极杆质谱法快速测定环境水样中草甘膦、氨基膦酸、草铵膦及乙烯利残留[J]. *色谱*, 2019, 37(11): 1179-1184.
- [29] 范丹丹, 刘红玲, 杨柳燕. 我国地表水新烟碱类杀虫剂对水生生物安全的威胁[J]. *环境科学*, 2022, 43(6):2987-2995.
- [30] MAHAI G, WAN Y, WANG A, et al. Selected transformation products of neonicotinoid insecticides (other than imidacloprid) in drinking water[J]. *Environmental pollution*, 2021, 291:118225.
- [31] KANG Y, ZHANG R, YU K, et al. First report of organochlorine pesticides (ocps) in coral tissues and the surrounding air-seawater system from the south china sea: Distribution, source, and environmental fate[J]. *Chemosphere*, 2022, 286(2):131711.
- [32] 谢文平, 覃顺枫, 马丽莎, 等. 海南淡水养殖环境中有机氯农药及重金属残留情况分析[J]. *环境化学*, 2017, 36(6):1407-1416.
- [33] 刘保良, 陈旭阳, 魏春雷, 等. 北海近岸海域表层沉积物中ddts、pcbs的分布、来源与生态风险分析[J]. *广西科学*, 2021, 28(1):23-29.
- [34] 莫凌, 王美欢, 林彰文, 等. 松涛水库水生生物农药污染水平及健康风险评价[J]. *生态毒理学报*, 2016, 11(4): 114-123.
- [35] DING Y, WU Z, ZHANG R, et al. Spatial distribution, source identification, and risk assessment of organochlorines in wild tilapia from guangxi, south china[J]. *Scientific reports*, 2020, 10(1):15179.
- [36] MAHAI G, WAN Y, WANG A, et al. Exposure to multiple neonicotinoid insecticides, oxidative stress, and gestational diabetes mellitus: Association and potential mediation analyses[J]. *Environment international*, 2023, 179: 108173.
- [37] ANAI A, HISADA A, YUNOHARA T, et al. Urinary neonicotinoids level among pregnant women in japan[J]. *International journal of hygiene and environmental health*, 2021, 236:113797.
- [38] WANG Q H, YUAN H D, JIN J, et al. Organochlorine pesticide concentrations in pooled serum of people in different age groups from five chinese cities[J]. *The science of the total environment*, 2017, 586:1012-1019.
- [39] PAN D, LIN M, MU C, et al. Maternal exposure to neonicotinoid insecticides and fetal growth restriction: A nested case-control study in the Guangxi Zhuang Birth Cohort [J]. *Chemosphere*, 2023, 336:139217.
- [40] WANG F, LIN Y, XU J, et al. Risk of papillary thyroid carcinoma and nodular goiter associated with exposure to semi-volatile organic compounds: A multi-pollutant assessment based on machine learning algorithms[J]. *The science of the total environment*, 2024, 915:169962.

本文引用格式:

李娟华, 刘钧淇, 覃宁, 等. 海南与广西地区农药污染及人体暴露现状[J]. 广西医科大学学报, 2024, 41(11): 1464-1469.DOI: 10.16190/j.cnki.45-1211/r.2024.11.003
LI J H, LIU J Q, QIN N, et al. Pesticide pollution and human exposure in Hainan and Guangxi[J]. *Journal of Guangxi medical university*, 2024, 41(11): 1464-1469.DOI: 10.16190/j.cnki.45-1211/r.2024.11.003