

环境中的农药

中国典型集约化农区
土壤、水体和大气农药残留状况调查



摘要

农药在环境介质中的残留物状况反映了农药的生态危害和对人类健康影响的潜在威胁。虽有大量研究关注禁用的有机氯和有机磷农药的残留状况，但对其替代农药残留状况关注较少。本研究在中国南方和北方的典型集约化农区选择了两个地区，（1）调查市场销售和农民施用的农药种类和施用技术；（2）多点采集不同利用方式下表层土壤和土壤剖面样品，多点采集田面水、地下水和河流，同时定点收集大气样品，采用农药多残留快速扫描法普查多种农药在土壤和水样中的残留状况和在大气中的变化；（3）侧重分析 20 种已经禁用和限制使用的有机氯和有机磷农药及其替代农药在环境介质中的分布特征及影响因素。

抽样调查结果表明，广州周边农区和山东潍坊市某蔬菜基地市场上目前销售的农药种类分别高达 112 种和 81 种。由于普遍存在套牌销售现象，农民预防性用药时常采用多种药品混合施用，且每季作物喷药少则 3~5 次，多则十多次。

利用 180 种混合标样发现有 151 种农药符合检出标准。其中，广东周边农区土壤、水和大气中农药检出数量分别是 134、120 和 144 种，检出率为 100% 的数量占土壤、水和大气样中样品总数的比例分别为 67%、87% 和 71%；山东潍坊市某蔬菜基地土壤、水和大气中农药检出数量分别是 133、119 和 147 种，检出率为 100% 的数量分别为 83%、77% 和 40%。这反映了中国农业集约化地区目前农药残留的普遍性和严重性。

所关注的 20 种农药在土壤和水中均被检出，仅有 1 种未在大气中被检出。大气中有 4 种杀虫剂的检出浓度超过 1000 pg/m³。土壤中检出浓度大于 100 ng/g 的 10 种

农药中包含 6 种禁用有机磷农药，乐果、哒螨灵和苯醚甲环唑 -2 的检出浓度最高，为 1000~6000 ng/g；绝大多数稻田土壤中的农药检出浓度不低于蔬菜地；蔬菜大棚土壤中有 19 种农药在深层土壤中累积，连续喷灌提高了蔬菜地表层土壤中农药的检出浓度；焖棚处理降低了除有机磷农药以外农药的检出浓度。水中农药的检出浓度一般为土壤中的百分之一，大多数农药表现出地下水中富集的现象，地下水中农药最高检出浓度为 17920 ng/L（苯醚甲环唑 -2）。有机氯的同分异构体分布结果说明这两个地区农业生产中有禁用农药新的来源。

本研究结果反映了中国南方和北方典型集约化农区的环境介质中农药残留具有普遍性；环境介质中检出禁用有机氯、有机磷和最新禁用的其他农药，其检出的残留浓度范围与同地区的其他报道结果相符，反映有一定禁用农药仍然在使用；推荐使用的一些半衰期较短的替代农药，在包括地下水源等环境介质中的残留浓度也非常之高，可是针对这些农药的环境健康风险评估研究非常之少，中国乃至世界其他国家仍然缺乏关于这些农药的环境质量标准。建议国家有关权威部门开展系统性调查中国环境介质中农药残留状况，不仅关注持久性污染物的研究，更要关注不断更新的替代农药的环境和健康风险以及环境质量标准的研究，同时要规范农药市场，建立和推广区域化的农药科学使用技术和模式。

报告撰写组成员

张 斌 尧水红

目 录

1	1. 前言
1	1.1 全球农药的发展和使用情况
2	1.2. 农药对环境和健康的影响
3	1.3. 中国农药发展和使用情况
4	1.4. 本研究目的
5	2. 研究方法
5	2.1. 农药使用情况调查
5	2.2. 样品采集方法
5	2.2.1. 土壤和水样品采集
5	2.2.2. 大气样品采集
5	2.3 样品分析方法
5	2.3.1. 样品预处理及净化
5	2.3.2 仪器分析条件
5	2.3.3. 工作曲线
6	2.4. 数据分析
7	3. 研究结果
7	3.1. 农药施用状况调查结果
8	3.2. 环境介质中环境介质中农药残留浓度变化特征
8	3.2.1 土壤
13	3.2.2. 水源
13	3.2.3. 大气
13	3.3. 持久性有机氯农药 DDTs、HCHs 和硫丹的含量变化特征
13	3.3.1 土壤
15	3.3.2. 水源
15	3.3.3. 大气
20	4. 讨论总结
20	4.1. 集约化农业地区农药施用状况和环境介质中农药残留的普遍性
21	4.2. 环境介质中重点农药残留及影响因素
25	5. 政策建议
26	附表 1
35	主要参考文献

1. 前言

1.1 全球农药的发展和使用情况

随着全球人口的迅速增长, 21 世纪 50 年代, 全球人口总数预期将达到 77 亿~106 亿 (UN, 2005), 全球粮食生产和食品安全将面临巨大挑战。扩大种植面积、采用高产作物品种和合理施肥是提高粮食等农产品产量的最重要措施。科学合理施用农药则是稳定粮食等农产品产量的关键措施。农药包括用于预防、消灭或者控制病、虫、草害, 调节植物、昆虫生长的有机和无机化学药品。根据其功能农药可以分为杀虫剂、杀菌剂、除草剂和增效剂。有机杀虫剂主要指用于防治农业害虫的药品, 包括有机氯类、有机磷类、有机硫类、氨基甲酸酯类、除虫菊酯类以及激素类。农用杀菌剂主要用于杀灭农产品中的细菌、真菌等微生物。除草剂是用以消灭或控制杂草生长的农药。增效剂本身无生物活性, 但与某种农药混用时, 能大幅度提高农药的毒力和药效。

人类很早就开始使用农药。最初使用的农药为硫磺粉、铜制剂、砷、亚砷酸盐、冰晶石和硼酸等无机杀菌剂和杀虫剂。有机杀虫剂的使用最早可追溯到 17 世纪天然除虫菊酯的使用, 高毒有机农药的化学合成和大量施用始于 20 世纪初。1939 年瑞士科学家发现了 DDT (滴滴涕) 具有良好的杀虫效果, 激发了人们寻找新的、便宜的、长效的接触性有机氯杀虫剂的积极性。自 1942 年发现“六六六”和丙体“六六六”后, 出现了氯丹、毒杀芬、狄氏剂和艾氏剂等多种有机氯农药。但是 1956 年硫丹的发现标志着有机氯杀虫剂全盛时期的结束。20 世纪 70 年代初, 不稳定的天然除虫菊酯被改进为稳定、低毒的拟除虫菊酯类化合物, 其逐渐成为农用杀虫剂市场的主导产品。有机磷化合物首次发现于 1937 年德国拜耳实验室, 1946 年硫磷杀虫活性的发现开创了有机磷杀虫剂的年代。氨基甲酸酯的杀虫活性的研究始于 1940 年, 于 1957 年发现

西维因。1914 年德国首先利用有机汞化合物防治小麦黑穗病, 标志着有机杀菌剂发展的开始。1934 年美国发现了二甲基二硫代氨基甲酸盐的杀菌性质, 使得有机杀菌剂的合成和使用迅速发展。20 世纪 40—50 年代开发了有机硫杀菌剂(福美类、代森类和三氯甲基二羧酰亚胺类)、有机汞和有机砷杀菌剂; 60 年代以来有机磷杀菌剂稻瘟净、萎锈灵、苯菌灵、硫菌灵等内吸性杀菌剂问世。有机除草剂的生产和使用相对较迟。1942 年人们发现了第一种有机化学除草剂 2, 4-D 并应用于防除农田杂草。1980 年以前有机化学除草剂品种少且结构单一, 多为磺酰胺类、磺酰胺类和酚类, 毒性强对杂草的选择性也较强。1980 年以后, 除草剂发展非常迅速, 每年开发新品种达 18 个以上, 并向高效、广谱、低毒、高选择性及低残留方向发展。

农药的生态环境危害于 20 世纪 50 年代开始受到关注。直到 1962 年《寂静的春天》的出版, 在公众中掀起了反对使用杀虫剂的思潮。该书暗示死鸟的出现与 DDT 的大量使用有关, 认为针对昆虫的可怕的现代科学武器已反过来针对地球。20 世纪 70 年代初, 美国首先限制并禁用部分有机氯杀虫剂。1998 年 FAO (联合国粮农组织) 曾经公布了具环境激素类效应的农药, 包括 11 种除草剂、12 种杀菌剂、30 种杀虫剂以及一些植物生长调节剂。2001 年在瑞典通过的《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》提出首批控制的农药名单, 包括毒杀芬、灭蚊灵、氯丹、六氯苯、DDT、艾氏剂、狄氏剂、异狄氏剂、七氯 9 种有机氯农药; 2010 年又将硫丹也列入控制名单。随着高毒和长残留的农药的限制和禁止使用, 新的中、低毒和非持久性类替代农药不断出现。20 世纪 70 年代开始禁用部分有机氯杀虫剂和杀菌剂时, 有机磷杀虫剂商品总数已达 150 多种, 内吸性杀菌剂和农用抗生素的商品数已达 200 种。目前全世界的农药有几千种之多, 仅欧盟登记

的农药数量就超过 800 个；20 世纪末全球农药的生产量已经达到近 580 万 t，比六十年代的 100 万 t 提高了近 6 倍；全球化学除草剂的用量和施用面积均已超过了杀虫剂和杀菌剂的总和，几乎占到整个农药市场销售总量的一半（Agrochemical Service, 2000）。

1.2. 农药对环境和健康的影响

人畜直接接触农药危害健康。有机氯农药能干扰内分泌系统、损害神经系统，影响婴幼儿正常发育，引发免疫系统疾病、生殖紊乱和生殖能力下降，一些农药被证明具有致癌作用（UNEP, 2004; Sánchez-Peña et al., 2004; Perry, 2008）。人类食用含有残留农药的食物和饮用水时，农药将直接和间接地危害人的健康。如食用高残留有机磷农药（乐果、敌百虫、敌敌畏、内吸磷等）的果蔬可能导致肌肉震颤、痉挛、血压升高、心跳加快，甚至昏迷死亡。有机磷农药对人、畜毒性较高，不仅短期内摄入高剂量能够致命，即便是长期接触低剂量也会引发严重的慢性长期反应（Alavanja et al., 2004; Jamal et al., 2002; Roldán-Tapia et al., 2005; Rothlein et al., 2006; Shi et al., 2006; Stephens et al., 1995）。与有机磷农药长期接触的儿童，由于神经系统受影响表现出学习能力和短期记忆能力降低（Handal et al., 2007）。

一般而言，农药施用量的 20%~30% 作用于目标生物，其余的 70%~80% 将进入环境（屠豫钦等，2003），不仅可能对当地非标靶生物产生毒害，而且可能间接危害人、畜和生态系统健康。农药可长期残留在土壤中，或者通过水分渗入和地表径流进入地表水及地下水，或通过扬尘或挥发进入大气，最终进入食物网在更大范围导致突变、癌症和畸型等生态危害，甚至危及人类健康。有机氯农药随水、食物等途径进入人体后，主要蓄积于脂肪组织中，可致急性或慢性中毒；氨基甲酸酯类农药和拟除虫菊酯类农药对人类低毒，但有蓄积性，中毒表现症状为神经系统症状和皮肤刺激症状。另外，一些农药不仅能对靶

生物产生直接毒害，而且可能使非标靶生物产生抗药性甚至毒害。如现在已经禁用的甲磺隆不仅可能对靶作物小麦产生药害，还可能对下茬作物水稻产生药害（Li et al., 2005）；大量长期施用除草剂不仅能使杂草对直接施用的除草剂产生抗药性，而且能对其他没有直接使用过的除草剂产生抗药性，可能致使农田敏感杂草种群灭绝和杂草多样性减少，抗药性杂草种群迅速上升（马国兰等，2012; 隋标峰等，2009）。不同的除草剂对非标靶水生生物种群的作用不同（Relyea, 2005）。低浓度反复施用同一种或同时使用多种农药，能够通过水生生物食物网中不同生物间的相互作用放大农药的毒害作用（Relyea and Diecks, 2008; Relyea, 2009）。例如，极低浓度的阿特拉津能诱发雄蛙雌化，使其更易感染吸虫，最后导致其数量下降（Rohr et al., 2008），低浓度的草甘膦也会导致刚孵化的凯门鳄的 DNA 受损，导致凯门鳄胚胎畸形（Poletta et al., 2009）。一些常用农药如甲萘威，克百威或灭多威甚至危及到濒危动物如太平洋三文鱼及其生活环境带（EPA, 2009）。长期施用农药可能选择性地影响土壤微生物群落，因此可能影响土壤肥力（Gevao et al., 2000; Johnsen et al., 2001; Zhang et al., 2002）。一些农药能破坏豆类植物的天然固氮作用，导致产量下降三成以上（Fox et al., 2007）。

不同农药的生物毒性和环境危害不同。有机氯农药具有半挥发性，生物毒性和累积性高，环境持久性强；有机磷农药虽然比有机氯农药持久性和累积性小，但生物毒性强，且缺乏目标专一性。由于有机氯和有机磷农药由于对陆地和水生生态系统中的非标靶生物物的负面作用，因而受到环境科学界的广泛关注。有机氯和有机磷类农药在农业中施用非常普遍，常在鸟类尸体中仍然能检测出来（Movalli et al., 2008）。有机氯农药在土壤中残留期一般可达二三十年之久，致使这类农药禁用多年之后在许多地区的土壤、水体和动植物体中仍然能频繁检出残留物（Hui et al., 2003; Nakata et al., 2005; Chen et al., 2006）。有

报道指出在加拿大偏远的山区大气、雪、植物、径流和一些水生生物中均能检出包括 DDT、氯丹、 γ -HCH（林丹）和狄氏剂等几十年前就禁用的有机氯农药，以及还在施用（硫丹）和最近才禁用（林丹）的有机氯农药（Daly et al., 2007）。

1.3. 中国农药发展和使用情况

中国农药生产量和施用量近几十年来保持持续增长趋势。20 世纪 50 年代中国开始使用杀虫剂、杀菌剂和除草剂等农药，自 70 年代以来得到广泛推广；与 50 年代初相比，到 2005 年中国农药交易量同比增长了 30 倍，农药的积累用量已达 400 多万 t，农药施用面积在 $2.8 \times 10^8 \text{hm}^2$ 以上，使用量居世界第一位（李顺鹏和蒋建东，2004）。2009 年中国农药使用量已经达到了 170 万 t，其中除草剂用量约 70 万 t（中国农业年鉴，2010）。目前中国使用的杀菌剂大多数属于中、低毒类农药，杀菌剂产量在杀虫剂和除草剂之后排第三位，约占全国农药总产量的 11%。

中国所用的农药种类在药效和毒性上也有所变化。20 世纪 70 年代中国曾使用的有机汞农药西力生（氯化乙基汞）和赛力散（乙酸苯汞），有机砷杀菌剂甲基肿酸锌（稻脚青）、甲基肿酸钙肿（稻宁）、甲基肿酸铵（田安）等逐渐被禁止使用。20 世纪 60 至 80 年代期间大量生产和使用的七氯以外的其他 8 种有机氯农药，DDTs 和 HCHs 累计施用量约为 40 万 t 和 49 万 t。自从 DDTs 和 HCHs 于 1983 年禁止使用后，中国农药生产和使用的有机磷农药多达 20~30 种，以甲胺磷、甲基对硫磷、对硫磷、久效磷、敌敌畏等剧毒农药为主，使用量高达 20 万 t。据报道，中国 2002 年一年乐果、敌百虫和内吸磷的使用量超过 1 万 t，远超过其他有机磷农药。由于长残效，中国于 2005 年开始在部分地区限制施用磺隆、氯磺隆和胺苯磺隆等磺酰胺类除草剂。2004 年中国农业部宣布开始禁止在国内销售和使用含有甲胺磷、对硫磷、甲基对硫磷、久效磷和磷胺等 5 种高毒有机磷农药的复配产品；2011

年进一步发布了《高毒农药淘汰和禁用工作方案》，提出禁用和淘汰苯线磷等 10 种的农药；择机禁用杀扑磷等 12 种高毒农药。

农药在土壤、水中的残留及其对食品安全的影响是当前所关注的重点，但是中国可获得的发表的数据量还很少。虽然 DDTs 和 HCHs 等持久性有机氯农药已经禁止施用数十年，但是在中国不同地区仍然有检出。例如，珠江三角洲地区水体中（Luo et al., 2004; Yu et al., 2008; Guan et al., 2009）和土壤中（章海波等，2006）广泛检测出 DDTs 和 HCHs 等有机氯农药。中国太湖地区和湖南省东北部农田土壤中有机氯农药检出达到 100%，有机氯农药中 DDTs 和 HCHs 所占比例超过 70%（安琼等，2004; 郝红涛等，2008; 张慧等，2008）。安琼等（2004）报道太湖地区土壤中有机氯的检出浓度为 23.2~1126.7 ng/g，蔬菜土壤大于水稻土壤；蔬菜中 DDTs 和 HCHs 的检出率达到 60%~80%，检出浓度为未检出至 31.7 ng/g，集约化蔬菜基地产出的蔬菜含量中更高；张慧等（2008）报道湖南东北地区 DDTs 和 HCHs 的检出浓度为 0.15~57.91 ng/g。这些结果说明在禁用之后中国仍然有部分地区有新的 DDTs 和 HCHs 输入土壤。在曹妃甸废水处理厂出水口水样、沉积物和水体生物中也能检测出有机氯农药（Li et al., 2008），其中 DDT 是最主要的成分。虽然该水体中 DDTs 和 HCHs 的浓度小于中国一至三类水水质标准，但是 DDTs 组成分析表明 DDT 有最新输入源。一些在珠江三角洲的研究表明新的 DDTs 和 HCHs 投入源包括林丹和含 DDT 的船坞涂料的使用，而不仅是三氯杀螨醇的贡献（Li et al., 2007; Guan et al., 2009）。

中国不同地区的土壤、水和大气等环境介质中频繁被检测出的农药中包括 6 种已禁用的剧毒有机磷农药。全国 600 多个点的地表水的水源普查结果表明（Gao et al., 2009），所检测的 6 种有机磷农药的检出浓度均很少超过中国地表水环境质量标准；内吸磷和敌敌畏的检出率达到 80%~90%；乐果、甲基对硫磷、马拉硫磷和对硫磷的检

出率在 50% 以下。与世界其他地区相比, 检出浓度显示内吸磷 (平均值 35.4 ng/L, 变化范围 1.5~2560.0 ng/L) 和敌敌畏 (17.8 ng/L, 变化范围 1.4~1552.0 ng/L) 处于严重污染状况, 乐果、甲基对硫磷、马拉硫磷和对硫磷处于中等污染状况; 中国北方河流有机磷农药的污染状况高于南方河流, 水体中有机磷杀虫剂的最高浓度是: 长江流域的敌敌畏 (1552.0 ng/L), 辽河的内吸磷 (2560.0 ng/L), 黄河的乐果 (2660.0 ng/L)、甲基对硫磷 (480.0 ng/L)、马拉硫磷 (1290.0 ng/L) 和对硫磷 (150.0 ng/L)。上海农田土壤中水稻田土壤和蔬菜地土壤有机磷农药均有不同程度检出。甲拌磷、乐果、二嗪农、马拉硫磷、对硫磷在上海水稻田和蔬菜田中均有检出, 其中, 对硫磷的检出量和检出率均最高 (周婕成等, 2009)。另有调查表明: 一些被禁止使用的剧毒农药, 如克百威, 仍可以在市面销售的蔬菜水果中被检出 (绿色和平, 2009)。

文献计量分析表明, 中国在“农药及其环境风险”研究领域受到越来越多的重视。1992 年至 2011 年中国的发文量为 474 篇, 排名第五, 占总发文量的 5.56%; 年均增长率最高, 为 28.14%, 近三年的发文量的比例为中国发表论文总数的 50% 以上。该领域全球的研究, 特别是美国的研究着重关注农药对人体健康的影响, 尤其是农药和帕金森综合症、内分泌紊乱、生殖力下降、疟疾及神经退行性疾病的联系, 甚至致人死亡等的潜在风险, 其中涉及数十种禁止和正在使用的有机氯和有机磷农药。中国在这方面的研究非常少, 现有的研究仅关注了十余种农药对内分泌紊乱和帕金森综合症的潜在影响。

1.4. 本研究目的

农药在环境介质中的残留物状况反映了农药的生态危害和对人类健康影响的潜在威胁。大量研究关注禁用的有机氯和有机磷农药的残留状况, 但对正在使用的被认为毒性较低且半衰期较短的替代农药的残留状况关注较少。

本研究在广州市周边农区和山东省潍坊市某蔬菜基地进行。广州周边农区农业面积逐步缩小, 水稻面积压缩, 蔬菜面积扩大; 高温高湿导致病虫害多发, 为害时期长, 某些病虫害一年有多个高峰期; 加之单一作物集中大面积种植, 使得某些病虫害容易大面积发生。山东潍坊市某蔬菜基地蔬菜种植面积 80 万亩, 其冬暖式蔬菜大棚蔬菜种植水平始终居于全国前沿水平, 种植蔬菜品种 1400 个, 市场营销范围辐射全国, 年产蔬菜超过 40 亿公斤, 收入超过 40 亿元。这两个地区农业集约化程度高, 农药使用量均较大, 施用农药种类繁多, 来源复杂, 但是这些农药在土壤和水体中残留状况尚不清楚。由于气候、土壤和种植方式的不同, 农药品种和施用技术可能也存在较大的差异, 可能导致土壤和水中的农药残留状况不同。

本研究的研究目标是: (1) 调查市场销售和农民施用的农药种类和施用技术; (2) 多点采集不同利用方式下表层土壤和土壤剖面样品, 多点采集田面水、地下水和河流水, 同时定点收集大气样品, 普查 180 种农药在土壤和水样中的残留状况和在大气中的变化, 侧重分析 20 种已经禁用和限制使用的有机氯和有机磷农药及其替代农药; (3) 分析土壤和水农药残留特征及影响因素。研究结果将为促进农业持续发展, 保护生态环境和人类健康, 和建立科学的农药施用和管理的对策提供科学依据。

2. 研究方法

2.1. 农药使用情况调查

在目标取样区域调查 1020 个农户, 了解防治特定病虫害农药的使用情况: 包括农药品名和生产公司, 不同生育期使用次数、用量和用法; 访问 2~3 个农药销售店, 了解农药出售的种类。

2.2. 样品采集方法

2.2.1. 土壤和水样品采集

广东省采样地点包括广州市的白云区、南沙区、增城开发区、从化区、顺德区和番禺区, 佛山市的高明区和禅城区。样品采集时间为 2011 年 5 月。采样点包括双季稻田和蔬菜地两种利用方式下的 14 个表土 (0~15 cm) 和 4 个剖面土壤 (0~15, 40~60, 80~100 cm), 共 18 个样点; 26 个样。在土壤样采集点附件采集稻田田面水, 塘水 / 河水 / 溪流以及井水样 (井水深 2 m), 共采集 18 个水样。

山东省采样点主要集中于潍坊市某蔬菜基地周围的蔬菜大棚种植区。样品采集时间为 2011 年 5 月。采样点包括 20 个表土 (0~20 cm) 和 3 个剖面土壤 (分 0~20, 20~40, 60~80 cm), 共 23 个样点; 29 个样。土地利用方式以长期小麦种植地为参照, 蔬菜大棚土壤为主取样对象, 考虑蔬菜大棚使用年限, 大棚土壤处理方式和棚内灌溉方式。采集供大棚灌溉用的井水 (井深 60~80 m, 井水深 37~40 m) 水样; 在流经该蔬菜基地河流的上中下游采集河水和塘水 (河流断流, 仅剩有限的塘水), 并在近海的非蔬菜种植区采集河水水样, 共采集 24 个水样。

2.2.2. 大气样品采集

使用主动式采样方法采集大气样品。广州的采样点设在广州东北郊某农场内变电房顶 (东经 113° 21' 26" , 北纬 23° 9' 26"); 潍坊市某蔬菜基地的采样点设置某农家蔬菜大棚棚顶 (东经 118° 52" , 北纬 36° 21')。样品采

集点四周 200m 周围没有比采样点更高的建筑物。广州样点大流量主动采样设备架设高度为 10 m, 潍坊地区大流量主动采样设备架设高度为 7 m。采样介质为玻璃纤维滤膜 GFF 垫 (glassfiberfilter, 直径 90 mm, PM10) 和 PUF 柱 (聚氨酯材质, 圆柱状, 直径 60 mm, 高 75 mm)。广州地区的采用日期为: 2012 年 4 月 16 日—5 月 15 日; 潍坊地区的采用日期为: 2012 年 4 月 13 日—5 月 12 日。采样周期为 30 天, 每天更换一张 GFF 垫, 每 5 天更换一个 PUF 柱, 每天从上午八点左右开始连续采集 24h 的样品, 采样流量为 4 m³ /h, 同时使用微气象站采集气象数据。

2.3 样品分析方法

首先测定酸碱度 (pH), 电导率 (EC), 质地, 有机质, 全氮等基础土壤性质以及酸碱度 (pH), 电导率 (EC), 铵态氮, 硝态氮等基础水分性质, 方法均为常规方法 (鲁如坤, 2000)。然后选择部分土壤和水分样品, 用改进的农药多残留快速扫描法 (Multi-residue screen method, MRSM) 测定 (农业部环境质量监督检验测试中心, 2001; Nagatani et al, 2007; 刘玲等, 2005), 具体方法描述如下:

2.3.1. 样品预处理及净化:

土样: 将土壤样品研细并于室内阴干, 取 10g 研磨后的土壤样品装入加速溶剂萃取仪的萃取池中, 并用硅藻土填满萃取池, 加入 50ml V(丙酮):V(正己烷) = 1:1 混合溶剂加速萃取, 萃取液旋干, 定容到 2ml, 全部上 florisil 固相萃取柱 (1000mg/6ml) 净化, 用 100ml 含 10% 丙酮的正己烷溶液淋洗, 淋洗液于旋转蒸发器上浓缩近干, 用 1ml 正己烷溶液定容, 过 0.45μm 滤膜后, 用 GC 或 HPLC 分析各类农药, 最后上高效气质连用色谱仪 (GC-MS) 确证农药成分及含量, 以保留时间定性, 外标法定量。

水样: 首先活化固相萃取柱, 将 C18 小柱和 Sep-pak

Rox 固相萃取小柱按从上到下的次序装好。依次用正己烷，丙酮各 5ml 洗涤 SPE 柱，抽干；再用二次蒸馏水 10ml 洗涤 SPE 柱，并使柱中保留少量蒸馏水，以保持 SPE 柱湿润；然后富集、提取水样，取水样 500ml 经 0.60 μm 微孔滤膜（混合纤维素酯）过滤，滤液流入试剂瓶中，趁 C18 柱未干时，以固相萃取装置富集水样；最后洗脱样品，上机分析，以 10ml/min 流量抽滤，过完柱后，用 5ml 蒸馏水洗涤柱子，将水抽干，用 10ml 正己烷在重力作用下自然下滴，充分解吸，洗脱 SPE 柱内物质，将洗脱液收集于尖底浓缩吹扫瓶中，室温下氮吹至干，正己烷定容 1.0ml，过 0.45μm 滤膜后，用 GC 或 HPLC 分析各类农药，最后上高效气质连用色谱仪 (GC-MS) 确证农药成分及含量，以保留时间定性，外标法定量。

大气样：采样前将 PUF 柱依次用丙酮与乙醚索氏萃取 8h，取出后 40℃真空干燥，装入培养皿内密封避光保存直至使用。GFF 垫于 450℃下用马弗炉焙烧 6h，待冷却至室温后用锡箔纸包裹后置于塑料密封袋待用。采样后 GFF 垫称重测 PM10 总悬浮颗粒物量；PUF 柱用 250ml 乙醚/正己烷 (10/90, V/V) 83℃回流提取 3 次，每次 8.5h，然后 30℃旋蒸至 1ml 以下，加入 5ml 正己烷交换溶剂，氮吹浓缩至 200μl 以下，正己烷定容至 1ml，装瓶于 24h 内上机测定。

2.3.2 仪器分析条件：

用 GC-FPD 分析有机磷类农药。操作条件：进样口 220℃，检测器 250℃，柱温 150℃，保持 2min，以 8℃/min 升温至 250℃，保持 12min；载气为氮气或氦气，流速分别为氮气 10ml/min 或氦气 12ml/min，保持 13min，以 2ml/min 速度增加至 15ml/min，保持 5min，氢气 75ml/min，空气 100ml/min，恒压控制，化学工作站或数据处理机 (Agilent 6890)。

用 GC-ECD 分析有机氯类农药。操作条件：进样口

温度 200℃，检测器 320℃，柱温 150℃，保持 2min，以 6℃/min 升温至 270℃，保持 30min，载气为氮气或氦气，流速分别为 1ml/min 或 2.3ml/min，尾吹气为氮气 60ml/min，恒压控制，化学工作站或数据处理机 (Agilent 6890)。

用 HPLC 分析 N-甲基氨基甲酸酯类农药。操作条件：CDFA (柱温 42℃，流速 1ml/min)，荧光检测器 (λ ex330 nm, λ em465 nm)，化学工作站或数据处理机 (Agilent 1100)。

GC-MS 的操作条件：色谱条件 - 采用程序升温为初始温度 60℃，保持 3min，以 30℃/min，升温至 130℃，然后以 10℃/min 升温至 260℃保持 5min。进样口温度 250℃，不分流进样。载气为高纯氮气，流量 1.0ml/min。质谱条件 - 接口温度 280℃，电子轰击 (EI) 离子源，电子能量 70 eV，离子源温度 230℃，四极杆温度 150℃，质量扫描范围 50~550 u。

2.3.3. 工作曲线：

采用外标法定量。用空白基质溶液稀释 180 种农药的混标溶液，配制成质量浓度分别为 0、0.005、0.01、0.025、0.05、0.1、0.5 μg/ml 的基质标准工作溶液，用 GC-MS 测定。以峰面积 y 为纵坐标，质量浓度为横坐标，绘制标准工作曲线，求出各农药的线性方程和相关系数。选择 0~0.5 μg/ml 范围内线性关系 (R² > 0.99) 农药标线来分析样品中各类农药的残留浓度。

2.4. 数据分析

将符合检测标准的农药进行统计分析，重点选择中国已经禁用的 3 种农药 (如克百威、久效磷、DDE) 以及国家禁用高毒农药后推荐的主要替代品及其他常用的 17 种农药，共 20 种农药，计算其平均值和中值，评价土壤剖面的农药残留情况、农药利用方式和对土壤管理的影响。

3. 研究结果

3.1. 农药施用状况调查结果

农药市场调查结果表明 (附表 1)，广州周边农区和山东潍坊市某蔬菜基地的农药使用量均较大，农药品种和品名数量繁多，但是农药品种和来源不同。广州周边农区销售农药种类达到 112 种。其中以杀虫剂和杀菌剂为主，水稻生产中使用的杀虫剂、杀菌剂和除草剂种类数量有 18、14 和 5 种；蔬菜生产中使用的杀虫剂、杀菌剂和除草剂种类数量有 41、19 和 6 种，蔬菜种植过程还施用不同杀螨剂，有 8 种。随着水稻面积种植的减少，广州周边农区杀虫剂需求量略降，杀菌剂市场较稳定，除草剂需求量则上升，生物农药使用很少。国家全面禁止使用甲胺磷、对硫磷、甲基对硫磷、久效磷、磷胺等 5 种高毒有机磷农

药后，由于价格便宜、使用效果好，广州周边农区一些老农药品种如敌敌畏、敌百虫、毒死蜱、三唑磷、氯氰菊酯等仍有在使用。这些农药常出现在名称繁多的复配农药品种中。该地区所使用的农药以国产为主，主要来自上海、江苏、山东等 12 个省，进口农药中以杀虫剂为主。广州水稻生长季节喷药 7~9 次，幼苗期多喷抗菌药，拔节期喷除草剂，扬花期和孕穗期多喷杀虫剂 (图 1)；主要蔬菜生育期内以使用杀虫剂和杀菌剂为主，施药次数少则 3~5 次 (芥蓝)，多则十几次 (黄瓜/茄子)。

山东潍坊市某蔬菜基地销售的农药种类为 81 种。主要是杀菌剂和杀虫剂，分别为 53 种和 19 种，杀菌剂种类多于杀虫剂种类，另外还有杀螨剂 5 种、熏蒸剂 1 种、杀

表 1. 广州周边农区和山东潍坊市某蔬菜基地蔬菜基地 20 种重点农药品种在土壤中的检测结果统计特征

农药剂型	农药分类	农药名称	半衰期	广州周边农区 (N=26)					山东潍坊市某蔬菜基地 (N=29)				
				最小值	最大值	平均值	中值	检出率	最小值	最大值	平均值	中值	检出率
				ng/g				%	ng/g				%
杀虫剂	氨基甲酸酯类	克百威 -1	30~60 天	4	201	78	103	100	17	271	159	144	100
		甲硫威	4~60 天	35	1559	789	797	100	36	1480	461	758	100
	除虫菊酯类	甲氰菊酯	10~20 天	NS	1112	697	556	21.4	NS	456	325	228	9.5
		氯氰菊酯 -4	20~25 天	20	188	48	104	100	32	179	80	106	100
	有机氯类	DDE	5~10 年	NS	40	12	NS	92.9	NS	70	29	NS	90.5
	有机磷类	敌敌畏	4~10 天	13	582	248	298	100	3	35	14	19	100
		久效磷	4~17 天	137	901	293	519	100	125	653	236	389	100
		乐果	2~16 天	183	1825	461	1004	100	181	1383	364	782	100
		马拉硫磷	1.1~1.5 天	12	31	17	22	100	21	36	29	28	100
		毒死蜱	40~120 天	7	35	14	21	100	14	27	18	21	100
毒虫畏		10~35 天	36	1478	837	757	100	8	13	9	11	100	
地胺磷		7~17 天	15	465	192	240	100	31	1014	684	522	100	
三唑磷		6~10 天	17	66	24	42	92.9	15	102	43	59	100	
亚胺硫磷	7~17 天	NS	84	29	42	92.9	NS	27	10	14	90.5		
苯硫磷	7~10 天	90	859	314	475	100	18	42	27	30	100		
杀螨剂	有机硫类	炔螨特	21~30 天	NS	178	72	89	92.9	33	594	214	NS	24.5
		哒螨灵	12~19 天	NS	75	35	38	50.0	NS	12037	3180	6019	90.5
杀菌剂	酰胺类	甲霜灵	12~200 天	31	207	69	119	100	NS	85	37	43	33.3
		环酰菌胺	7~10 天	NS	727	649	364	14.3	19	143	38	72	100
	三唑类	苯醚甲环唑 -2	40~90 天	27	1645	462	836	100	11	4804	316	2408	100

ND: 无相关数据记录; NS: 未检测出相关数

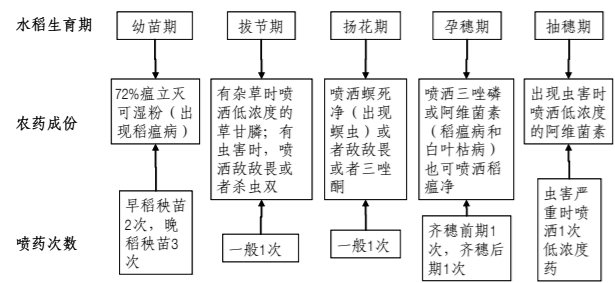


图 1. 广东省水稻种植期间农药施用方法示意图

螺剂 1 种和除草剂 2 种，农药进口来源比例高，主要来源为美国、德国和日本；该地区对甲基对硫磷、对硫磷、久效磷、甲拌磷、氧化乐果、水胺硫磷等已全面禁止使用。山东潍坊市某蔬菜基地蔬菜喷药定期施用（3~7 天一次），生长周期短的叶菜类蔬菜（如：小白菜、空心菜和生菜等）施药次数较少，根茎类、茄果类蔬菜（如：西红柿、黄瓜和萝卜等）施药次数较多，不同蔬菜的不同生长季节内病虫害的发病规律不同，使用农药的种类和配比不同。在预防性的用药过程中，现在多采用多种药品混合施用。

农药市场调查结果表明，本项目所关注的 20 种农药中，在广州周边农区仍然使用的有敌敌畏、乐果、马拉硫磷、毒死蜱、三唑磷和吡蚜灵 6 种，在山东潍坊市某蔬菜基地仍然使用的农药仅有毒死蜱和吡蚜灵 2 种。

3.2. 环境介质中环境介质中农药残留浓度变化特征

本研究采用农药多残留快速扫描法，选用的混合标样共包括 180 种农药，针对本次检测的样品有 151 种农药符合检测标准要求，其中包括广州周边农区农民正在使用的 4 大类 31 种，以及潍坊市某蔬菜基地目前正在使用的 4 大类 27 种。这 151 种农药中，广州周边农区土壤、水和大气中农药检出数量分别是 134、120 和 144 种，其中检出率为 100% 的农药数量占检出农药总数的 67%、87% 和 71%；山东潍坊市蔬菜基地土壤、水样和大气中检出农药的数量分别是 133、119 和 147 种；其

中检出率为 100% 的农药数量占检出农药总数的 83%、77% 和 40%；有 70%~80% 的土壤样品中农药浓度变化范围在 10~100 ng /g，有 90% 的水样中农药浓度变化小于 30000 ng /L，有 70%~82% 的大气样中农药浓度变化范围在 50~1000 pg /m³。但某些农药在两个地区土壤、水体和大气样中的检出浓度也非常高，土样中有 9%~13% 的农药检出浓度高达 400~13000 ng /g；水样中有 9%~15% 农药检出浓度高达 5000~110000 ng /L，大气样中有 6%~14% 农药检出浓度高达 2000~105000 pg /m³。广州周边农区土样和水样中农药浓度一般大于山东潍坊市某蔬菜基地；检测期间山东潍坊市大气样中较多农药的检出浓度大于广州周边农区。

3.2.1 土壤

两个地区表层土壤样品中 20 种重点农药残留浓度的变化特征见表 1。结果表明，两地各有 13 至 14 种农药的检测率为 100%，有 3 至 4 种农药的检出率大于 90%，另各有 3 种农药的检出率小于 50%。广州周边农区检出率小于 50% 的农药为甲氰菊酯、吡蚜灵和环酰菌胺，山东潍坊市某蔬菜基地检出率小于 50% 的农药为甲氰菊酯、炔螨特和甲霜灵。

广州周边农区有 10 种农药检出浓度大于 100 ng /g，其中目前已禁用但在当地仍大量使用的农药如敌敌畏和乐果等杀虫剂在土壤中的检出浓度很高（中值为 298 ng /g 和 1004 ng /g）。其他杀虫剂毒虫畏和苯硫磷、杀菌剂环酰菌胺的检出浓度也较高，中值分别为 575、475 和 364 ng/g；而杀虫剂马拉硫磷、毒死蜱、三唑磷和杀螨剂吡蚜灵的检出浓度则较低（22~48 ng /g）。山东潍坊市某蔬菜基地目前大量使用的杀虫剂毒死蜱在土壤中的检出浓度并不高，中值为 21 ng /g；杀虫剂毒虫畏和苯硫磷、杀菌剂环酰菌胺的检出浓度也较低，中值变化范围为 11~72 ng /g；大量使用的杀螨剂，炔螨特和吡蚜灵在土壤中的检出浓度较高，平均值分别为 214 ng /g 和 3180 ng /g。

农药在土壤中的残留浓度受农药性质、农药施用量、

土地利用方式和土壤性质等因素的影响，在耕层土壤及其剖面中表现出一定的分异，下面就土地利用方式对两个地区土壤农药残留特征进行分析，具体如下：

（1）广州周边农区土壤农药残留影响因素

就利用方式而言，广州周边农区 20 种重点检测农药中有 6 种农药，克百威 -1、甲硫威、氯氰菊酯 -4、敌敌畏、久效磷和环酰菌胺在稻田土壤中的检出浓度小于蔬菜地土壤，其余 14 种农药的检出浓度在稻田土壤中均不小于蔬菜土壤（表 2）。

在稻田土壤剖面所有土层中甲氰菊酯均未被检出；环酰菌胺仅在表层（0~15cm）土壤中检出，而在深层土壤中未被检出；其余 18 种农药在所有土层中均被检出，而且这些农药的检出浓度均随土壤深度增加而降低（表 5）。DDE、马拉硫磷、毒死蜱、三唑磷和亚胺硫磷等 4 种农药稻田耕层土壤中检出浓度小于 100 ng /g，在 40~60 和 80~100 cm 土层中的检出浓度为 5~20 ng /g。另外 15 种

农药在稻田耕层土壤中的检出浓度大于 100 ng /g，其中敌敌畏和久效磷等 8 种农药的检出浓度大于 500 ng /g，甲硫威、乐果和毒虫畏的检出浓度分别高达 1559、1825 和 1344 ng /g；这些农药在 40~60cm 和 80~100 cm 土层中检出浓度均大于 150 ng /g，其中甲硫威、乐果和毒虫畏的检出浓度分别高达 1231~695、279~224、915~605 ng /g。

蔬菜地土壤剖面中甲氰菊酯在 0~15cm 和 80~100cm 土层中被检出；DDE、苯醚甲环唑 -2 和环酰菌胺在耕层中被检出，但在亚表层或深层土壤中未被检出；其余 17 种农药在整个土壤剖面中均有被检出（表 3）。DDE、马拉硫磷、毒死蜱、三唑磷、亚胺硫磷和炔螨特等 6 种农药在耕层土壤中的检出浓度小于 100 ng /g，在 40~60 和 80~100 cm 土壤中的检出浓度为 5~53 ng /g；环酰菌胺在耕层中检出浓度大于 100 ng /g，但在深层土壤中未被检出；其他 13 种农药在耕层土壤中检出浓度大于 100 ng /g，

表 2. 广州周边农区稻田和蔬菜地土壤中 20 种重点农药含量的变化

检测物质			土壤利用类型					
			水稻土 (N=7)			蔬菜地 (N=7)		
农药剂型	农药分类	农药名称	范围 ng/g	平均值 ng/g	标准偏差	范围 ng/g	平均值 ng/g	标准偏差
杀虫剂	氨基甲酸酯类	克百威 -1	4~155	61	31	31~136	68	27
		甲硫威	35~1559	569	328	878~1407	623	296
	除虫菊酯类	甲氰菊酯	0~1112	278	249	0~729	175	68
		氯氰菊酯 -4	22~188	61	32	20~179	76	34
	有机氯类	DDE	5~12	10	2	9~40	8	2
	有机磷类	敌敌畏	13~582	197	116	270~405	227	111
		久效磷	137~901	359	138	169~746	384	161
		乐果	267~1852	591	309	192~1731	734	333
		马拉硫磷	12~28	18	3	12~28	16	5
		毒死蜱	8~34	18	5	7~35	11	2
		毒虫畏	615~1344	1028	155	525~1478	807	227
		地胺磷	15~386	170	75	90~465	70	32
		三唑磷	17~66	29	9	17~26	20	4
亚胺硫磷		19~47	38	12	0~84	39	14	
杀螨剂	有机硫类	炔螨特	38~178	107	22	0~196	101	28
		吡蚜灵	0~75	23	14	0~47	15	5
杀菌剂	酰胺类	甲霜灵	29~121	67	19	31~207	59	21
		环酰菌胺	0~727	145	145	0~571	255	144
	三唑类	苯醚甲环唑 -2	292~628	481	71	251~1645	378	106

表 3. 广州周边农区稻田和蔬菜地土壤剖面中 20 种重点农药含量的变化

农药剂型	农药分类	农药名称	水稻土 (N=6)						蔬菜地 (N=6)					
			0-15cm		40-60cm		80-100cm		0-15cm		40-60cm		80-100cm	
			平均值	标准	平均值	标准	平均值	标准	平均值	标准	平均值	标准	平均值	标准
			ng/g	偏差	ng/g	偏差	ng/g	偏差	ng/g	偏差	ng/g	偏差	ng/g	偏差
杀虫剂	氨基甲酸酯类	克百威 -1	155	11	27	3.2	16	1.9	111	9.7	28	2.9	201	14
		甲硫威	1559	110.7	1231	145.9	695	82.6	1407	123	803	83.2	46	3.2
	除虫菊酯类	甲氰菊酯	NS	0	NS	0	NS	0	729	63.7	0	0	250	17.4
		氯氰菊酯 -4	188.3	13.4	28.8	3.4	23.1	2.7	178.6	15.6	18.9	2	18.9	1.3
	有机氯类	DDE	12	0.9	6	0.7	5	0.6	9	0.8	5	0.5	0	0
		敌敌畏	582	8.6	378	9.2	214	3.9	405	18.1	247	7	16	3.7
	有机磷类	久效磷	901	51.6	243	0	155	0	746	49.9	165	0	161	0
		乐果	1825	41.3	279	44.8	224	25.4	1731	35.4	183	25.6	183	1.1
		马拉硫磷	64	28	28.8	14	16	18.4	31	65.2	13	17.1	13	11.2
		毒死蜱	10	5.9	7	2.6	7	2.4	14	7.3	7	1.9	7	1.3
		毒虫畏	1344	53.9	915	23	605	19.1	1478	75.1	36	20.9	596	10.1
		地胺磷	129.6	21	102	33.1	63	26.6	465	151.3	328	19	288	12.8
		三唑磷	24	2	19	1.7	20	1.9	26	2.7	18	1.3	18	0.9
		亚胺硫磷	83	1.5	22	12.1	20	7.5	84	40.6	18	34	18	20.1
苯硫磷		759	1.7	194	2.3	161	2.4	859	2.3	202	1.9	145	0	
杀螨剂		有机硫类	炔螨特	178	0.7	58	0.8	61	0.8	60	1.2	53	0.7	41
	哒螨灵		108.4	22	95.4	6.0	71.9	9.2	129.2	18	30	3.7	41.5	2.6
杀菌剂	酰胺类	甲霜灵	121	12.6	78	6.9	33	7.2	207	0	68	5.5	53	2.9
		环酰菌胺	727	1.6	0	0	0	0	571	1.6	0	0	0	0
	三唑类	苯醚甲环唑 -2	628	44.6	429	50.8	288	34.2	1645	143.8	27	2.8	283	19.7

表 4. 山东潍坊市某蔬菜基地不同蔬菜种类、灌溉方式、土壤处理和种植年限对土壤中 20 种重点农药含量的影响

农药剂型	农药分类	农药名称	种植类型			灌溉方式			大棚处理		大棚使用年限			
			蔬菜	西红柿	小麦	滴灌	漫灌	喷灌	敞棚	焖棚	1 年	3-4 年	6-7 年	10 年以上
			(N=5)	(N=12)	(N=3)	(N=11)	(N=6)	(N=3)	(N=8)	(N=5)	(N=4)	(N=4)	(N=6)	(N=4)
			ng/g											
杀虫剂	氨基甲酸酯类	克百威 -1	196	97	27	98	96	188	121	27	104	94	209	109
		甲硫威	1169	272	35	395	281	1063	549	35	528	365	1167	48
	除虫菊酯类	甲氰菊酯	5537	2196	26	3406	665	4647	1054	26	5362	467	3912	4713
		氯氰菊酯 -4	75	26	21	27	42	66	41	21	29	28	85	23
	有机氯类	DDE	16	7	9	7	7	19	12	9	8	9	17	5
		敌敌畏	31	9	3	12	9	29	16	3	15	11	31	3
	有机磷类	久效磷	391	195	146	203	240	351	258	146	209	208	426	168
		乐果	724	256	199	266	409	636	398	199	277	271	823	223
		马拉硫磷	24	16	15	17	17	23	18	15	17	16	24	16
		毒死蜱	10	8	9	8	10	10	9	9	8	8	11	8
		毒虫畏	1077	592	399	689	495	1049	634	399	809	505	1040	689
		地胺磷	52	44	22	45	29	63	52	22	27	50	61	47
		三唑磷	29	28	23	29	24	25	30	23	24	32	26	27
		亚胺硫磷	42	25	21	26	32	33	27	21	33	24	42	23
苯硫磷		440	129	180	180	135	500	204	180	284	101	401	133	
杀螨剂		有机硫类	炔螨特	116	70	61	71	70	136	86	61	59	61	137
	哒螨灵		37	6	0	5	17	51	22	0	0	10	47	6
杀菌剂	酰胺类	甲霜灵	38	27	23	29	25	35	28	23	33	27	35	26
		环酰菌胺	182	0	0	0	76	152	57	0	0	0	228	0
	三唑类	苯醚甲环唑 -2	1080	58	77	76	853	122	58	77	115	48	1292	59

在深层土壤中也检出，且甲硫威、敌敌畏、地胺磷、苯硫磷和甲霜灵等 5 种的检出浓度随土壤深度增加而降低，克百威 -1、甲氰菊酯、毒虫畏和苯醚甲环唑 -2 的等 4 种农药的检出浓度随土壤深度增加而升高，而另 4 种农药在 40~60cm 和 80~100cm 土层中则没有差异。甲氰菊酯、敌敌畏、久效磷、地胺磷、苯硫磷、环酰菌胺、苯醚甲环唑 -2 等 6 种农药在耕层土壤中的检出浓度为 400~1000 ng/g，除环酰菌胺外其他 5 种农药在 40~60cm 或 80~100 cm 土壤中的检出浓度为 160~330 ng/g。甲硫威、乐果、毒虫畏以及苯醚甲环唑 -2 在耕层土壤的检出浓度大于 1000 ng/g，分别高达 1559、1825、1344、1645 ng/g，在 40~60cm 和 80~100cm 土壤中的检出浓度分别为 803、183、36、27 ng/g 和 46、183、596、283 ng/g。

(2) 山东潍坊市某蔬菜基地土壤农药残留影响因素

就利用方式而言，山东潍坊市某蔬菜基地大棚土壤农药残留浓度要高于小麦地（表 4）。小麦地耕层土壤中未检测到蔬菜地常用的杀螨剂哒螨灵、杀菌剂环酰菌胺；久效磷、乐果、毒虫畏和苯硫磷等 4 种有机磷农药的检出浓度最高为 150~400ng/g；其余 12 种农药的检出浓度为 9~61ng/g。所有大棚中西红柿大棚土壤中残留的农药最低；在西红柿大棚中有 11 种农药在土壤中的检出浓度与小麦地的相当（相差小于 10 ng/g），克百威 -1、甲硫威、甲氰菊酯、久效磷、乐果、毒虫畏和地胺磷等 7 种农药的检出浓度大于小麦地，苯硫磷和苯醚甲环唑 -2 等 2 种农药的检出浓度小于小麦地。

茄子、辣椒、黄瓜和丝瓜等蔬菜大棚土壤中 20 种农药的残留浓度均远大于西红柿地土壤。这些蔬菜地土壤中甲硫威、甲氰菊酯、乐果、毒虫畏和苯硫磷等 5 种杀虫剂的检出浓度最高，分别为 1169、5537、724、1077、440 ng/g，苯醚甲环唑 -2 的浓度为 1080 ng/g。而西红柿地耕层土壤中这 6 种农药的检出浓度分别为 272、

2196、256、592、129、58 ng/g。西红柿和蔬菜两类利用方式下土壤中克百威 -1 和久效磷的检出浓度也比较高，分别为 196 和 97 ng/g 及 391 和 195 ng/g。在蔬菜地土壤中检出浓度大于 100 ng/g 的农药还有炔螨特和环酰菌胺。包括 DDT 和敌敌畏在内的其他农药在西红柿地和蔬菜地土壤中浓度均小于 75 ng/g。

山东潍坊市大棚蔬菜中有三种灌溉方式：喷灌、滴灌和漫灌，漫灌为主。在喷灌方式下大多数农药耕层土壤中的检出浓度最大，仅苯醚甲环唑 -2 在漫灌下的检出浓度最大，三唑磷和亚胺硫磷的检出浓度不受灌溉影响（表 5）。与漫灌相比，滴灌减少了甲硫威、甲氰菊酯、毒虫畏和苯硫磷等 4 种农药的检出浓度，增大了久效磷、乐果和苯醚甲环唑 -2 等 3 种农药的检出浓度，对其他农药的检出浓度没有显著影响。

当地农民一般在敞棚种植 6~7 年后将进行焖棚，即通过 2 个月的自然密封加热处理土壤以减少连作障碍。与敞棚相比，焖棚处理对毒死蜱的影响较小，提高了苯醚甲环唑 -2 的检出浓度，显著降低了其他 18 种农药的检出浓度（表 5）。焖棚土壤中未检出哒螨灵和环酰菌胺；敞棚处理土壤中有 7 种农药检出浓度大于 100 ng/g，焖棚处理后这 7 种农药中甲硫威和甲氰菊酯的检出浓度下降了 94% 和 98%，克百威 -1 的下降了 78%，久效磷、乐果和毒虫畏的下降了 37%~50%，苯硫磷的下降了 12%；敞棚处理土壤中检出浓度小于 100 ng/g 的 10 种农药中，焖棚处理后敌敌畏、地胺磷和氯氰菊酯 -4 的检出浓度分别下降了 80%、58%、49%，其余农药的下降幅度均小于 30%。

种植年限对土壤中残留农药的影响结果说明（表 5），种植 6~7 年后土壤中检出浓度最大的农药数量最多，有 17 种；种植 3~4 年的次之，有 6 种；种植 10 年的检出浓度最小的农药数量最多，有 11 种。种植 1 年后有克百威 -1、甲硫威、甲氰菊酯、久效磷、乐果、毒虫畏、苯硫磷和苯醚甲环唑 -2 等 8 种农药的检出浓度大于 100 ng/g，

表 5. 山东潍坊市某蔬菜基地漫灌和滴灌对土壤剖面中 20 种重点农药含量的影响

检测物质			西红柿 (滴灌, N=3)						西红柿 (漫灌, N=3)						小麦 (漫灌, N=3)					
入渗现象明显	入渗现象明显	表聚现象明显	0~20cm		20~40cm		60~80cm		0~20cm		20~40cm		60~80cm		0~20cm		20~40cm		60~80cm	
			平均值 ng/g	标准偏差	平均值 ng/g	标准偏差	平均值 ng/g	标准偏差	平均值 ng/g	标准偏差	平均值 ng/g	标准偏差	平均值 ng/g	标准偏差	平均值 ng/g	标准偏差	平均值 ng/g	标准偏差	平均值 ng/g	标准偏差
杀虫剂	氨基甲酸酯类	克百威 -1	122	12	54	15	127	10	31	2	109	6	116	7	23	1	32	2	26	1
		甲硫威	616	290	53	315	368	272	54	3	56	3	46	3	42	2	28	2	36	2
		甲氰菊酯	2589	1101	3033	901	2770	964	249	14	25	1	899	51	26	1	0	0	0	0
	除虫菊酯类	氯氰菊酯 -4	25	3	28	2	28	2	24	1	26	1	23	1	22	1	19	1	21	1
		有机氯类	DDE	8	3	7	3	10	2	6	0	8	0	6	0	0	0	7	0	11
	有机磷类	敌敌畏	18	7	3	8	11	7	4	0	4	0	3	0	3	0	3	0	3	0
		久效磷	174	22	206	14	222	22	179	10	191	11	162	9	166	9	125	7	146	8
		乐果	245	25	269	23	275	24	230	13	249	14	223	13	215	12	181	10	202	11
		马拉硫磷	16	1	17	1	16	1	14	1	16	1	16	1	15	1	15	1	14	1
		毒死蜱	8	0	8	0	8	0	9	0	8	0	8	0	8	0	13	1	8	0
		毒虫畏	714	60	449	31	758	55	587	33	26	1	730	41	480	27	31	2	685	39
		地胺磷	44	5	34	20	63	2	53	3	36	2	16	1	17	1	15	1	33	2
		三唑磷	21	1	29	21	39	0	21	1	24	1	21	1	18	1	33	2	20	1
		亚胺硫磷	28	3	22	2	24	1	20	1	?	0	27	2	20	1	22	1	20	1
		苯硫磷	159	50	176	36	111	42	45	3	33	2	132	8	77	4	211	12	253	14
杀螨剂	有机硫类	炔螨特	76	6	66	17	93	2	38	2	49	3	52	3	32	2	63	4	86	5
		哒螨灵	0	0	?	6	12	0	17	1	17	1	0	0	0	0	0	0	0	0
杀菌剂	酰胺类	甲霜灵	28	3	26	5	30	1	22	1	22	1	27	2	21	1	24	1	23	1
		环酰菌胺	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	三唑类	苯醚甲环唑 -2	69	18	75	13	51	15	27	2	23	1	59	3	39	2	88	5	103	6

表 6. 广州周边农区和山东潍坊市某蔬菜基地 20 种重点农药在水样中的检测结果

农药剂型	农药分类	农药名称	广东周边农区						山东潍坊市某蔬菜基地			
			地下水 (N=4)		地表水 (N=10)		稻田田面水 (N=4)		地下水 (N=12)		地表水 (N=12)	
			平均值 ng/L	标准偏差	平均值 ng/L	标准偏差	平均值 ng/L	标准偏差	平均值 ng/L	标准偏差	平均值 ng/L	标准偏差
杀虫剂	氨基甲酸酯类	克百威 -1	470	280	170	60	90	10	220	90	220	40
		甲硫威	200	90	130	30	110	20	150	40	90	10
	除虫菊酯类	甲氰菊酯	4630	1530	4700	1200	13330	360	8370	3910	4050	1130
		氯氰菊酯 -4	100	0	130	20	90	0	90	60	270	60
	有机氯类	DDE	100	50	50	10	30	0	1010	220	690	130
	有机磷类	敌敌畏	3250	1490	1310	560	1560	200	310	230	960	200
		久效磷	7690	3330	4700	1570	3490	890	3030	600	2830	490
		乐果	9840	4510	3970	1700	4730	600	3320	1550	2480	900
		马拉硫磷	40	20	50	30	40	40	80	40	10	0
		毒死蜱	10	0	20	0	10	0	60	20	20	0
		毒虫畏	7230	3450	4110	1290	2810	430	2040	560	1480	540
		地胺磷	1360	760	2260	1030	600	100	790	170	540	100
		三唑磷	230	30	190	40	130	40	390	160	370	60
		亚胺硫磷	180	10	170	20	130	10	190	40	160	10
		苯硫磷	2780	1000	6110	3430	830	380	2790	960	1640	250
杀螨剂	有机硫类	炔螨特	11210	2960	2040	880	330	180	1230	410	1500	200
		哒螨灵	120	120	40	30	70	70	100	50	20	10
杀菌剂	酰胺类	甲霜灵	1140	580	530	150	330	30	380	80	350	60
		环酰菌胺	110	10	110	40	100	10	120	50	30	0
	三唑类	苯醚甲环唑 -2	900	320	1970	1110	270	120	17920	12620	8760	2340

其中甲硫威、甲氰菊酯和毒虫畏的检出浓度竟高达 582、5362、809 ng/g。

山东潍坊市蔬菜样土壤剖面中农药分布特点表明,仅环酰菌胺的检出浓度表现为随土壤深度增加而下降,其余 19 种农药的检出浓度随土壤深度增加而增加,或者在剖面中均匀分布,或深层(60~80 cm)与耕层(0~20 cm)相当且大于亚表层(20~40 cm)。滴灌下大多数农药在土壤剖面中均匀分布,漫灌下更多农药的检出浓度是深层土壤中大于亚表层土壤。西红柿种植下土壤剖面中检出浓度大于 100 ng/g 的农药有 6 种,包括克百威 -1、甲氰菊酯、久效磷、乐果、毒虫畏和苯硫磷等杀虫剂;甲氰菊酯和毒虫畏在 60~80 cm 土壤中的检出浓度高达 899~2770, 730~758 ng/g。小麦种植土壤剖面中检出浓度大于 100 ng/g 的农药有 5 种,包括久效磷、乐果、毒虫畏、苯硫磷和苯醚甲环唑 -2,其中毒虫畏在 60~80 cm 土壤中的检出浓度高达 685 ng/g。

3.2.2. 水源

重点检测的 20 种农药在两个地区的水源中均能检出,检出浓度变化幅度为 3~40020 ng/L (表 6),是土壤中浓度(表 1)的百分之一左右。广州周边农区的水样包括稻田田面水、沟河地表水和 2 m 左右深地下水(井水),山东潍坊市某蔬菜基地的水样为沟塘的地表水和地下水(30~40 m 左右的取样深度)。两地水体中农药残留表现出不同程度的地下水富集现象(表 6)。广州地区水样中有 8 种农药的残留浓度为地下水 > 地表水 > 稻田田面水;山东潍坊市某蔬菜基地水样有 17 种农药的残留浓度为地下水 ≥ 地表水。广州地区地胺磷、苯硫磷和苯醚甲环唑 -2 等 3 种农药检测浓度平均值在地表水水样中显著高于在地下水和稻田田面水水样中的浓度;甲氰菊酯的检测浓度平均值为稻田田面水 > 地表水 > 地下水。山东地区有氯氰菊酯 -4、敌敌畏和炔螨特等 3 种农药检测浓度平均值表现为:地表水 > 地下水。

三种已禁用的持久性有机农药里,在水样中久效磷的

检出浓度最高,其变化范围在广州周边农区为 3490~7690 ng/L,在山东潍坊市某蔬菜基地为 2830~3030 ng/L;另外 DDE 两种构型和克百威 -1 的检出浓度在两个地区均较低,分别为 10~1010 ng/L 和 220~470 ng/L。同时,不同水源中检出浓度最大的农药种类不同:广州周边农区稻田田面水中甲氰菊酯检出浓度最大,为 13330 ng/L;河流地表水中苯硫磷检出浓度最大为 6110 ng/L;地下水(井水)中炔螨特检出浓度最大为 11210 ng/L。山东潍坊市某蔬菜基地 2 种水样中苯醚甲环唑 -2 检出浓度均最大(地表水 17920 ng/L,地下水 8760 ng/L)。

3.2.3. 大气

2012 年 4—5 月份大气监测的结果表明,所关注的 20 种农药中仅苯醚甲环唑 -2 未能检出,其余农药的检出浓度变化幅度一般为 0~200 pg/m³,其中广州周边农区农药检出浓度在 0~200 pg/m³ 区间出现频次为 65.4%,山东潍坊市某蔬菜基地的出现频次为 53.6%;广州周边农区杀虫剂甲硫威的检出浓度最高(12499 pg/m³),三种禁用的持久性有机杀虫剂中,久效磷的检出浓度最高,克百威 -1 居中,DDE 最小,检出浓度中值分别为 211、100 和 40.2 pg/m³,其他 11 种杀虫剂中还有 3 种(甲氰菊酯、敌敌畏和地胺磷)检出浓度中值 >1000 pg/m³(表 7,图 2);山东潍坊市某蔬菜基地杀菌剂环酰菌胺的最高(103910 pg/m³),三种禁用的持久性有机杀虫剂也表现为:久效磷的检出浓度最高,克百威 -1 居中,DDE 最小,检出浓度中值分别为 545、88.8 和 22.5 pg/m³,其他 12 种杀虫剂中甲硫威、甲氰菊酯、氯氰菊酯 -4、敌敌畏、毒虫畏和地胺磷等 6 种农药的检出浓度中值 >1000 pg/m³(表 7,图 3)。

3.3. 持久性有机氯农药 DDTs、HCHs 和硫丹的含量变化特征

3.3.1. 土壤

广州周边农区和山东潍坊市土壤样品中均检出了 3

表 7. 广州周边农区和山东潍坊市某蔬菜基地蔬菜基地 20 种重点农药在大气中的检测结果

农药剂型	农药分类	农药名称	广东大气样 (N=7)			山东大气样 (N=17)		
			中值	平均值	标准偏差	中值	平均值	标准偏差
			pg/m ³			pg/m ³		
杀虫剂	氨基甲酸酯类	克百威-1	100	93.1	7.0	88.8	82.6	17.9
		甲硫威	7126	3999	1447	8046	1197	402
	除虫菊酯类	甲氰菊酯	4122	1826	1124	6953	1515	388
		氯氰菊酯-4	495	545	95.2	21025	761	217
	有机氯类	滴滴伊	40.2	39.7	0.2	22.5	1633	873
	有机磷类	敌敌畏	1133	1159	293	2105	53.9	6.2
		久效磷	211	149	30.0	776	545	130
		乐果	145	41.4	41.4	433	67.3	19.3
		马拉硫磷	52.9	80.7	13.7	97.7	476	256
		毒死蜱	57.4	57.3	0.1	72.1	34.1	7.7
		毒虫畏	117	138	34.3	1025	2895	1335
		地胺磷	1473	512	388	6006	109	10.6
		三唑磷	154	147	6.3	135	414	123
		亚胺硫磷	219	189	23.8	358	52.8	16.6
苯硫磷	410	329	48.7	754	150	32.5		
杀螨剂	有机硫类	炔螨特	81.8	99.6	19.0	240	150	37.9
		哒螨灵	180	152	14.6	157	3820	1567
杀菌剂	酰胺类	甲霜灵	64.4	63.8	1.3	41.3	70.4	17.0
		环酰菌胺	728	666	98.0	32066	190	60.6
	三唑类	苯醚甲环唑-2	ND	ND	ND	ND	ND	ND

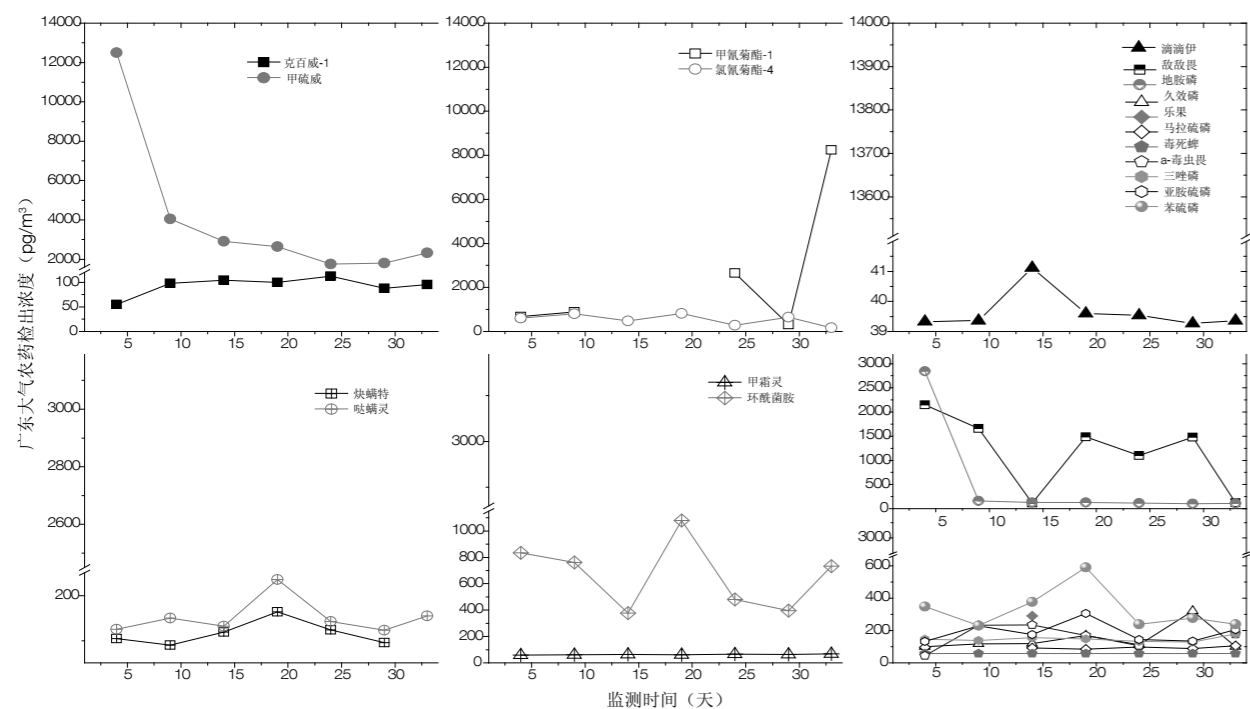


图 2. 广州周边农区大气中 20 种重点农药的检测结果

类有机氯农药：包括 DDTs 的 3 种主要异构体及同系物 (O,P'-DDT; P,P'-DDE; P,P'-DDD)，HCHs 的 4 种同分异构体 (α -HCH; β -HCH; γ -HCH; δ -HCH)，硫丹 (Endosulfan) 2 种同分异构体及 1 种衍生物 (α -硫丹; β -硫丹; 硫丹硫酸盐) (表 8)。广州周边土壤中、DDTs 和硫丹的检出率均分别为 88.5%~100%、96.2%~100% 和 61.5%~100%；山东潍坊市某蔬菜基地土壤中 HCHs、DDTs 和硫丹的检出率均分别为 100%、96.6%~100% 和 34.5%~100%； β -硫丹的检出率最低。土壤中 DDTs、硫丹和 HCHs 的平均检出浓度在广州周边农区分别为 96、53、246 ng/g，在山东潍坊市某蔬菜基地分别为 32、132、115 ng/g。

土壤中三种有机氯农药的不同同分异构体的比例见图 4。总有机氯农药中，广州周边农区土壤中 HCHs 的比例最大 (62.3%)，硫丹的比例最小 (13.4%)，而山东潍坊市某蔬菜基地土壤中硫丹比例最大 (47.3%)，DDTs 的比例最小 (11.5%)。两地土壤中 HCHs 的同分异构体比例均表现为： δ -HCH (34.6%~40.9%) > α -HCH (20.9%~26.4%) > β -HCH 和 γ -HCH (19.1%~19.5%)； α -HCH / γ -HCH 为 1.1~1.4，结果说明两地均可能在最近施用过林丹 (γ -HCH)。两地土壤中 DDTs 和硫丹同分异构体的比例不同，广州周边农区为 P,P'-DDE > O,P'-DDT > P,P'-DDD， α -硫丹 > β -硫丹 > 硫丹硫酸盐 (衍生物)；山东潍坊市某蔬菜基地为 O,P'-DDT > P,P'-DDE > P,P'-DDD，硫丹硫酸盐 (衍生物) > β -硫丹 > α -硫丹。高比例的 P,P'-DDE 和硫丹硫酸盐 (衍生物) 说明有新的 DDTs 和硫丹来源 (Willett et al., 1998)。广州周边农区土壤中 P,P'-DDE 占 DDTs 的比例为 36.5%，山东潍坊市某蔬菜基地土壤中硫丹硫酸盐 (衍生物) 占总硫丹比例 64.4%，结果表明广州地区可能有新的 DDTs 农药使用，而山东周边地区则有新的硫丹来源。

3.3.2. 水源

如表 9 所示，不同水源中有机氯农药的残留浓度不同。

两地水样中 DDTs 和 HCHs 残留浓度为：地下水 > 地表水，地下水富集有机氯农药；硫丹残留浓度为：地表水 > 地下水。广州周边地区稻田田面水三类有机氯农药的残留浓度均最低。DDTs 检出浓度，广州周边农区变化范围为 6-153 ng/L，山东周边地区为 250-1894 ng/L；HCHs 检出浓度，广州周边农区变化范围为 39-441 ng/L，山东周边地区为 110-646 ng/L；硫丹检出浓度，广州周边农区变化范围为 472-23700 ng/L，山东周边地区为 505-16240 ng/L。

不同水源中 3 类有机氯农药及主要异构体或同系物占其总残留量的比例见图 5。广州周边农区所有水源中，P,P'-DDE 占 DDTs 的比例最高 (>90%)，O,P'-DDT 未检测出； δ -HCH 占 HCHs 的比例在地表水和稻田田面水中最大，分别为 55.1% 和 35.6%， γ -HCH 占 HCHs 的比例在地下水中最高 (37.1%)； β -硫丹占总硫丹的比例最高 (86.0%~97.0%)， α -硫丹次之，硫丹硫酸盐 (衍生物) 最小。结果说明广州周边农区新使用 DDTs 和 HCHs 等农药已经进入地下水。山东潍坊市某蔬菜基地不同水源中，P,P'-DDE 占 DDTs 的比例在地表水中较高 (99.6%)，P,P'-DDD 和 O,P'-DDT 占 DDTs 的比例在地下水中较高，分别为 10% 和 4.3%；在 HCHs 中： α -HCH 和 δ -HCH 占 HCHs 的比例在地下水中较高，分别为 33.8% 和 47.1%； β -HCH 和 γ -HCH 的比例在地表水中较高，均为 34.2%；总硫丹中： α -硫丹和硫丹硫酸盐 (衍生物) 的比例在地下水中较高， β -硫丹的比例在地表水中较高，为 96.9% (图 5)。结果说明山东潍坊市某蔬菜基地地下水也有新的 DDTs 和硫丹来源。

3.3.3. 大气

两个地区大气样中均能检测到 DDTs、HCHs 和硫丹，总浓度变化范围 108~1062、149~4277、182-2045 pg/m³ (表 10)。广州周边农区和山东潍坊市某蔬菜基地大气样中 3 类有机氯农药检出的频次分别为：89.7% 和 88.1%；3 类有机氯农药检出浓度变化幅度主要集中在 0~200 pg/m³，该区间出现频次分别为：85.9% 和 63.2%，且检出

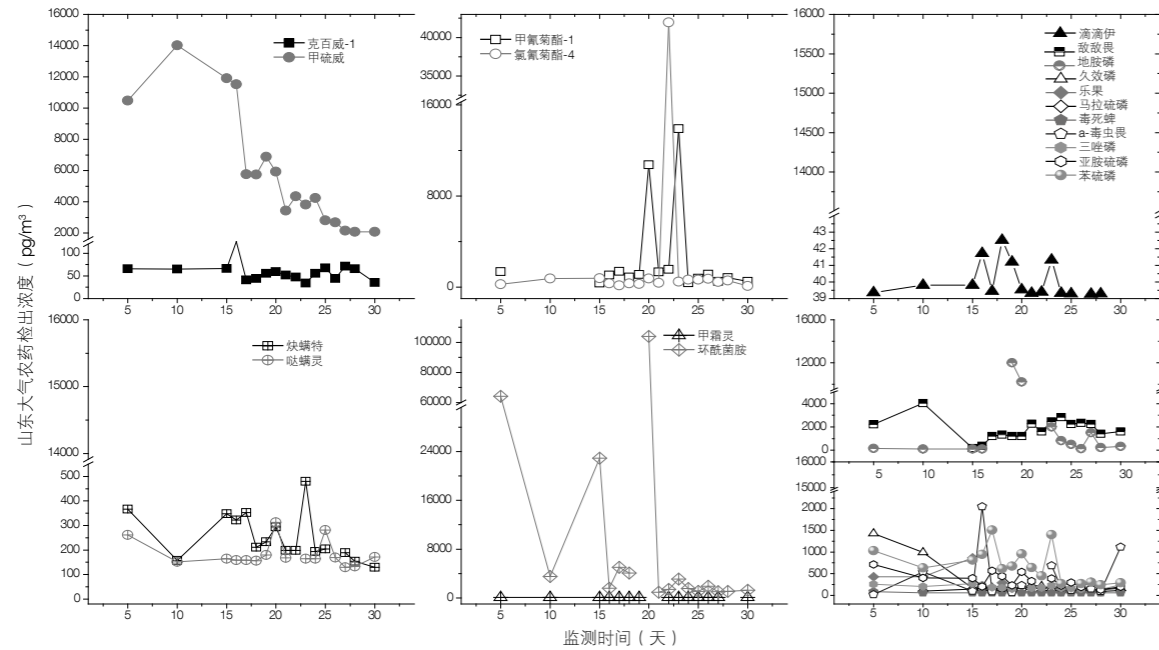


图 3. 山东潍坊市某蔬菜基地大气中 20 种重点农药的检测结果

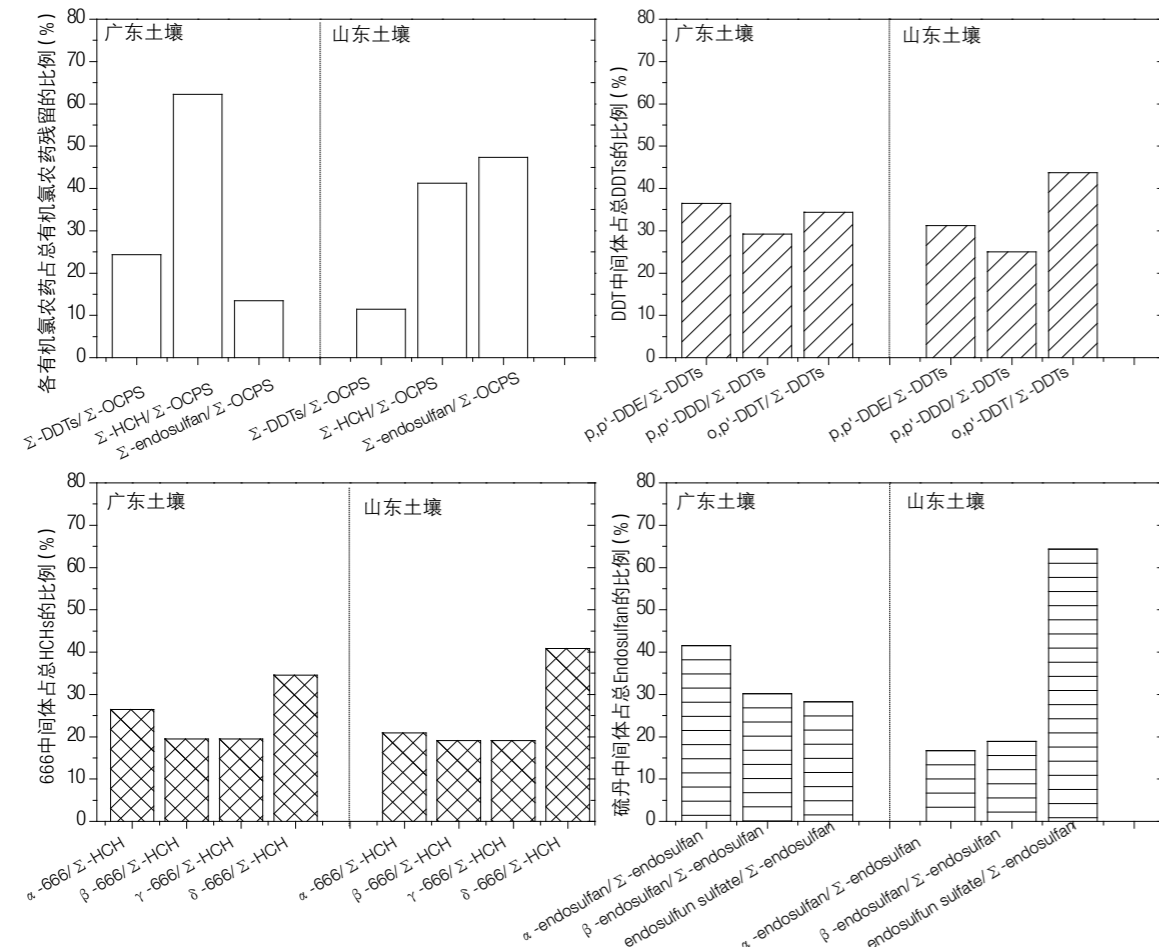


图 4. 广州周边农区和山东潍坊市某蔬菜基地土壤样品中各有机氯农药中间体占 DDTs、HCH 和 Endosulfan 农药残留中的百分比

表 8. 广州周边农区和山东潍坊市某蔬菜基地土壤样品中农药 DDTs、HCH 和 Endosulfan 农药检测结果

检测物质	广东土壤 (N=26)					山东土壤 (N=29)					
	最小值	最大值	平均值	中值	检出率	最小值	最大值	平均值	中值	检出率	
农药名称	ng/g					ng/g					
1	P,P'-DDE	NS	40	35	20	96.2	NS	27	10	14	100
2	P,P'-DDD	6	18	28	12	100	NS	10	8	5	96.6
3	O,P'-DDT	8	30	33	19	100	9	26	14	18	100
	Σ-DDTs	22	68		45		22	47		35	
4	α-HCH	21	79	65	50	100	11	54	24	33	100
5	β-HCH	9	38	48	24	92.3	9	43	22	26	100
6	γ-HCH	8	41	48	25	88.5	6	39	22	23	100
7	δ-HCH	20	111	85	66	100	18	135	47	77	100
	Σ-HCH	62	217		140		50	243		147	
8	α-硫丹	NS	34	22	17	92.3	NS	38	22	19	96.6
9	β-硫丹	NS	23	16	12	61.5	NS	117	25	59	34.5
10	硫丹硫酸盐(衍生物)	12	18	15	15	100	13	630	85	322	100
	Σ-endosulfan	28	71		50		15	658		337	

表 9. 广州周边农区和山东潍坊市某蔬菜基地不同类型水样内农药 DDTs、HCH 和 Endosulfan 的检测含量

检测 农药名称	广东水样 ng/g									山东潍坊市某蔬菜基地水样 ng/g					
	地下水 (N=4)			地表水 (N=10)			稻田表层灌溉水 (N=4)			地下水 (N=12)			地表水 (N=12)		
	范围	中值	平均值	范围	中值	平均值	范围	中值	平均值	范围	中值	平均值	范围	中值	平均值
P,P'-DDE	49-151	100	107	5-80	55	47	27-31	29	28	378-1891	1135	1013	249-989	619	688
P,P'-DDD	NS	ND	ND	NS	ND	ND	NS	ND	ND	NS-0.155	0.078	0.118	NS	ND	ND
O,P'-DDT	0-2	1	2	1-4	3	2	0-1	1	1	1-199	100	51	NS-5	2	3
Σ-DDTs	51-153	102		6-83	45		28-33	30		556-1894	1225		250-1145	698	
α-HCH	40-94	67	79	NS-118	59	73	10-50	30	35	24-149	87	69	6-46	26	35
β-HCH	70-131	101	99	6-55	31	44	40-45	42	43	12-190	101	66	16-233	125	89
γ-HCH	70-132	101	101	6-56	31	44	40-46	42	42	12-68	40	42	16-234	125	89
δ-HCH	50-85	68	72	26-208	117	108	44-51	48	47	NS-239	120	96	39-247	143	82
Σ-HCH	230-441	336		39-403	221		144-180	162		110-646	378		130-536	333	
α-硫丹	186-328	257	273	0-504	252	182	155-176	166	169	135-192	163	164	NS-228	114	191
β-硫丹	NS-13967	6983	13967	393-22890	11639	7444	1716-1992	1854	1854	NS-15894	7947	7450	4498-12738	8618	10207
硫丹硫酸盐(衍生物)	144-157	151	151	7-312	159	148	124-157	140	134	129-364	246	175	130-150	140	139
Σ-endosulfan	472-14300	7391		696-23700	12199		1995-2293	2144		505-16240	8372		4871-13074	8973	

表 10. 广州周边农区和山东潍坊市某蔬菜基地大气样内农药 DDTs、HCH 和 Endosulfan 的检测含量

检测农药名称	广州周边农区 (N=7)						山东潍坊市某蔬菜基地 (N=17)					
	最小值	最大值	中值	均值	标准误	检出率	最小值	最大值	中值	均值	标准误	检出率
	pg/m³					%	pg/m³					%
P,P'-滴滴伊	68.6	69.6	69.1	69	0	100	69	880.2	474.6	263.3	65	100
P,P'-滴滴滴	0	418	209	127	52	100	60.7	91	75.9	72.7	2	100
O,P'-DDT	39.3	41.1	40.2	39.7	0	85.7	39.4	90.6	65	54.7	4	94.1
Σ-DDTs	108	529	318				169	1062	616			
α-HCH	63.1	232	147	107	22	100	62.3	569	316	237	37	100
β-HCH	48.6	112	80.3	80	10	100	91.5	1597	844	428	104	100
γ-HCH	37.5	167	102	90	16	100	45.2	699	372	223	41	100
δ-HCH	0	132	66	53.1	25	42.9	0	1412	706	232	84	52.9
Σ-HCH	149	643	395				199	4277	2238			
α-硫丹	89	299	194	143	27	100	188	731	459	386	43	94.1
β-硫丹	0	101	50.4	43.9	16	57.1	0	672	336.1	126.1	46	41.2
硫丹硫酸盐(衍生物)	92.8	188	141	129	13	100	0	642	321	123	35	100
Σ-endosulfan	182	588	385				188	2045	1116			

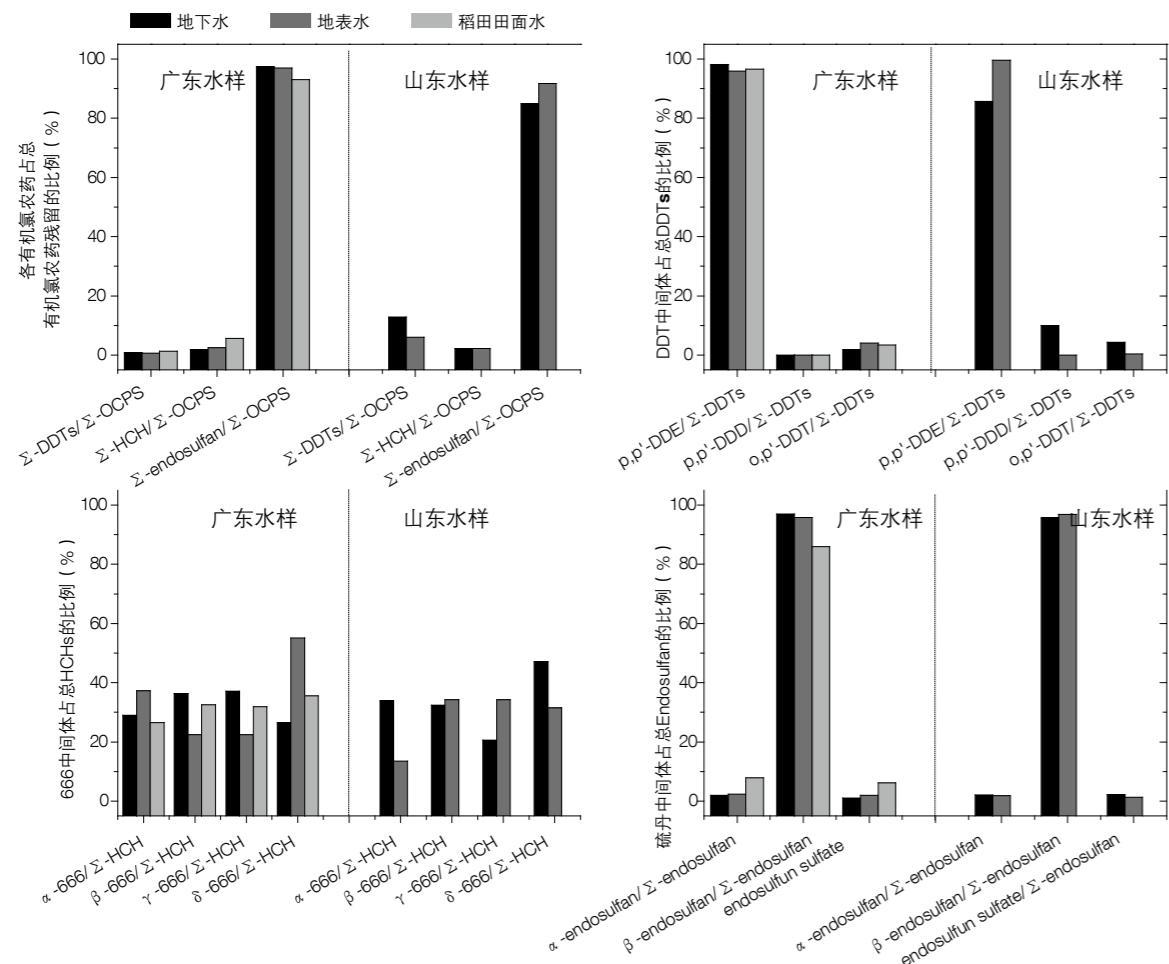


图 5. 广州周边农区和山东潍坊市某蔬菜基地不同类型水样内各有机氯农药中间体占 DDTs、HCH 和 Endosulfan 农药残留中的百分比

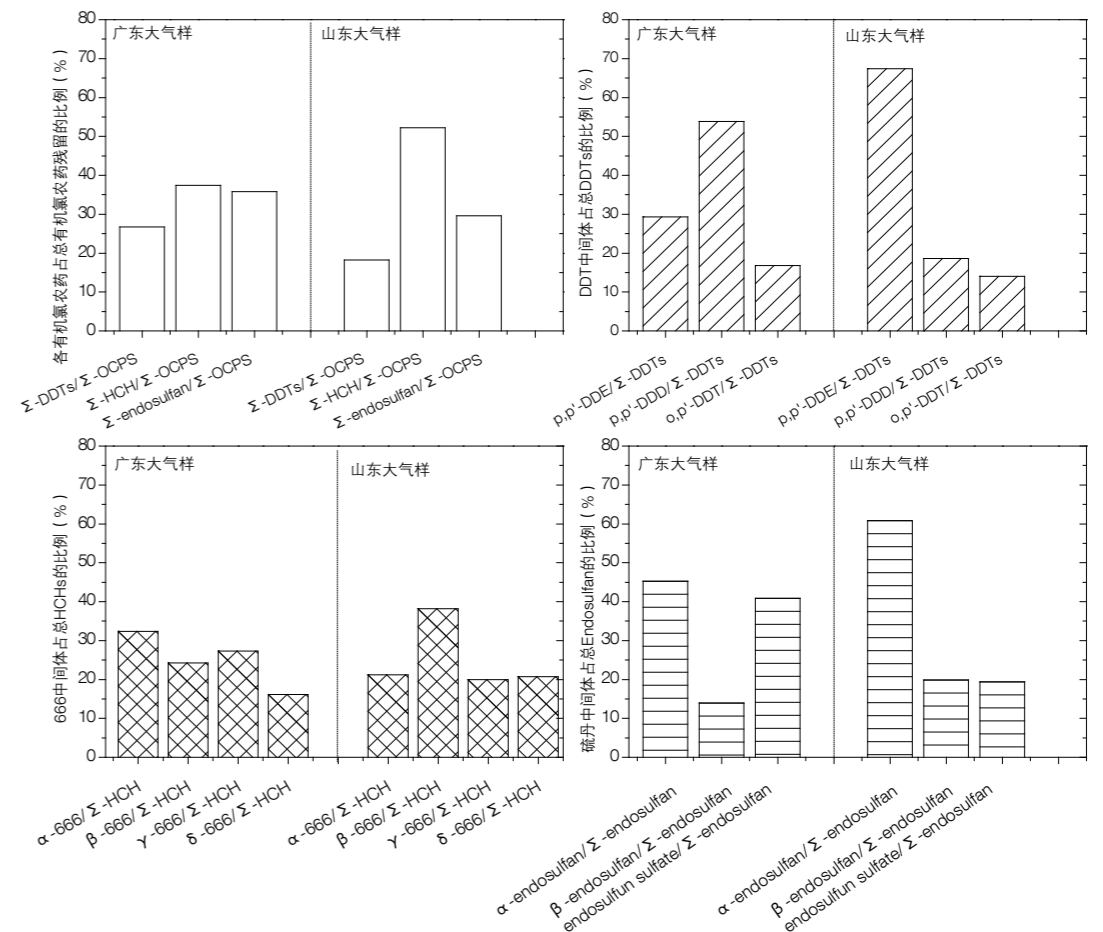


图 7. 广州周边农区和山东潍坊市某蔬菜基地气样品中各有机氯农药中间体占 DDTs、HCH 和 Endosulfan 农药残留中的百分比

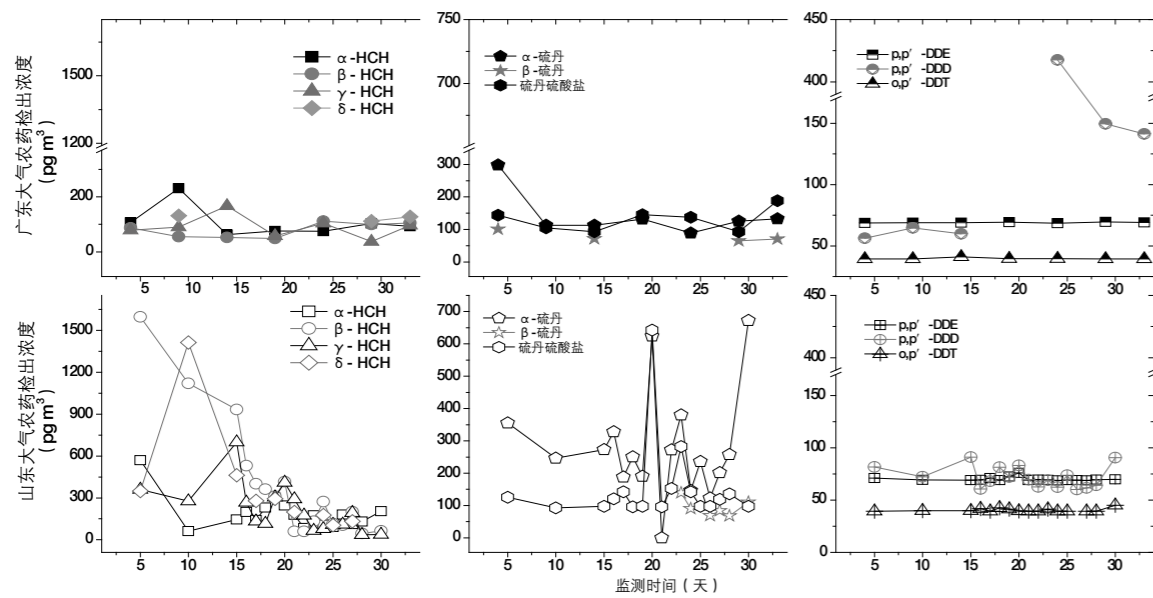


图 6. 广州周边农区和山东潍坊市某蔬菜基地大气中有机氯农药的检测结果

浓度中值广州周边农区显著低于山东潍坊市某蔬菜基地。单种异构体广州周边农区 P,P'-DDD 的检出浓度最高 (418 pg/m³), 山东潍坊市某蔬菜基地有 5 种异构体检测到 >500 pg/m³ 的浓度, 其中 β-HCH 的检出浓度最高为 1597 pg/m³ (图 6)。

广州周边农区和山东潍坊市某蔬菜基地大气样中 3 类有机氯农药及主要异构体或衍生物占其总残留量的比例见图 7。两个地区有机氯农药总量中, 均表现为 HCHs 的比例最高 (37.4%~52.2%)、硫丹次之 (29.6%~37.8%)、DDTs 最小 (18.2%~26.7%)。10 种同分异构体中, 广州周边农区有 7 种的检出率为 100%, 仅有 δ-HCH 的检出率 <50%; 山东潍坊市某蔬菜基地有 6 种的检出率

为 100%, 仅有 β-硫丹的检出率 <50%。广州周边农区大气样中检出 DDTs 表现为: P,P'-DDD (53.9%) > P,P'-DDE (29.3%) > O,P'-DDT (16.8%); HCHs 表现为: α-HCH (32.4%) > γ-HCH (27.3%) > β-HCH (24.2%) > δ-HCH (16.1%); 硫丹表现为: α-硫丹最高 (45.3%), 硫丹硫酸盐(衍生物)次之 (40.8%), β-硫丹最小 (13.9%)。山东潍坊市某蔬菜基地大气样中检出 DDTs 表现为: P,P'-DDE 最高 (67.4%), P,P'-DDD 次之 (18.6%), O,P'-DDT 最小 (14.0%); HCHs 表现为: β-HCH (38.2%) > α-HCH (21.2%) > δ-HCH (20.7%) > γ-HCH (19.9%); 硫丹表现为: α-硫丹最高 (60.8%), β-硫丹次之 (19.7%), 硫丹硫酸盐(衍生物)最小 (19.4%)。

4. 讨论总结

4.1. 集约化农业地区农药施用状况和环境介质中农药残留的普遍性

目前市场上销售的农药种类在广州周边农区和山东潍坊市某蔬菜基地分别高达 112 种和 81 种。其中仅 30 种左右在所检出的 151 种农药名单中, 检测结果说明两地实际使用中或使用过的农药种类可能会远远超过本次调查获得的数据。两个地区农药中均以杀虫剂和杀菌剂为主, 不同农药种类和来源略有差异: 广州周边农区杀虫剂种类数量最多, 山东潍坊市某蔬菜基地杀菌剂种类数量最多, 两地蔬菜种植过程还施用不同杀螨剂; 广州周边农区的除草剂数量多于北方; 广州周边农区的农药主要为国内产品, 山东潍坊市某蔬菜基地的主要为进口产品。农药销售店的调查结果表明, 敌敌畏、乐果、马拉硫磷、毒死蜱、三唑磷和哒螨灵等禁/限用农药在广州周边农区仍然在大量使用; 山东潍坊市某蔬菜基地目前使用的仅毒死蜱和哒螨灵等 2 种(附表 1)。

农民施药行为调查结果表明, 集约化条件下两个地区的用药次数和用药量均很大。广州水稻生长季节喷药 7~9 次, 主要蔬菜生育期内施药次数少则 3~5 次(芥蓝), 多则十几次(黄瓜/茄子); 山东潍坊市某蔬菜基地蔬菜采用定期喷药, 3~7 天一次, 在预防性的用药过程中, 现在多采用多种药品混合施用。农民多次使用农药的主要原因是, 农药销售中普遍存在套牌销售的现象, 药剂有效成分和含量不同导致药效不确定或错过最佳防治时期, 国产农药的销售过程中问题更多一些。山东潍坊市某蔬菜基地农药销售实行准入制度, 并进行不定期的有效成分检查; 由于质量更好控制, 农民普遍使用进口农药, 国家禁止施用的农药在本地区得到全面禁用, 但是在广州地区不仅市场上仍有部分禁用农药在出售, 而且在土壤、水和大气样调查检测中也证实了这一点。

本研究采用了农药多残留快速扫描法, 利用 180 种混合标样定量农药。虽然不同农药之间可能存在一定干扰, 但仍检出有 151 种农药符合检出标准(0.5 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 范围标样与检出浓度的线性关系的确定系数 $R^2 > 0.99$)。过去农药测定中多采用单一标样, 本研究中采用了混合标样, 显著地提高了分析效率。本研究所检出的土壤中 DDTs、硫丹和 HCHs 的检出浓度(中值)在广州周边农区分别为 45、50、140 ng/g , 在山东潍坊市某蔬菜基地分别为 35、337、147 ng/g (表 1)。杨国义等(2007)报道了中国广州典型农业地区 DDTs 和 HCHs 的检出浓度范围分别为 ND-157.57 和 ND-104.38 ng/g , 平均检出浓度分别为 10.2、5.9 ng/g 。山东烟台和聊城地区表层土壤内 DDTs 与 HCHs 的检出浓度范围分别为 10~2660、26~561 ng/g 与 ND-45511 和 ND-522 ng/g , 平均检出浓度分别为 160、165 ng/g 与 1283、112 ng/g (代杰瑞等, 2012; 付卫东等, 2009)。本研究的测定结果与以往研究的研究结果可比, 农药检出浓度中值均在以往研究的检出范围内。因此, 本研究所采用的农药多残留快速扫描技术的精确度是可靠的。

广州周边农区土壤、水和大气中农药检出数量分别是 134、120 和 144 种, 检出率为 100% 的农药数量占土壤、水和大气样中样品总数的比例在广州周边地区分别为 67%、87% 和 71%, 在山东潍坊市某蔬菜基地分别为 83%、77% 和 40%。某些农药在土壤、水体和大气样中的检出浓度也非常高。

水体和大气中极高的检出浓度可能反映了农药使用季节所使用的农药刚刚进入所取样的水体和大气中; 如此之多的农药在土壤、水体和大气中在两个不同地区被检出, 反映了中国目前农药残留的普遍性和严重性; 虽然所采用的方法尚需要更进一步完善以确定其精确度, 但是这些检

出结果说明今后需要十分重视包括所谓所谓低毒、低残和非持久性农药大量使用后在环境介质中的残留及环境危害的监测和研究。

4.2. 环境介质中重点农药残留及影响因素

农药的广泛使用造成了环境污染, 对人体及其他生物产生了严重危害, 对生物多样性构成了威胁。全世界每年使用的 400 多万 t 农药, 实际发挥效能的仅 20%~30%, 其余 70%~80% 都散逸于土壤、水体及空气之中。本研究重点关注了 20 种农药土壤、水体及空气的残留状况, 这 20 种不仅包括持久性强、毒性大的有机氯、有机磷类农药, 还包括中、低毒性和持久性较小的有机磷、拟除虫菊酯类农药及其他目前正在大量施用的农药。农户以及市场调查结果表明: 目前广东珠江地区仍然使用有敌敌畏、乐果、马拉硫磷、毒死蜱、三唑磷和哒螨灵等 6 种禁/限用农药, 而在山东潍坊市某蔬菜基地也有毒死蜱和哒螨灵等 2 种禁/限用农药仍在使用(表 1)。

大气中农药的主要来源有: (1) 农药施用过程中的损失, 如农药微滴的飘移; (2) 农药的挥发, 如施用过程中的、施用农药后植物、水体和土壤表面残留农药的挥发; (3) 施用农药的土壤粉尘的风蚀; (4) 农药生产加工过程的损失, 如农药成品的挥发, 废气、烟雾、粉尘的排放等。农药进入大气中受多种因素影响, 例如农药本身的蒸气压、扩散系数、水溶性、土壤的吸附作用、农药的喷洒方式以及气候条件等。2012 年 4-5 月份大气监测的结果表明, 所关注的 20 种农药中仅苯醚甲环唑-2 未能检出, 其余农药的检出浓度变化为 0-200 pg/m^3 的概率为 54%-65%; 期间广州周边农区出现甲氰菊酯、敌敌畏、地胺磷和甲硫威等 4 种杀虫剂的检出浓度超过 1000 pg/m^3 , 其中甲硫威的检出浓度竟高达 12499 pg/m^3 ; 山东潍坊市某蔬菜基地有甲硫威、甲氰菊酯、氯氰菊酯-4、敌敌畏、毒虫畏和地胺磷等 6 种杀虫剂和 1 种杀菌剂环酰菌胺的

检出浓度超过 1000 pg/m^3 , 其中环酰菌胺的浓度竟高达 103910 pg/m^3 (表 1)。这些极端高值检出浓度说明, 即使在 4-5 月温度刚刚开始回暖的季节, 这两个地区在水稻和蔬菜生长过程中就开始使用大量的农药。这样高浓度农药进入大气后, 可能对在田间和蔬菜大棚内进行农事操作的农民的身体健康产生危害。已禁用的一些有机杀虫剂也在大气中检出, 两个地区久效磷的检出浓度均为最高, 克百威-1 次之, DDE 最小, 广州地区三者的检出浓度中值分别为 211、100、40.2 pg/m^3 , 山东潍坊市某蔬菜基地的检出浓度中值分别为 545、88.8、22.5 pg/m^3 (表 8)。已有关于 DDE 值变化在中国部分城市大气中的含量的研究报道, 如在广州地区为 71.5~138.7 pg/m^3 (李志刚等, 2011), 在北京地区为 0.64~232.37 pg/m^3 (李淑珍等, 2009), 在山东地区为 1.58~108.16 pg/m^3 之间, 均值为 30.17 pg/m^3 (楼迎华, 2005)。本研究测定值与这些研究值变化范围相当, 说明广州周边农区和山东潍坊市两地的大气中禁用农药主要还是来自于土壤排放。但部分农药如甲硫威和环酰菌胺等在广州周边农区和山东潍坊市某蔬菜基地市场调研时并未见销售, 却在两个地区大气中检出浓度偏高, 表明其可能有新的输入存在, 不排除套牌农药含有这两种农药的可能。

当农田中施用大量农药, 超过土壤的自身净化能力, 就会导致农药或其分解产物在土壤污染残留, 设置逐渐积累, 不仅直接影响土壤生物, 而且能进入地下水或地表水影响水体生物, 或通过“土壤-植物-人体”, 或通过“土壤-水-人体”等途径被人体吸收, 危害人体健康。20 种重点农药在两个地区耕层土壤中仅有 3 种农药的检出率低于 50%, 其余 17 种农药的检出率均大于 90%。两个地区耕层土壤样品中克百威-1、乐果、久效磷、地胺磷、哒螨灵、敌敌畏等禁药在内的 9~10 种农药的检出浓度中值均大于 100 ng/g (表 1、2); 广州周边农区土壤中有甲硫威、乐果和苯醚甲环唑-2 等 8 种农药的检出浓度中值大

于 500 ng /g, 乐果的检出浓度高达 1004 ng /g; 山东潍坊市某蔬菜基地耕层土壤中有甲硫威、甲氰菊酯、地胺磷、哒螨灵、苯醚甲环唑 -2 的检出浓度中值大于 400 ng /g, 其中大量使用的杀螨剂(哒螨灵)和杀菌剂(苯醚甲环唑 -2)的检出浓度中值高达 6019、2408 ng /g (表 4)。中国目前仍然缺乏关于土壤中农药残留标准。如果按照国家《土壤环境质量标准》(GB 15618—1995)有机氯农药的标准, 这些农药在耕层土壤中的残留浓度已经远远大于二级标准 (一级 <50 ng /g, 二级 <500 ng /g)。

这两个地区水源中农药的检出浓度变化幅度为 3-40020 ng /L, 不同水源中检出浓度最大的农药种类不同 (表 6)。广州周边农区稻田田面水中甲氰菊酯检出浓度最大, 为 13330 ng /L; 河流地表水中苯硫磷检出浓度最大为 6110 ng /L; 地下水 (井水) 中炔螨特检出浓度最大 11210 ng /L。山东潍坊市某蔬菜基地地表水和地下水的水样中苯醚甲环唑 -2 检出浓度均最大, 分别为 17920ng /L 和 8760 ng /L。Gao 等 (2009) 报道全国 600 多个点的地表水普查结果表明, 中国水体中有机磷杀虫剂在长江流域的最高浓度为 1552ng /L (敌敌畏), 辽河为 2560ng /L (内吸磷), 黄河为 2660 ng /L (乐果)。20 世纪九十年代有报道德国易北河中乐果的最高检出浓度为 3210ng/L (Gotz et al., 1998)。本研究检出水体中的最高农药残留浓度是 Gotz et al. (1998) 和 Gao et al. (2009) 所报道的中国主要河流中农药浓度的 10 倍左右。

农药在土壤和水环境介质中的残留浓度取决于气候条件、土地利用方式、农药使用历史、农药疏水性和分解特征、土壤性质和土壤水分运动。广州周边农区地处南亚热带, 病虫害较重, 20 种农药中有 14 种在水稻田表层土壤中浓度不低于蔬菜地表层土壤中的, 蔬菜地中大量使用的杀虫剂 (克百威 -1、甲硫威、氯氰菊酯 -4、敌敌畏、久效磷) 和杀菌剂 (环酰菌胺) 的检出浓度则是蔬菜地土壤大于水稻田土壤 (表 3)。山东潍坊市小麦地土壤中仅苯硫磷和苯醚甲环唑 -2 的残留浓度大于西红柿大棚土壤

中的浓度; 蔬菜地中, 西红柿大棚土壤中所有农药的残留浓度小于茄子、辣椒、黄瓜和丝瓜等蔬菜大棚土壤中 (表 5)。广州周边农区耕层土壤中乐果检出浓度和山东潍坊市某蔬菜基地土壤中哒螨灵和苯醚甲环唑 -2 的检出浓度的平均值大于 1000 ng /g, 甚至高达 6000 ng /g (表 2)。这有两种可能, 一种是在取样之前, 这两个地区广泛地使用了这些农药, 另外一种可能是这些农药在该地区仍长期大量使用, 并残留在土壤中。广州地下水中乐果的检出浓度较高, 山东潍坊市某蔬菜基地地表水和地下水中苯醚甲环唑 -2 的浓度最高 (表 7), 这些结果进一步说明该农药的长期大剂量使用; 但也不排除采样时刚刚直接使用过这些农药。

本研究中土壤剖面中残留农药的分布可以分成三类型。第一种类型是仅在耕层土壤或在所有土层均不能被检出, 如广州地区甲氰菊酯在水稻田中的没有被检出、DDE、苯醚甲环唑 -2 和环酰菌胺仅在蔬菜地耕层土壤中的被检出。可能与这种农药没有在特定作物上使用, 或者其的半衰期短 (凌岗等, 2009; 安晶晶等, 2009), 或者在氧化还原条件下分解快, 没有被淋溶至更深层土壤 (王军, 2008) 有关。

第二种类型是农药残留浓度随土壤深度增加而下降, 主要出现在广州地区。广州周边农区稻田土壤中有 18 种农药、蔬菜地土壤中的 5 种农药的残留浓度分布属于这种类型, 而山东潍坊市某蔬菜基地仅有环酰菌胺属于第二种类型。广州周边农区水稻田耕层土壤中有 4 种农药、蔬菜地耕层土壤中有 6 种农药的残留浓度小于 100 ng /g, 在深层土壤中的残留浓度则分别小于 20 、50 ng /g; 但是水稻田耕层土壤中敌敌畏、久效磷、甲硫威、乐果和毒虫畏等 8 种农药的检出浓度大于 500 ng /g, 它们在深层土壤的残留浓度则大于 150 ng /g, 其中稻田耕层中甲硫威、乐果和毒虫畏的检出浓度分别高达 1559、1825、1344 ng /g; 这些农药在 40~60cm 和 80~100 cm 土层中检出浓度分别高达 1231 和 695 ng /g、279 和 24 ng /g、

915 和 605 ng /g。广州周边农区蔬菜地耕层土壤敌敌畏、地胺磷、苯硫磷等 4 种农药的检出浓度大于 400 ng /g, 它们农药在 40~60 和 80~100 cm 土壤中的检出浓度为 160~330 ng /g。甲硫威在耕层的浓度甚至大于 1000 ng /g, 在 40~60cm 和 80~100 cm 土壤中的检出浓度为 803 ng /g 和 46 ng /g。

第三种类型是农药残留浓度在土壤剖面中没有分异或随土壤深度而增加或者深层与耕层相当但大于亚表层, 这可能与这些农药有较长的半衰期 (张劲强等, 2006) 或较强的疏水性或土壤水分管理有关系 (张红艳等, 2006)。疏水性农药在土壤中具有较强的迁移能力 (虞云龙等, 1998; 谢显传和王冬生, 2005)。广州周边农区蔬菜地有 8 种农药、山东潍坊市周边地区有 19 种农药属于这种类型, 山东多于广州的主要原因是山东潍坊市蔬菜多采用定时滴灌、漫灌方式, 广州周边农区蔬菜基本没有灌溉。山东潍坊市蔬菜 (西红柿) 下滴灌下大多数农药在土壤剖面中均匀分布, 漫灌下更多农药的检出浓度是深层土壤中大于亚表层土壤 (表 7)。这些农药在深层土壤中的残留浓度常大于 100 ng /g, 有时甚至更高。比如广州周边农区蔬菜地深层土壤中的甲氰菊酯和毒虫畏的残留浓度高达 3033 和 758 ng /g; 山东潍坊市某蔬菜基地西红柿大棚灌溉 60~80cm 土壤甲氰菊酯和毒虫畏的检出浓度高达 899~2770 ng /g 和 730~758 ng /g。同样有灌溉的小麦种植土壤剖面中毒虫畏在 60~80 cm 土壤中的检出浓度高达 685 ng /g。同样, 参照国家《土壤环境质量标准》(GB 15618—1995) 有机氯农药的标准, 这些农药在深层土壤中的残留浓度已经远远大于二级标准 (一级 <50 ng /g, 二级 <500 ng /g)。

设施大棚种植蔬菜条件下土壤剖面中农药残留浓度还与灌溉方法、土壤利用时间和土壤管理有关。在喷灌方式下大多数农药耕层土壤中的检出浓度最大, 在漫灌条件下仅苯醚甲环唑 -2 的检出浓度最大, 三唑磷和亚胺硫磷的检出浓度不受灌溉影响 (表 5)。与漫灌相比, 滴灌减

少了甲硫威、甲氰菊酯、毒虫畏和苯硫磷等 4 种农药的检出浓度, 增大了久效磷、乐果和苯醚甲环唑 -2 等 3 种农药的检出浓度, 对其他其他农药的检出浓度没有显著影响。山东潍坊市某蔬菜基地土壤种植蔬菜后 1 年后 8 种农药的检出浓度大于 100 ng /g, 种植 3~4 年后土壤中有 6 种农药的检出浓度最大, 种植 6~7 年后该数量提高到 17 种, 当地农民一般在敞棚种植 6~7 年后将进行焖棚, 即通过 2 个月的自然密封加热处理土壤以减少连作障碍, 所以种植 10 年后土壤中检出浓度最小的农药数量最多, 达到 11 种。焖棚处理显著降低了其他 18 种农药的检出浓度, 使得检出浓度大于 100 ng /g 的 7 种农药在焖棚后的检出浓度下降 95% 以上, 使得久效磷、乐果和毒虫畏等有机磷农药的检出浓度消减了 40%~50%, 但是苯硫磷检出浓度仅下降了 12%。

农田地表水中农药的主要来源是农药使用过程中的污染, 大多数农药在水环境中最终被吸附到悬浮颗粒物表面并进入沉积物中, 也有少量通过迁移和淋移进入地下水。地下水是宝贵的淡水资源, 因农业生产中农药的大量使用, 其中相当一部分农药在土壤中具有较强的移动性, 使用后易淋溶到地下水。由于地下水环境中微生物较少, 同时处在避光和缺氧状态下, 农药在地下水中往往不易降解, 具有持久性, 即地下水农药污染不可逆转。农药对地下水的污染途径主要是通过水的溶解作用将土壤中农药的迁移进入地下水。降水或灌溉水是导致农药在土层中淋溶的动力学因素, 降雨愈大, 则农药的最大淋溶深度也愈大, 两者呈正相关关系。此外, 土壤的理化性质尤其是土壤孔隙结构组成对地下水的污染影响也很大。两个地区的水体中农药残留表现出不同程度的地下水富集现象 (表 7): 广州周边农区和山东潍坊市某蔬菜基地水样中分别有 8 种和 17 种农药的残留浓度为地下水 > 地表水, 分别有 3 种农药的残留浓度为地表水大于地下水。地下水农药浓度大于地表水农药浓度主要是农药随水分迁移到水体后在还原条件下分解速度下降的原因 (朱忠林等, 1994; 程燕等,

2007)。三种禁用的有机农药在水样中久效磷的检出浓度最高，其变化范围在广州周边农区为 3490~7690 ng/L，在山东潍坊市某蔬菜基地为 2830~3030 ng/L。广州周边农区稻田田面水中甲氰菊酯检出浓度最大，为 13330ng/L；河流地表水中苯硫磷检出浓度最大为 6110ng/L；地下水（井水）中炔螨特检出浓度最大 11210ng/L。山东潍坊市某蔬菜基地 2 种水样中苯醚甲环唑-2 检出浓度均最大（地表水 17920ng/L，地下水 8760ng/L）。这些结果说明农药是这些地区水体中农药残留的重要来源，地下水农药残留和富集现象在两个地区均十分显著，而且浓度已经非常之高。

广州周边农区和山东潍坊市某蔬菜基地土壤、水体

和大气样品中均检出了 3 类有机氯农药（DDTs、HCH 和硫丹），共 10 种同分异构体及其衍生物。广州周边农区土壤中 DDTs、硫丹和 HCHs 的检出浓度中值分别为 45、50、140 ng/g，在山东潍坊市某蔬菜基地分别为 35、337、147 ng/g。两个地区水样内 3 类有机氯农药检出浓度均为硫丹最高，大气样表现为 HCHs 最高、硫丹次之、DDTs 最小。两个地区土壤样品的 γ -HCH、P,P'-DDE 和硫丹硫酸盐（衍生物）分别在总 DDTs、总 HCHs 和总硫丹中占较高比例，说明两个地区农业生产中有新的 HCH、DDTs 和硫丹来源。两个地区 P,P'-DDE 在总 DDTs 中占比例最高，进一步说明两个地区农业生产中有新的 DDTs 来源。

5. 政策建议

本研究所调查的广州周边农区和山东潍坊市某蔬菜基地的农药市场和农药施用调查以及环境介质中的农药残留状况在集约化农业地区具有典型性，反映了农药市场和施用中存在诸多管理问题需要改进：（1）由于农药市场准入制度不健全，导致农药来源产家众多，农药种类和品名繁杂，调查中发现市场上季节性销售的农药种类在广州周边农区和山东潍坊市某蔬菜基地分别高达 120 和 80 多种，普遍存在套牌销售或换牌销售或劣质农药销售的情况；（2）由于农药成分和农药有效成分不明，农民长期担心农药的药效，导致农民和销售商都偏爱混合性农药，可能导致一些混合性农药中含有已经禁用的有机氯和有机磷农药；（3）为了减少病虫害损失，农民不是根据病虫害的发展状况施用农药，而是根据过去经验预防性定期施用混合农药，特别是在蔬菜生长期间，农药施用次数多达十几次，导致长期保持大量施用农药。

防止目前环境介质中农药状况的继续恶化的关键是：

（1）通过建立农药准入制度，防止低效、伪劣农药种类

进入市场；（2）建立定期抽查制度，防止农药套牌、混合销售，防止禁用的高毒高效农药进入市场；（3）建立和推广区域化的科学农药使用技术和模式，减少农药使用种类、施用频率和施用量。

本次调查中采用了农药多残留快速扫描法，两地环境介质中水源中检出的农药种类最少也有 120 种，研究结果反映了研究地区环境介质中农药残留的普遍性；环境介质中检出禁用有机氯、有机磷和最新禁用的其他农药，其检出的残留浓度范围与同地区的其他报道结果相符，反映仍然有一定禁用农药仍然在使用；推荐使用的一些半衰期较短的替代农药在包括地下水源等环境介质中的残留浓度也非常之高，可是对这些农药的环境健康风险评估研究非常之少，中国乃至世界其他国家仍然缺乏关于这些农药的环境质量标准。建议国家有关权威部门开展系统性调查中国环境介质中农药残留状况、不仅关注持久性污染物的研究，更要关注不断更新的替代农药的环境和健康风险以及环境质量标准的研究。

附表 1. 广州周边农区和山东潍坊市某蔬菜基地的农民用药情况调查结果

农药剂型	农药名称	病虫害名称	用药次数	用药剂量	用药方法	用药时期	农药厂家
广东周边农区							
杀螨剂	三唑磷	螨虫	每季一次	20~25ml/亩	兑水喷雾	花期	浙江海正化工有限公司
除草剂 5 种	百草枯	杂草	多次使用	每亩用 20% 水剂 75~200ml	兑水喷雾	作物生长中后期	石家庄宝丰化工有限公司
	草铵膦	杂草	多次使用	400~700g/亩	兑水喷雾	萌芽早期或开花期	永农生物科技有限公司
	草甘膦	杂草	多次使用	30ml/亩	喷雾	杂草 4~6 叶期	浙江新安化工集团
	敌草隆	杂草	多次使用	25ml 兑水 15kg	喷雾	杂草齐生时	滨农公司(忘锄牌)
	精异丙甲草胺	杂草	多次使用	1200~2000g/亩	兑水喷雾	杂草长势旺盛时	江苏昆山先正达公司
杀虫剂 18 种	吡虫啉	虫害	每季 1~2 次	每亩 45~60ml, 1200~1500 倍液	喷雾	卵孵盛期	福建三农集团股份有限公司
	丙环唑	虫害	每季 2 次	3000~4000 倍	喷雾	花期, 苗期	山东东博
	丙溴辛硫磷	虫害	每季 1~2 次	30ml 兑水 20kg	喷雾	出现虫害时	郑州万安特农化产品股份有限公司
	稻虱净	虫害	每季 1~2 次	800~3000 倍液	喷雾	植株出现症状时	江苏丰登农药有限公司
	敌敌畏	虫害	每隔 2 次	30~45ml/亩	兑水喷雾	开花期	河北新丰农药化工股份有限公司
	毒死蜱	虫害	年均 4~5 次	600~900g/hm ²	喷雾	幼虫孵化期	山东大成股份有限公司
	甲氨基阿维菌素苯甲酸盐	虫害	每季 2 次 / 安全周期 7 天	30L 水加 30ml(水稻)	喷雾	出现虫害时	江西大自然化工厂
	乐果	虫害	年均 4~5 次	50~75ml/亩	喷雾	虫卵孵化器	山东京博农化股份有限公司
	联苯菊酯	虫害	每季 2 次	30ml 兑水 20kg	喷雾	1~2 龄幼虫发生期	海南正业
	马拉硫磷	虫害	每季 1 次	45% 乳剂 1000 倍液喷雾	兑水喷雾	虫害初期使用	山东京博农化股份有限公司
	咪酰胺	虫害	每季 1~2 次	20~50g/100L	喷雾	卵孵盛期	湖南南天实业股份有限公司
	灭棉铃	虫害	每季 1~2 次	不详	喷雾	1~2 龄幼虫发生期	深圳东博农化股份有限公司
	强力杀虫剂	虫害	每年 5~7 次	200ml 兑水 60kg(水稻)	喷雾	幼虫开始出现时	中山市凯达化工股份有限公司
	氰戊菊酯	虫害	每季 1~2 次	每亩用 20% 乳剂 10~25ml	喷雾	幼虫开始出现时	上海悦联农化有限公司
	杀虫双	虫害	每季 1~2 次	每亩 25~45ml	兑水喷雾	出现幼虫时	中山凯达化工股份有限公司
	死虫蜱	虫害	不详	300~450g/hm ²	喷雾	卵孵盛期	盐城利民农化有限公司
	辛硫磷	虫害	每季 1~2 次	1000~2000 倍	喷雾	卵孵盛期	江苏腾龙生物药业公司
	仲丁威	虫害	每季 1~2 次	100~200ml, 兑水 100kg	喷雾	盛花期	河北新丰农药化工有限公司
杀菌剂 14 种	2% 阿维菌素	病害	每季一次	500ml/亩	喷雾	收获期前 20 天	闪耀
	5% 阿维菌素	病害	每季一次	1 包	喷雾	收获期前 20 天	博士威新科
	阿维菌素	病害	一年 4 次	450~600ml/亩	兑水喷雾	稻株有虫害时喷药	上海悦联化工有限公司
	阿维菌素/乳剂	病害	每季一次	500ml/亩	喷雾	虫害出现/孵化盛期	上海悦联化工有限公司
	阿维菌威	病害	每季 1~2 次	30ml 兑水 20kg	喷雾	卵孵盛期	山东京蓬生物药业股份公司
	稻瘟净	病害	每年两次	用可湿性粉剂 75~100g/亩	喷雾	稻株颜色变化时	浙江海正化工股份有限公司
	稻瘟灵	病害	每季一次	用 40% 可湿性粉剂 60~100g/亩	喷雾或者泼浇	田间出现叶瘟发病	山东滨农
	多菌灵	病害	每季一次	50% 多菌灵可湿性粉剂 500 倍液	喷雾	开花期	深圳诺普倍
	井冈蜡芽菌	病害	年均 4~5 次	200~400ml/亩兑水	喷雾	水稻纹枯病始发期	陕西华邦生物科技有限公司
	井冈霉素	病害	每季一次	用 5% 可溶性粉剂 100~150g/亩	喷雾	抽穗前期/盛发初期	浙江枫庐汇丰生物化工有限公司
	三环唑	病害	每季一次	50~75g/亩兑水 40~50kg	常规喷雾	秧苗 3~4 叶期	山东滨农化工有限公司

农药剂型	农药名称	病虫害名称	用药次数	用药剂量	用药方法	用药时期	农药厂家
杀菌剂 14 种	苏云金杆菌	病害	每季 2~3 次	金杆菌可湿性粉剂 600 倍液	喷雾	发病初期	全扫荡
	叶枯唑	病害	不定	100~150g/亩兑水 40~50kg	兑水喷雾	齐穗期(水稻)	标正作物科学有限公司
	异稻瘟净	病害	每季一次	用 40% 可湿性粉剂 75~90g/亩	兑水喷雾	稻叶出现瘟病症状	山东京博农化股份有限公司
杀螨剂 8 种	达螨灵	螨虫	年均 4~5 次	每亩 15% 乳剂 稀释 2300~3000 倍液	喷雾	1~2 虫龄幼虫出现	广西安泰化工有限公司
	噻螨酮 4%+哒螨灵 16%	螨虫	每季 1~2 次	30ml	喷雾	卵孵盛期	杭州庆丰农化有限公司
	三唑磷 20%	螨虫	每季一次	35~50ml 20% 兑水没雾	喷雾	虫害开始出现时用药	浙江海正农化有限公司
	三唑磷	螨虫	不详	25~30ml/亩	兑水喷雾	花期	浙江海正化工股份有限公司
	丁醚脲	螨虫	每季 2~3 次	4000 倍	喷雾	盛花期	不详
	哒螨灵	螨虫	每季 2~3 次	2300~3000 倍	喷雾	2~3 龄幼虫发生期	先正达南通作物保护有限公司
	丁腈醚	螨虫	每季 1~2 次	一般有效成分 20~30g/亩	喷雾	苗期或者成株期	山东省青岛海利尔药业有限公司
	啶虫脒	螨虫	每季 1 次	50ml 的 30% 乳剂兑水 50kg	喷雾	卵孵盛期	河北新丰农药化工有限公司
除草剂 6 种	烯啶吡	杂草	每季 1 次	10~20ml/100m ² 兑水	喷雾	卵孵盛期	争捕净
	毒虫蜱	杂草	年均 4~5 次	600~900g/hm ²	茎叶喷雾	幼虫孵化盛期	山东大成股份有限公司
	敌草隆	杂草	每季 2~3 次	70~90ml/亩兑水喷雾	喷雾	出现新叶时可用药	山东滨农科技有限公司
	草甘膦	杂草	每季 2~3 次	0.5~1kg 兑水 20~30kg	喷雾	4~6 叶植株时用药	农达
	百草枯	杂草	年均 5~7 次	每亩用 100~200ml 兑水 25kg	喷雾	杂草成株或者长齐	北极风
	草甘膦异丙胺盐	杂草	每季 2 次	每亩用 30~50ml 加水 50~100kg	喷雾	低龄幼虫始发期	上海炜恒化工有限公司
杀虫剂 41 种	阿维吡虫啉	虫害	年均 4~5 次	30ml 兑 40 斤水每亩	喷雾	2~3 龄幼虫发生期	佛山大兴生物化工有限公司
	阿维辛硫磷	虫害	每季 1~2 次	25~50g/亩		2~3 龄幼虫发生期	
	桉油精	虫害	每季 1~2 次	30ml 兑水 20kg	喷雾, 拌种	2~3 龄幼虫发生期	东莞市瑞德丰生物科技有限公司
	苯甲丙环唑	虫害	每季 1~2 次	20~40ml/亩	喷雾	低龄幼虫始发期	山东大成股份有限公司
	苯甲福美双	虫害	每季 2~3 次	100~150g/亩	喷雾	低龄幼虫始发期	广西安泰化工
	吡虫啉	虫害	每季 1~2 次	收获前一周禁止用药	喷雾	盛花期	河北新丰农药化工股份有限公司
	丙溴灭多威	虫害	每季 1~2 次	5% 乳剂 1200~2000 倍液	喷雾	开花期	北京威而廉生物科技有限公司
	丙溴辛硫磷	虫害	每季 1 次	100~165ml/亩	喷雾	开花盛期	山东东泰农化有限公司
	博持	虫害	每季 3~4 次	15~30g/亩	喷雾	开花期	广州市金农达化工有限公司
	大光明绿福	虫害	年均 5 次	15~40ml/亩	喷雾	虫卵孵化期	山东东泰农化有限公司
	敌百虫	虫害	不详	每亩 20~50ml	喷雾	虫害初期使用	山东京博农化股份有限公司
	敌敌畏	虫害	每年 4~5 次	30ml+15kg 水	喷雾	幼虫出现/卵孵化期	上海悦联化工有限公司
	地静	虫害	每季一次	25~45ml/亩	喷雾	卵孵盛期	山东大成农药股份有限公司
	毒死蜱	虫害	每季 2 次	1050~1350g/hm ² (70~90ml/亩)	喷雾	虫卵孵化期	浙江海正农化有限公司
	伐森辛	虫害	每季 1~2 次	48% 乳剂 1000 倍液	喷雾	卵孵盛期	江苏腾龙生物药业公司
	高金	虫害	每季 1~2 次	1 包	喷雾	卵孵盛期	上海威敌生化(南昌)有限公司
	高效氯氟菊酯	虫害	每季 2~3 次	2.5% 乳剂 15~25ml/亩	喷雾	卵孵盛期	湖北仙隆化工股份有限公司
	红药水	虫害	每季 2~3 次	2~4ml/亩	喷雾	卵孵盛期	上海杜邦农化有限公司
	花荚保	虫害	每季 2~3 次	50~100 克/亩	兑水喷雾	一个月喷一次	江门市光明农化有限公司

农药剂型	农药名称	病虫害名称	用药次数	用药剂量	用药方法	用药时期	农药厂家
杀虫剂 41种	氨基阿维菌素苯甲酸盐	虫害	年均4-5次	40ml兑20kg水	拌种或喷雾	虫害出现时	汤普森公司
	金福丁	虫害	不详	每亩30-50ml兑水喷雾	喷雾	卵孵盛期	上海悦联公司
	苦参碱	虫害	每季一次	0.3%苦参碱水剂	喷雾	卵孵盛期	江苏快达农化有限公司
	乐果	虫害	每季一次	50-60ml/亩	喷雾	收获前一周禁止用药	福建三农集团股份有限公司
	联苯菊酯	虫害	每季一次	5%乳剂1500-2000倍液	喷雾	安全期30-35天	山东大成农药股份有限公司
	氯虫苯甲酰胺	虫害	每季2-3次	1包200g/L(20%)	喷雾	安全间隔期为7-14天	江苏常隆化工有限公司
	氯氟氰菊酯	虫害	每季3-4次	2.5%乳剂15-25ml/亩	喷雾	花期夜晚或傍晚用	山东京博农化公司
	氯氟氰菊酯	虫害	每季3-4次	每亩35-50ml兑水喷雾	兑水喷雾	花前期,幼虫出现时	河北凯迪农药化工企业集团
	氯氰毒死蜱	虫害	每季3-4次	30ml5%乳剂兑水1500-2000倍	喷雾	虫卵孵化时	河北新丰农药化工股份有限公司
	马拉硫磷	虫害	每季3-4次	每亩30-45ml	喷雾	卵期3-10天	上海杜邦农化股份有限公司
	灭多威	虫害	年均4次	用20%乳剂50-60ml,兑水15kg	喷雾	卵孵盛期	山东侨昌化学有限公司
	农博乐	虫害	每季3-4次	兑水40-50kg/亩	喷雾	卵孵盛期	河北威远集团公司
	强力杀虫双	虫害	每季1次	540-675g/hm ²	喷雾	盛花期	瑞德
	氰戊菊酯	虫害	每季3-4次	每亩2%乳剂25-35ml	喷雾	盛花期	海南正业中农高科股份有限公司
	全南杀	虫害	每季1-2次	2000-300倍稀释	喷雾	收获前一周禁止用药	国光
	杀虫双	虫害	每季1-2次	500-800倍稀释	喷雾	低虫龄用药	江苏快达农化股份有限公司
	水胺硫磷	虫害	不详	1包+15kg水	喷雾	卵孵盛期	山东京博农化公司
	威而康	虫害	每季1次	30ml兑20kg水	喷雾	卵孵盛期	瑞德
	烯啶虫胺	虫害	每季3-4次	25-45ml/亩	喷雾	卵孵盛期	山东滨农科技有限公司
	辛硫磷	虫害	每季1次	40ml+15kg水	喷雾	低虫龄使用	喹呱
	氧乐果	虫害	每季1次	50-75g/亩	喷雾	卵孵盛期	江苏皇马农化有限公司
印楝素	虫害	每季1次	2000-3000倍稀释	喷雾	开花期,虫卵出现期	安徽合肥庆丰农药化工有限公司	
杀菌剂 19种	2%阿维菌素	病菌	每季1次	450-600ml/亩	喷雾	卵孵盛期	上海杜邦农化有限公司
	5%阿维菌素	病菌	每季1次	500ml/亩	喷雾	幼虫孵化期	诺普信
	Bt悬浮剂	病菌	每季1次	1200-2000倍液	喷雾	卵孵盛期	不详
	阿维高氧	病菌	每季1次	20-25ml/亩	喷雾	小菜蛾幼虫孵化期	镇江江南化工厂
	阿维菌素	病菌	每季1次	500ml/亩	喷雾	卵孵盛期	山东京博农化股份有限公司
	阿维氟氧	病菌	每季1-2次	5%乳剂1500-2000倍液	喷雾	幼虫生长旺期/化蛹期	吊蛾通
	氨基阿维菌素苯甲酸盐	病菌	每季1-2次	(0.084-2g/hm ²)	喷雾	卵孵盛期	江苏丰山集团有限公司
	波尔多液	病菌	每季3-4次	喷洒15-20kg/亩	喷雾	病害出现初期	美国仙农有限公司
	迨格	病菌	每季1-2次	1包混合使用15kg水	喷雾	盛花期	江苏常隆化工有限公司
	多菌灵	病菌	每季1-2次	50%可湿性粉剂700-800倍液	喷雾	发病初期开始用药	深圳诺普信公司
	高氯甲维盐	病菌	每季1-2次	40ml/亩	喷雾	1-2龄幼虫发生期/	山东京博
	甲维苏云菌	病菌	每季1次	1包兑一桶水	喷雾	盛花期	上海杜邦农化股份有限公司
	5%甲维盐	病菌	年均4-5次	15-17kg水/6盖(瓶盖)	兑水喷射	出现幼虫时喷洒	浙江海正化工股份有限公司
	井冈霉素	病菌		333-417g/亩	喷雾,泼浇		广东四会农药厂

农药剂型	农药名称	病虫害名称	用药次数	用药剂量	用药方法	用药时期	农药厂家
杀菌剂 19种	脉悬浮剂	病菌	每季1次	亩用制剂量为20-30g	喷雾	孵化盛期/低龄幼虫期	江苏克胜集团股份有限公司
	霜疫力克	病菌	年均4-5次	25%可湿性粉剂1500倍液	喷雾	虫害发生初期	山东京博
	苏云金杆菌	病菌	每季1-2次	每亩一包5%可湿性粉剂600倍	喷雾	病发初期使用,花期	全扫荡(牌子)
	戊唑多菌灵	病菌	每季1次	1000-1500倍	撒入播种沟覆土	蔬菜苗期	深圳诺普信
	辛菌三十烷醇	病菌	每季2次	65-75g/亩,兑水30kg	兑水喷雾	叶子出现病状时	福永康(牌子)
山东潍坊市某蔬菜基地蔬菜生产基地							
熏蒸剂	1,3-二氯丙烯	根结线虫	1次	15000-20000 ml/亩	盖膜闷棚		灰霜特 保定亚达
							灰霜特 保定亚达
杀螺剂 1种	四聚乙醛	茶翅蜡	1-2次	500g/亩	撒施		多个公司
	四聚乙醛	野蛴蛄	2-3次	500g/亩	撒施		多个公司
除草剂 2种	棉隆	根结线虫	1次	10000-20000 ml/亩	盖膜闷棚		菌思奇 沈阳化工院
	威百亩	根结线虫	1次	10000-20000 ml/亩	盖膜闷棚		多个公司
杀螨剂 5种	哒螨灵	螨虫	2-3次	500-1500倍	喷雾		凯泽 德国巴斯夫
	单甲咪	螨虫	2-3次	500-1500倍	喷雾		多个公司
	丁醚脲	螨虫	2-3次	500-1500倍	喷雾		多个公司
	啶虫脒	白粉虱	2-3次	500-1500倍	喷雾		多个公司
	啶虫脒	蓟马	2-3次	500-1500倍	喷雾		宝丽安 日本科研
	四螨嗪	螨虫	2-3次	500-1500倍	喷雾		艾绿士 美国陶氏
							奎歌 日本农药
杀虫剂 19种	吡虫啉	白粉虱	2-3次	500-1500倍	喷雾		杀毒矾 瑞士先正达
	吡虫啉	斑潜蝇	2-3次	500-1500倍	喷雾		福星 美国杜邦
	吡虫啉	蓟马	2-3次	500-1500倍	喷雾		福星 美国杜邦
	丙溴磷	螨虫	2-3次	500-1500倍	喷雾		福星 美国杜邦
	虫酰肼	小菜蛾	2-3次	500-1500倍	喷雾		福星 美国杜邦
	毒死蜱	蓟马	2-3次	500-1500倍	喷雾		乙啶酚 浙江禾宜
	氟虫双酰胺	棉铃虫	2-3次	500-1500倍	喷雾		
	氟虫双酰胺	斜纹夜蛾	2-3次	500-1500倍	喷雾		锐扑 沈阳化工院
	甲萘威	茶翅蜡	1-2次	500g/亩	撒施		
	甲萘威	野蛴蛄	1-2次	500g/亩	撒施		
	抗蚜威	斑潜蝇	2-3次	500-1000倍	喷雾		多个公司
	抗蚜威	蚜虫	2-3次	500-1000倍	喷雾		
	苦参碱	斑潜蝇	2-3次	500-1500倍	喷雾		多个公司
	苦参碱	蚜虫	2-3次	500-1000倍	喷雾		多个公司
	啶虫脒	番茄细菌性溃疡病	2-3次	500-1000倍	喷雾		多个公司
	藜芦碱	根结线虫	2-3次	1500-2000 ml/亩	随水冲施		
	氯虫苯甲酰胺	斜纹夜蛾	2-3次	500-1500倍	喷雾		
	氯氟氰菊酯	斑潜蝇	2-3次	2000-3000倍	喷雾		多个公司
	氯氟氰菊酯	蚜虫	2-3次	2000-3000倍	喷雾		多个公司
氰戊菊酯	斑潜蝇	2-3次	2000-3000倍	喷雾		翠贝 德国巴斯夫	
氰戊菊酯	蚜虫	2-3次	2000-3000倍	喷雾		普力克 德国拜耳	

农药剂型	农药名称	病虫害名称	用药次数	用药剂量	用药方法	用药时期	农药厂家
杀虫剂 19种	噻虫嗪	白粉虱	2-3次	500-1500倍	喷雾		多个公司
	噻菌铜	辣椒细菌性叶斑病	2-3次	500-1000倍	喷雾		菌毒宁 山西科星
	噻嗪酮	白粉虱	2-3次	500-1500倍	喷雾		福星 美国杜邦
	烯啶虫胺	白粉虱	2-3次	500-1500倍	喷雾		多个公司
							多个公司
杀菌剂 53种	阿维菌素	白粉虱	2-3次	500-1500倍	喷雾		
	阿维菌素	根结线虫	2-3次	500-2000 ml/亩	随水冲施		多个公司
	阿维菌素	蓟马	2-3次	500-1500倍	喷雾		锐扑 沈阳化工院
	阿维菌素	辣椒病毒病	2-3次	500-1500倍	喷雾		多个公司
	阿维菌素	蚜虫	2-3次	500-1500倍	喷雾		
	阿维菌素	蚜虫	2-3次	500-1000倍	喷雾		
	氨基寡糖素	丝瓜病毒病	2-3次	300-500倍	喷雾		多个公司
	百菌清	丝瓜灰霉病	3-4次	300-500g/亩	烟剂熏棚		
	苯醚甲环唑	番茄叶霉病	2-3次	800-1000倍	喷雾		多个公司
	苯醚甲环唑	瓜绢螟	2-3次	800-1000倍	喷雾		多个公司
	苯醚甲环唑	黄瓜白粉病	2-3次	800-1000倍	喷雾		抑病灵 南通飞天
	丙溴磷	辣椒病毒病	2-3次	500-1500倍	喷雾		多个公司
	代森锰锌	茄子细菌性褐斑病	3-5次	800-1000倍	喷雾		多个公司
	丁醚脲	蚜虫	2-3次	500-1500倍	喷雾		多个公司
	丁子香酚	番茄晚疫病	1-3次	400-600倍	喷雾		多个公司
	丁子香酚	黄瓜霜霉病	1-3次	400-600倍	喷雾		美派安以色列马克西姆
	丁子香酚	茄子白粉病	1-2次	600-800倍	喷雾		
	啶菌噁唑	菜豆锈病	2-3次	1000倍	喷雾		
	啶菌噁唑	番茄灰霉病	2-3次	1000倍	喷雾		必绿 浙江海正
	啶菌噁唑	黄瓜灰霉病	2-3次	1000倍	喷雾		锐扑 沈阳化工院
	啶菌噁唑	丝瓜灰霉病	2-3次	1000倍	喷雾		多个公司
	啶酰菌胺	黄瓜灰霉病	1-2次	1000倍	喷雾		多个公司
	啶酰菌胺	丝瓜灰霉病	1-2次	1000倍	喷雾		多个公司
	多菌灵	菜豆锈病	2-3次	600-800倍	喷雾		科佳 日本石原
多菌灵	辣椒灰霉病	2-3次	600-800倍	喷雾		双福 深圳瑞德丰	
多菌灵	丝瓜灰霉病	2-3次	600-800倍	喷雾	苗期使用较多	翠贝 德国巴斯夫	
多抗霉素	番茄叶霉病	2-3次	600-800倍	喷雾		多个公司	
多杀霉素	蓟马	2-3次	1000-3000倍	喷雾			

农药剂型	农药名称	病虫害名称	用药次数	用药剂量	用药方法	用药时期	农药厂家
杀菌剂 53种	噁霜·锰锌	番茄晚疫病	2-3次	400-600倍	喷雾		翠贝 德国巴斯夫
	噁霜·锰锌	黄瓜霜霉病	2-3次	400-600倍	喷雾		施佳乐 德国拜耳
	氟硅唑	番茄叶霉病	1-2次	3000-4000倍	喷雾		多个公司
	氟硅唑	瓜绢螟	1-2次	3000-4000倍	喷雾		必绿 浙江海正
	氟硅唑	黄瓜白粉病	1-2次	3000-4000倍	喷雾		多个公司
	氟硅唑	黄瓜炭疽病	1-2次	3000-4000倍	喷雾		多个公司
	氟硅唑	丝瓜蔓枯病	1-2次	3000-4000倍	喷雾		多个公司
	氟吗·乙铝	番茄晚疫病	2-3次	400-600倍	喷雾		多个公司
	氟吗·乙铝	黄瓜霜霉病	2-3次	400-600倍	喷雾		
	氟吗·乙铝	辣椒疫病	2-3次	400-600倍	喷雾		多个公司
	福美双	菜豆炭疽病	2-3次	600-800倍	喷雾		可杀得 美国杜邦
	福美双	黄瓜炭疽病	2-3次	600-800倍	喷雾		可杀得 美国杜邦
	福美双	茄子细菌性褐斑病	2-3次	600-800倍	喷雾		德国拜耳
	腐霉利	菜豆锈病	2-3次	600-800倍	喷雾		科佳 日本石原
	腐霉利	番茄灰霉病	2-3次	600-800倍	喷雾		
	腐霉利	黄瓜灰霉病	2-3次	600-800倍	喷雾		多个公司
	腐霉利	茄子褐色圆星病	2-3次	600-800倍	喷雾		多个公司
	腐霉利·百菌清	菜豆锈病	3-4次	300-500 g/亩	烟剂熏棚		多个公司
	腐霉利·百菌清	番茄晚疫病	3-4次	300-500g/亩	烟剂熏棚		普利克 德国拜耳
	腐霉利·百菌清	黄瓜霜霉病	3-4次	300-500 g/亩	烟剂熏棚		多个公司
	腐霉利·百菌清	辣椒灰霉病	3-4次	300-500 g/亩	烟剂熏棚		
	腐霉利·百菌清	茄子白粉病	3-4次	300-500 g/亩	烟剂熏棚	苗期使用较多	多个公司
	菇类蛋白多糖	番茄病毒病	2-3次	300-500倍	喷雾		多个公司
	菇类蛋白多糖	黄瓜病毒病	2-3次	300-500倍	喷雾		垄歌 日本农药
菇类蛋白多糖	丝瓜病毒病	2-3次	300-500倍	喷雾		多个公司	
琥胶肥酸铜	菜豆细菌性疫病	2-3次	300-500倍	喷雾		好立克 德国拜耳	
几丁聚糖	菜豆病毒病	2-3次	300-500倍	喷雾		好立克 德国拜耳	
几丁聚糖	根结线虫	2-3次	300-500倍	喷雾		多个公司	
甲基硫菌灵	菜豆炭疽病	2-3次	600-800倍	喷雾		深圳诺普信	

农药剂型	农药名称	病虫害名称	用药次数	用药剂量	用药方法	用药时期	农药厂家
蔬菜 杀菌剂 53种	甲基硫菌灵	番茄叶霉病	2-3次	600-800倍	喷雾		多个公司
	甲基硫菌灵	黄瓜白粉病	2-3次	600-800倍	喷雾		多个公司
	甲基硫菌灵	辣椒白粉病	2-3次	600-800倍	喷雾		多个公司
	甲霜·锰锌	番茄晚疫病	1-2次	400-600倍	喷雾		多个公司
	甲维盐	蓟马	2-3次	500-1500倍	喷雾		多个公司
	甲维盐	丝瓜病毒病	2-3次	500-1500倍	喷雾		多个公司
	甲维盐	小菜蛾	2-3次	500-1500倍	喷雾		
	甲维盐	斜纹夜蛾	2-3次	500-1500倍	喷雾		多个公司
	菌毒·吗啉胍	黄瓜病毒病	2-3次	300-500倍	喷雾		龙克菌 浙江龙湾
	菌毒·吗啉胍	辣椒病毒病	2-3次	300-500倍	喷雾		
	菌毒清	番茄病毒病	2-3次	300-500倍	喷雾		多个公司
	菌毒清	根结线虫	2-3次	300-500倍	喷雾		多个公司
	菌毒清	黄瓜病毒病	2-3次	300-500倍	喷雾		多个公司
	克菌丹	黄瓜炭疽病	2-3次	600-800倍	喷雾		
	克菌丹	辣椒炭疽病	2-3次	600-800倍	喷雾		
	克菌丹	茄子细菌性褐斑病	2-3次	600-800倍	喷雾		克得灵 日本住友
	啶啉铜	黄瓜细菌性角斑病	2-3次	500-1000倍	喷雾		克得灵 日本住友
	硫磺	辣椒白粉病	2-3次	600-800倍	喷雾		乙噻酚 浙江禾宜
	络氨铜	丝瓜细菌性角斑病	1-2次	300-500倍	喷雾		多个公司
	咪鲜胺	黄瓜炭疽病	2-3次	600-800倍	喷雾		多个公司
	咪鲜胺	辣椒炭疽病	2-3次	600-800倍	喷雾		多个公司
	咪鲜胺	丝瓜蔓枯病	2-3次	600-800倍	喷雾		多个公司
	醚菌酯	番茄叶霉病	2-3次	600-1000倍	喷雾		农利灵 德国巴斯夫
	醚菌酯	黄瓜白粉病	2-3次	600-1000倍	喷雾		
	醚菌酯	辣椒白粉病	2-3次	600-1000倍	喷雾		扑海因 德国拜耳
	啉菌酯	丝瓜蔓枯病	2-3次	600-1000倍	喷雾		
	啉霉胺	番茄灰霉病	2-3次	600-800倍	喷雾		多个公司
	啉霉胺	黄瓜灰霉病	2-3次	600-800倍	喷雾		多个公司
宁南霉素	菜豆病毒病	2-3次	300-500倍	喷雾		好立克	
宁南霉素	番茄病毒病	2-3次	300-500倍	喷雾		菌思奇 沈阳化工院	

农药剂型	农药名称	病虫害名称	用药次数	用药剂量	用药方法	用药时期	农药厂家
蔬菜 杀菌剂 53种	宁南霉素	根结线虫	2-3次	300-500倍	喷雾		
	宁南霉素	黄瓜病毒病	2-3次	300-500倍	喷雾		金爱维丁 深圳诺普信
	农用链霉素	菜豆细菌性疫病	2-3次	300-500倍	喷雾		
	农用链霉素	黄瓜细菌性角斑病	2-3次	300-500倍	喷雾		
	农用链霉素	辣椒细菌性叶斑病	2-3次	300-500倍	喷雾		
	农用链霉素	丝瓜细菌性角斑病	1-2次	300-500倍	喷雾		
	氢氧化铜	番茄细菌性溃疡病	2-3次	500-1000倍	喷雾		
	氢氧化铜	黄瓜细菌性角斑病	2-3次	500-1000倍	喷雾		多个公司
	氢氧化铜	茄子病毒病	2-3次	500-1000倍	喷雾		
	氰霜唑	黄瓜霜霉病	2-3次	600-800倍	喷雾		乙噻酚 浙江禾宜
	氰霜唑	丝瓜霜霉病	1-2次	400-600倍	喷雾		
	三唑酮	瓜绢螟	2-3次	800-1000倍	喷雾		多个公司
	三唑锡	辣椒病毒病	2-3次	500-1500倍	喷雾		多个公司
	三唑锡	蚜虫	2-3次	500-1500倍	喷雾		多个公司
	霜霉威盐酸盐	黄瓜霜霉病	2-3次	600倍	喷雾	苗期使用较多	多个公司
	霜霉威盐酸盐	茄子绵疫病	2-3次	600倍	喷雾		
	霜霉威盐酸盐	丝瓜霜霉病	2-3次	600倍	喷雾		
	霜脲·锰锌	黄瓜霜霉病	2-3次	400-600倍	喷雾		多个公司
	霜脲·锰锌	辣椒疫病	2-3次	400-600倍	喷雾		
	霜脲·锰锌	茄子绵疫病	1-3次	400-600倍	喷雾		多个公司
	霜脲·锰锌	丝瓜霜霉病	2-3次	400-600倍	喷雾		可杀得 美国杜邦
	戊唑醇	番茄叶霉病	1-2次	1000倍	喷雾		多个公司
	戊唑醇	黄瓜白粉病	1-2次	1000倍	喷雾		
	戊唑醇	茄子菌核病	2-3次	800-1000倍	喷雾		多个公司
	烯酰吗啉	番茄晚疫病	2-3次	600-800倍	喷雾		多个公司
	烯酰吗啉	丝瓜霜霉病	2-3次	400-1000倍	喷雾		多个公司
	小檗碱	黄瓜白粉病	2-3次	600-800倍	喷雾		菌毒宁 山西科星
	小檗碱	丝瓜白粉病	2-3次	600-800倍	喷雾		深圳诺普信
溴菌清	菜豆炭疽病	2-3次	600-800倍	喷雾		凯泽 德国巴斯夫	

农药剂型	农药名称	病虫害名称	用药次数	用药剂量	用药方法	用药时期	农药厂家
蔬菜 杀菌剂 53种	溴菌清	黄瓜炭疽病	2-3次	600-800倍	喷雾		多个公司
	溴菌清	辣椒炭疽病	2-3次	600-800倍	喷雾		多个公司
	盐酸吗啉胍	菜豆病毒病	2-3次	300-500倍	喷雾		多个公司
	盐酸吗啉胍	黄瓜病毒病	2-3次	300-500倍	喷雾		多个公司
	盐酸吗啉胍	辣椒病毒病	2-3次	300-500倍	喷雾		多个公司
	盐酸吗啉胍	丝瓜病毒病	2-3次	300-500倍	喷雾		
	叶枯唑	菜豆细菌性疫病	2-3次	500-1000倍	喷雾		多个公司
	叶枯唑	黄瓜细菌性角斑病	2-3次	500-1000倍	喷雾		菌思奇 沈阳化工院
	叶枯唑	辣椒细菌性叶斑病	2-3次	500-1000倍	喷雾		多个公司
	叶枯唑	茄子病毒病	2-3次	500-1000倍	喷雾		多个公司
	叶枯唑	丝瓜细菌性角斑病	2-3次	500-1000倍	喷雾		多个公司
	乙霉威	番茄灰霉病	2-3次	600-800倍	喷雾		多个公司
	乙霉威	黄瓜灰霉病	2-3次	600-800倍	喷雾		多个公司
	乙嘧酚	黄瓜白粉病	2-3次	1000倍	喷雾		多个公司
	乙嘧酚	辣椒白粉病	2-3次	1000倍	喷雾		多个公司
	乙嘧酚	丝瓜白粉病	2-3次	1000倍	喷雾		多个公司
	乙蒜素	菜豆细菌性疫病	2-3次	500-1000倍	喷雾		多个公司
	乙蒜素	番茄细菌性溃疡病	2-3次	500-1000倍	喷雾		
	乙炔菌核利	黄瓜灰霉病	1-2次	600-800倍	喷雾		多个公司
	异菌脲	菜豆锈病	2-3次	600-800倍	喷雾		多个公司
	异菌脲	黄瓜灰霉病	2-3次	600-800倍	喷雾		
	异菌脲	茄子褐色圆星病	2-3次	600-800倍	喷雾		多个公司
	中生菌素	番茄细菌性溃疡病	2-3次	500-1000倍	喷雾		多个公司
中生菌素	黄瓜细菌性角斑病	2-3次	500-1000倍	喷雾		多个公司	
中生菌素	茄子病毒病	2-3次	500-1000倍	喷雾		多个公司	
中生菌素	丝瓜细菌性角斑病	2-3次	500-1000倍	喷雾			

主要参考文献:

1. Agrochemical Service, 2000. Wood Mackenzie Consultants Limited. Edinburgh, UK.
2. Alavanja M.C., Hoppin J.A., Kamel F. 2004. Health effects of chronic pesticide exposure: Cancer and neurotoxicity. Annu. Rev. Public Health, 25:155-197.
3. Bromilow R. H., Evans A.A., Nicholls P. H., Todd A.D. & Briggs G. G. 1996. The Effect on Soil Fertility of Repeated Applications of Pesticides over 20 Years. Pestic. Sci., 48, 63-72.
4. Chen S., Luo X., Mai B., Sheng G., Fu J., Zeng E.Y., 2006. Distribution and Mass Inventories of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Organochlorine Pesticides in Sediments of the Pearl River Estuary and the Northern South China Sea. Environ. Sci. Technol., 40 (3):709-714.
5. Daly G.L., Lei Y.D., Teixeira C., Muir D.C.G., Wania F., 2007. Pesticides in Western Canadian Mountain Air and Soil. Environ. Sci. Technol., 41: 6020-6025.
6. Fox J. E., Gullledge J., Engelhaupt E., Burow M. E., McLachlan J. A., 2007. Pesticides reduce symbiotic efficiency of nitrogen-fixing rhizobia and host plants. Proceedings National Academy of Sciences USA, 104: 10282-10287.
7. Gao J.J., Liu L.H., Liu X.R., Zhou H.D., Lu J., Huang Sh. B., Wang Z.J. 2009. The Occurrence and Spatial Distribution of Organophosphorous Pesticides in Chinese Surface Water. Bull Environ Contam Toxicol., 82:223-229.
8. Gotz R., Bauer O.H., Friesel P., Roch K. 1998. Organic trace compounds in the water of the river Elbe near Hamburg. Part II. Chemosphere, 36: 2103-2118. doi: 10. 1016 / S0045 - 6535 (98) 00009-5.
9. Geva B., Semple K.T., Jones K.C. 2000. Bound pesticide residues in soils: a review. Environ Pollut., 108:3-14.
10. Goncalves C., Alpendurada M. F. 2005. Assessment of pesticide contamination in soil sample from an intensive horticulture area using ultrasonic extraction and gas chromatography-mass spectrometry. Talanta, 65 (5): 1179-1189.
11. Goran A. J., Stig H., Peter O.O., 2002. Low level exposures to organophosphorus esters may cause. neurotoxicity Toxicology, 181-182: 23-33.
12. Guan Y.F., Wang J.Zh., Ni H.G., Zeng E.Y. 2009. Organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in riverine runoff of the Pearl River Delta, China: Assessment of mass loading, input source and environmental fate. Environmental Pollution, 157: 618-624.
13. Handal AJ, Lozoff B, Breilh J, Harlow SD. 2007. Neurobehavioral development in children with potential exposure to pesticides. Epidemiology. 18:312-320
14. Johnsen K., Jacobsen C.S., Torsvik C. 2001. Jan Sorensen. Pesticide effects on bacterial diversity in agricultural soils - a review. Biol Fertil Soils, 33:443-453.
15. Li C.Y., Wang, C.F., Wang C.H., Hu S.H., 2005, Anal. Chim. Acta, 545, 122.
16. Li H., Sheng G., Teppen B. J., Johnston C.T., and Boyd A.S., 2003, Sorption and Desorption of Pesticides in Clay Minerals and Humic Acid-Clay Complexes, Soil Science Society of America Journal, 67:122-131.
17. Li J., Zhang, G., Guo, L.L., Xu, W.H., Li, X.D., Lee, C.S.L., Ding, A.J., Wang, T., 2007. Organochlorine pesticides in the atmosphere of Guangzhou and Hong Kong: regional sources and long-range atmospheric transport. Atmospheric Environment, 41, 3889-3903.
18. Li X.M., Zhang Q.H., Dai J.Y., Gan Y.P., Zhou J., Yang X.P., Cao H., Jiang J.B., Xu M.Q. 2008. Pesticide contamination profiles of water, sediment and aquatic organisms in the effluent of Gaobeidian wastewater treatment plant. Chemosphere, 72: 1145-1151.
19. Lola Roldán-Tapia, Tesifón Parrón, Fernando Sánchez-Santed, 2005, Neuropsychological effects of long-term exposure to organophosphate pesticides. Neurotoxicology and Teratology, 27 (2): 259-266.

20.Luo, X.J., Mai, B.X., Yang, Q.S., Fu, J.M., Sheng, G.Y., Wang, Z.S., 2004. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and organochlorine pesticides in water columns from the Pearl River and the Macao harbor in the Pearl River Delta in South China. *Marine Pollution Bulletin*, 48, 1102-1115.

21.Manirakiza, P., Covaci, A., Nizigiymana, L., Ntakimazi, G., Schepens, P., 2002. Persistent chlorinated pesticides and polychlorinated biphenyls in selected fish species from Lake Tanganyika, Burundi, Africa. *Environ. Pollut.* 117, 447-455.

22.Movalli, P., Lo Valvo, M., Gloria Pereira M. & Osborn, D., 2008. Organochlorine pesticides and polychrominated biphenyl congeners in lanner Falco biarmicus feldeggi Schlegel chicks and lanner prey in Sicily, Italy. In: Movalli, P. & Duke, G. (eds). *Monitoring for and with raptors in Europe*. *Ambio* 37(6), 445-451.

23.Nakataa H., Hirakawaa Y., Kawazoea M., Nakabob T., Arizonoc K., Abea S., Kitanoa T., Shimadad H., Watanabee I., Li W., Ding X., 2005. Concentrations and compositions of organochlorine contaminants in sediments, soils, crustaceans, fishes and birds collected from Lake Tai, Hangzhou Bay and Shanghai city region, China. *Environmental Pollution*, 133(3): 415-429.

24.Nagatani N., Takeuchi A., Hossain M A., et al. Rapid and sensitive visual detection of residual pesticides in food using acetylcholinesterase-based disposable membrane chips[J]. *Food Control*, 2007, 18: 914-920.

25.Perry M.J. 2008. *Agricultural Health and Safety*, International Encyclopedia of Public Health, 69-76.

26.Poletta G. L., Larriera A., Kleinsorge E., Mudry M. D., 2009. Genotoxicity of the herbicide formulation roundup (glyphosate) in broad-snouted caiman (*Caiman latirostris*) evidenced by the Comet assay and Micronucleus Test. *Mutation Research*, 672, 95-102.

27.Qiu, X., Zhu, T., Yao, B., Hu, J., Hu, S., 2005. Contribution of dicofol to the current DDT pollution in China. *Environmental Science and Technology*, 39, 4385-4390.

28.Rajendran, R.B., Imagawa, T., Tao, H., Ramesh, R., 2005. Distribution of PCBs, HCHs and DDTs, and their ecotoxicological implications in Bay of Bengal, India. *Environ. Int.* 31, 503-512.

29.Relyea R.A., 2005a. The impact of insecticides and herbicides on the biodiversity and productivity of aquatic communities. *Ecological Applications*, 15(2), 618-627.

30.Relyea R. A., 2005b. Constraints on inducible defenses: Phylogeny, ontogeny, and phenotypic trade-offs. P189-207 in P. Barbosa and I. Castellanos, eds. *Ecology of Predator-Prey Interactions*. Oxford Univ. Press, Oxford.

31.Relyea R.A., Diecks N., 2008. An unforeseen chain of events: lethal effects of pesticides on frogs at sublethal concentrations. *Ecological Applications*, 18(7), 1728-1742.

32.Relyea R. A., 2009. A cocktail of contaminants: How pesticide mixtures at low concentrations affect aquatic communities. *Oecologia* 159:363-376.

33.Rocha C., Pappas E.A., Huang C.H. 2008. Determination of trace triazine and ehloioaetamide herbicides in tile-fed drainage ditch water using solid-phase microextraction coupled with GC-MS. *Endmn Pollut*, 152: 239-244.

34.Rohr J.R., Schotthoefer A.M., Raffel T.R., Carrick H.J., Halstead N., Hoverman J.T., Johnson C.M., Johnson L.B., Lieske C., Piwoni M.D., Schoff P.K., Beasley V.R. 2008. Agrochemicals increase trematode infections in a declining amphibian species. *Nature*, 455 (30): doi:10.1038/nature07281.

35.Rothlein J., Rohlman D., Lasarev M., Phillips J., Muniz J., McCauley L. 2006. Organophosphate Pesticide Exposure and Neurobehavioral Performance in Agricultural and Nonagricultural Hispanic Workers. *Environ Health Perspect.* 114 (5): 691-696.

36.Sánchez-Peña L.C, Reyes B.E, López-Carrillo L, Recio R, Morán-Martínez J, Cebrián M.E, Quintanilla-Vega B., 2004. Organophosphorous pesticide exposure alters sperm chromatin structure in Mexican agricultural workers. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 196, 108-113.

37.Shi M, Xu J., Zhang S., Liu B., Kong J. 2006. A mediator-free screen-printed amperometric biosensor for screening of organophosphorus pesticides with flow-injection analysis (FIA) system. *Talanta*. 68(4): 1089-1095.

38.Stephens, R., Spurgeon, A., Calvert, I.A., Beach, J.R., Levy, L.S., Berry, H., Harrington, M., 1995. Neuropsychological

effects of long-term exposure to organophosphates in sheep dip. *Lancet*, 345, 1135-1139.

39.UNEP, FAO, WHO. 2004, Children pesticide poisoning.

40.Willett, K.L., Ulrich, E.M., Hites, R.A., 1998. Differential toxicity and environmental fates of hexachlorocyclohexane isomers. *Environ. Sci. Technol.* 32, 2197-2207.

41.Yang, R.Q., Yao, T.D., Xu, B.Q., Jiang, G.B., Xin, X.D., 2006. Accumulation features of organochlorine pesticides and heavy metals in fish from high mountain lakes and Lhasa River in the Tibetan Plateau. *Environ. Int.* 33, 151-156.

42.Yu, M., Luo, X.J., Chen, S.J., Mai, B.X., Zeng, E.Y., 2008. Organochlorine pesticides in surface water and sediments of the Pearl River Estuary, South China. *Environmental Toxicology and Chemistry* 27, 10-17.

43.Zhang, G., Parker, A., House, A., Mai, B., Li, X., Kang, Y., Wang, Z., 2002. Sedimentary records of DDT and HCH in the Pearl River Delta, South China. *Environ. Sci. Technol.* 36, 3671-3677.

44. 安晶晶, 刘新刚, 董丰收, 王旭, 郑永权. 苯醚甲环唑在番茄和土壤中的残留动态研究. *环境科学研究*, 2009, 27 (7): 868-872.

45. 安琼, 董元华, 王辉, 王霞, 王梅农, 郭宗祥. 苏南农田土壤有机氯农药残留规律. *土壤学报*, 2004, 41 (3): 414-419.

46. 曹喆. 美国 FDA 和欧盟农残检测技术及最新进展. *现代科学仪器*, 2005, 1: 5.

47. 程燕, 周军英, 单正军, 孔德洋. 运用 SCI-GROW 模型预测农药对地下水的污染风险. *生态与农村环境学报*, 2007, 23 (4): 78-82.

48. 代杰瑞, 张杰, 喻超, 董志成, 庞绪贵. 山东烟台市土壤中有机氯农药的残留及来源研究. *地球与环境*, 2012, 40 (1): 50-56.

49. 傅彦斌. 环境有机污染物分析中常用的前处理技术. *福建环境*, 2002, 19 (1): 40-41.

50. 付卫东, 王岩, 刘衍君, 张保华. 山东聊城市表层土壤有机氯农药残留研究. *中国环境管理干部学院学报*, 2009, 19 (2): 78-81, 88.

51. 郝红涛, 孙波, 周生路, 赵振华, 赵其国, 黄洪光. 太湖地区蔬菜地土壤中有机氯农药残留的变化. *农业环境科学学报*, 2008, 27(3):862- 866.

52. 李淑珍. 北京市石景山区大气中有机卤素污染物的研究 [D], 淮南: 安徽理工大学, 2009.

53. 李顺鹏, 蒋建东. 农药污染土壤的微生物修复研究进展. *土壤*, 2004, 36 (6): 577-583.

54. 李志刚. 深圳市冬、夏两季大气中有机氯农药的研究. *中国环境科学*, 2011, 31 (5): 724-728.

55. 凌岗, 刘晓智. 环酰菌胺的合成. *农药*, 2009, 48(5): 333-334.

56. 绿色和平 (Greenpeace China): 《2009 年绿色和平农药残留检测报告》, 2009. <http://www.greenpeace.org/china/zh/publications/reports/food-agriculture/2009/pesticide-report2009/>

57. 刘玲, 奉夏平, 梁劲, 张坚, 钟平生. PTV-GC-MSD 法同时测定环境水中 57 种农药残留. *中国卫生检验杂志*, 2005, 15(9): 1030-1032.

58. 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 2000. 中国农业科技出版社.

59. 楼迎华, 青岛地区大气气溶胶中有机氯农药的研究 [D], 青岛大学, 2005.

60. 马国兰, 柏连阳, 刘都才, 刘雪源, 陆永良, 余柳青. 不同除草剂配方组合对直播稻田抗性杂草控制作用评价. *中国农学通报*, 2012, 28 (9): 195-199.

61. 农产品农药多残留速测技术 (MRSM) 培训教材, 农业部环境监测总站, 农业部环境质量监督检验测试中心 (天津), 2001.4

62. 隋标峰, 张朝贤, 崔海兰等. 杂草对 AHAS 抑制剂的抗性分子机理研究进展. *农药学报*, 2009, 11 (4): 399-406.

63. 屠豫钦, 袁会珠, 齐淑华, 杨代斌, 黄启良. 中国农药的有效利用率与农药的负面影响问题. *世界农药*, 2003, 25(6):1-5.

64. 王大宁, 董益阳, 邹明强. 农药残留检测与监控技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.

65. 王军. 苯醚甲环唑土壤环境行为及其在柑橘中残留动态研究与安全性评价. 安徽农业大学, 硕士论文, 2008.

66. 吴晓晨, 安琼, 董元华, 陈芳, 张劲强, 王辉. 苏南某市春季蔬菜中农药残留调查. *农村生态环境*, 2004, 20 (3): 49-52.

67. 谢显传, 王冬生. 结合态农药残留及其环境毒理研究进展 (综述). *上海农业学报*, 2005, 21 (1): 74-77.

68. 杨国义, 万开, 张天彬, 郭治兴, 万洪富, 罗薇, 高原雪. 广州市典型地区农业土壤中有机氯农药含量及其分布特征. *农业环境*

科学学报, 2007, 26 (5): 1619-1623. 虞云龙, 陈鹤鑫, 樊德方. 农药微生物降解性与农药疏水性参数间的相关性. 环境科学学报, 1998, 2: 208-211.

69. 章海波, 骆永明, 滕应, 赵其国, 万洪富. 珠江三角洲地区典型类型土壤中 DDT 残留及其潜在风险. 土壤, 2006, 38 (5): 547-551.

70. 张红艳, 高如泰, 江树人, 黄元仿. 北京市农田土壤中有机氯农药残留的空间分析. 中国农业科学, 2006, 39 (7): 1403-1410.

71. 张慧, 刘红玉, 张利, 曾光明, 张林达, 刘婕丝, 史彦伟. 湖南省东北部蔬菜土壤中有机氯农药残留及其组成特征. 农业环境科学学报, 2008, 27 (2): 555-559.

72. 张劲强, 董元华, 安琼, 刘新程. 不同种植方式下土壤和蔬菜中氨基甲酸酯类农药残留状况研究. 土壤学报, 2006, 43 (5): 772-779.

73. 朱忠林, 单正军, 华晓梅, 蔡道基. 涕灭威农药污染地下水的的影响因子分析. 农村生态环境. 1994, 10: 25-28.



GREENPEACE 绿色和平

地址：北京市东城区新中街 68 号聚龙花园 7 号楼聚龙商务楼 3 层

邮编：100027

电话：+86 10 6554 6931

传真：+86 10 6554 6932

www.greenpeace.cn