

巴基斯坦棉花主要害虫及其综合治理

阿比德·阿里^{1,2*}, 王巧³, 杨龙³, 臧红岩⁴, 吕昭智⁵

(1. 费萨拉巴德农业大学昆虫学系, 巴基斯坦旁遮普省费萨拉巴德 38040; 2. 沈阳师范大学生命科学学院, 沈阳 110000; 3. 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193; 4. 兰州大学政治与国际关系学院, 兰州 730000; 5. 青岛农业大学植物医学学院, 青岛 266109)

摘要 棉花是巴基斯坦重要的经济作物, 棉花产品出口是该国外汇收入的主要来源。在过去 10 年中巴基斯坦棉花种植面积大幅减少, 棉花产量也从 2011 年的 261 万 t 下降至 2021 年的 154 万 t。烟粉虱 *Bemisia tabaci* 及其传播的棉花曲叶病和棉红铃虫 *Pectinophora gossypiella* 等有害生物危害是棉花产量下降的主要原因之一。目前, 棉花害虫的防治主要依靠背负式喷雾器或机车式喷雾器喷施杀虫剂, 无人机施药的政策及大规模推广应用尚处于起始阶段。害虫对杀虫剂抗性上升是目前害虫治理的主要问题。由于信德省和旁遮普省等传统植棉区棉花害虫发生比较严重, 巴基斯坦政府计划在俾路支省和开伯尔-普赫图赫瓦省扩大棉花种植面积。为了恢复棉花的生产, 政府制定了一系列计划来提高害虫综合治理水平, 如研发生物杀虫剂、转基因品种等。针对当前棉花生产过程中所面临的虫害问题, 未来应更新害虫治理策略, 加强对农业部门技术人员的培训, 为巴基斯坦棉花的可持续生产提供技术支持。

关键词 Bt 棉花; 棉红铃虫; 杀虫剂; 害虫综合治理

中图分类号: S 435.62 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2022733

Key cotton pests and their integrated management in Pakistan

ABID · ALI^{1,2*}, WANG Qiao³, YANG Long³, ZANG Hongyan⁴, LÜ Zhaozhi⁵

(1. Department of Entomology, University of Agriculture, Faisalabad, Faisalabad 38040, Pakistan; 2. College of Life Science, Shenyang Normal University, Shenyang 110000, China; 3. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 4. School of Politics and International Relations, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 5. College of Plant Health and Medicine, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

Abstract Cotton is an important cash crop in Pakistan and act as the major foreign exchange contributor. Cotton area and yield has faced a significant decline in the past ten years from 2.61 million tons (2011) to 1.54 million tons (2021). *Bemisia tabaci* and its transmitted cotton leaf curl virus disease couple with pink bollworm (*Pectinophora gossypiella*) are major concerns for the yield decline of cotton in Pakistan. Farmers have relied on applying insecticides using knapsack or tractor mounted boom sprayers to control pests, application of unmanned aerial vehicle is at initial stages in terms of policy and wide scale usage, pests' increasing resistance to pesticides becoming a major issue in pest management in Pakistan. Due to higher insect pressure in traditional major cotton growing areas (Sindh and Punjab provinces), government focused on cultivating a larger area of cotton in Balochistan and Khyber Pakhtunkhwa provinces of Pakistan. In order to revive cotton production, a plan has been raised by the government to improve integrated pest management (IPM), and to develop new biopesticides and genetically modified (GM) varieties. Updating pest control strategy in connection with current agricultural issues faced by farming community may benefit sustainable cotton production in Pakistan.

Key words Bt cotton; *Pectinophora gossypiella*; insecticide; integrated pest management

收稿日期: 2022-11-21

修订日期: 2022-12-20

基金项目: 丝绸之路沿线重大入侵生物监测预警与生物防治(DL2021025001L)

致谢: 感谢中国农业科学院植物保护研究所陆宴辉研究员对本文提出的宝贵意见。

* 通信作者 E-mail: abid.ali@uaf.edu.pk

棉花是巴基斯坦主要的经济作物,也是出口纺织品中的重要组成部分,是巴基斯坦农业 GDP 的支柱。在巴基斯坦国徽图案中棉花是主要作物代表之一,显示了棉花产业对巴基斯坦国民经济的重要性。巴基斯坦国土面积 7 960 万 hm^2 ,有效耕地面积占 30%(2 380 万 hm^2)^[1],2022 年全国棉花种植面积已达到 220 万 hm^2 。棉花生产主要集中在旁遮普省和信德省,这两个省的棉花产量分别占全国棉花总产量的 80%和 19%,而开伯尔-普赫图赫瓦省和俾路支省的棉花产量仅占总产量的 1%。巴基斯坦植棉历史悠久,起初在印度河流域上种植野生亚洲棉 *Gossypium arboreum* 并发展了纺织业^[2];19 世纪初,英国东印度公司将陆地棉 *G. hirsutum* 种子引入巴基斯坦,自此开始种植陆地棉;自 2010 年以来,转 Bt 基因抗虫棉(简称 Bt 棉)开始在巴基斯坦商业化种植。在常规棉生态系统转变为 Bt 棉生态系统的过程中,棉田主要害虫种群演替发生了明显变化,棉花害虫综合防治措施也随之发生了变化。本文对其进行总结与分析,旨在为今后巴基斯坦棉花害虫的防控提供指导。

1 常规棉花生态系统

因种植区域和种植模式的不同,巴基斯坦棉花一般在每年的 4 月至 6 月期间播种,9 月中旬至翌年 1 月中旬采收^[3]。棉花在整个生长过程中会受到多种害虫的为害,主要有棉红铃虫 *Pectinophora gossypiella*、棉铃虫 *Helicoverpa armigera*、埃及金刚钻 *Earias insulana*、翠纹金刚钻 *E. fabia*、*Amrasca devastans*、烟粉虱 *Bemisia tabaci*、棉蚜 *Aphis gossypii*、柯宁棉红蝽 *Dysdercus koenigii*、叶螨等^[4-5]。相较于陆地棉,亚洲棉受到害虫(如金刚钻、棉红铃虫、烟粉虱等)的为害更严重^[6]。由于亚洲棉上害虫防治难度大、产量低和其他相关因素的影响,在巴基斯坦亚洲棉逐步被陆地棉系列品种取代。

1.1 害虫综合治理

早期主要是通过筛选一些抗虫品种来防治棉花害虫,比如培育一种多毛的品种来减轻棉叶蝉的为害^[7]。为了提高棉花产量,促进棉花产业的发展,巴基斯坦政府成立了相关的科研院所,积极开展棉花品种选育、害虫防治策略制定以及农业从业人员的

培训等工作。巴基斯坦独立后,首先在费萨拉巴德市建立了棉花研究站,开展棉花种质资源调查以提高培育品种的多样性;1948 年成立了巴基斯坦中央棉花委员会(Pakistan Central Cotton Committee),以服务于棉花生产。1957 年之前,巴基斯坦政府没有为农民提供明确的植物保护方案,后来在美国国际开发署(United States Agency for International Development)项目的支持下,在五年行动计划中评估和比较了各种害虫防治方法,优化并制定了具体的害虫治理策略。植物保护在 1969 年才被政府正式认定为棉花生产管理中的重要内容之一^[8]。广大的棉农也逐渐意识到有效控制害虫发生是提高棉花产量的关键。植物保护服务起初由政府向农户免费提供,直到 1966 年 6 月才向农户以每公顷每次 0.6 卢比的价格收取费用。

20 世纪 70 年代,旁遮普省的木尔坦棉花研究站和费萨拉巴德莱亚普尔植物保护研究所开始为旁遮普省和信德省的棉农提供植物保护服务。科研人员通过调查棉花害虫的发生开发了害虫预测预报模型;明确了巴基斯坦主要棉花害虫的地理分布;确定了棉花主要害虫的经济阈值,制定了棉花害虫防治的系统化方案。对棉农和技术人员进行害虫防治培训并定期为他们提供田间害虫信息^[8]。

棉花生长早期主要受烟粉虱、叶蝉和蓟马为害,在棉株基部施用“毒土”(主要由滴滴涕和一些兼容性的农药混合而成)可有效防治早期害虫。每个生长季使用 1~2 次。蟋蟀、叶螨等害虫也会为害棉花种子和幼苗,因此在使用农药防治棉花苗期害虫的同时,采用农业防治方式,如利用间苗拔除一些有害虫的幼苗,可有效减少田间害虫种群数量。棉红铃虫主要在 10 月至 11 月发生,棉花收获后越冬代幼虫残留在棉株以及田间残余茎秆上。采用深耕冬灌能有效杀死越冬代幼虫,用粉碎机处理田间棉花茎秆也能有效地降低棉红铃虫越冬基数。1973 年之前,卡拉奇大学已开展了棉田害虫天敌-寄主-害虫关系的研究。此外,也针对棉花植株进行了抗虫因子的测定,对害虫抗性的发展趋势以及棉花害虫杀虫剂的筛选开展了系列探索。在绿色防控技术的使用方面,Hafeez 在实验室条件下发现辐射不育能使翠纹金刚钻种群减少 93%,但没有关于性诱剂和性信息素的详细研究^[8]。

1.2 害虫防控技术推广

棉农根据巴基斯坦中央棉花委员会定期发布的指南进行棉花害虫防治^[9]。另外,管理部门也利用无线电广播、电视等平台发布害虫种群动态及其防治的信息。1973年以来,巴基斯坦农业技术推广服务中心一直致力于推广害虫综合防治。为了使农民更好地理解害虫综合防治理念,巴基斯坦联邦农业部向从事害虫综合防治工作的人员分发不同作物害虫防控年历的小册子。

1.3 杀虫剂的使用

化学杀虫剂(如滴滴涕)的使用为棉花等大田作物上害虫的防治带来了巨大变化。第二次世界大战后开始出现多种化学农药,新兴的杀虫剂见效快、价格便宜,全球范围内将使用杀虫剂作为防治害虫的主要措施,尽管其对非靶标生物(如天敌、人类)的影响尚不明确^[10]。因有机氯农药在环境中高残留,巴基斯坦在20世纪70年代中期用有机磷杀虫剂马拉硫磷取代了滴滴涕和六六六。化学农药在随后的棉花害虫防治中得到了广泛应用,

1983年以前旁遮普省5%~10%的棉花种植区域使用了杀虫剂,而在1997年增加到了100%^[11-13]。早期棉农基于田间目测确定喷施杀虫剂的时间,没有将害虫的经济阈值作为化学防治的依据。农业技术推广服务部门并不能有效地为棉农提供科学指导,棉农很大程度上依赖经销商的推荐来选择农药种类和使用技术。通常情况下,棉农在8月中旬开始使用杀虫剂防治刺吸式害虫,后期还会使用2~3次农药来控制棉铃上的害虫^[14]。巴基斯坦政府为了促进农药的使用一直向农民发放农药补贴,1969年12月之前政府向农药受益人提供75%的补贴,在1971年3月降至50%,一直持续到1973年4月。后来由于巴基斯坦卢比贬值,以及私营企业进入农药市场,农药的销售和使用得到了快速发展,政府逐渐终止了农药补贴计划^[15]。20世纪90年代开始,棉农使用大量的农药来防治棉铃上的烟粉虱等害虫,致使农药在棉花上的使用量迅速增加,到2020年农药用量较1990年增加了11倍(图1)。

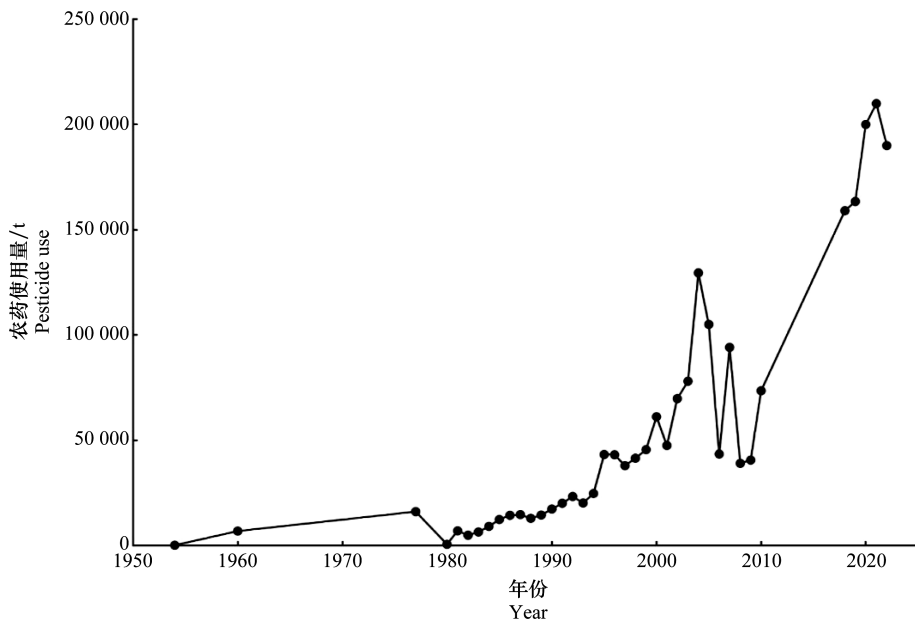


图1 巴基斯坦农药使用量

Fig. 1 Annual pesticides use trend in Pakistan

1.4 施药方式与设备

1951年以前,害虫防控主要由省级农业部门负责,主要以地面施药的方式进行。1951年发生蝗灾后,卡拉奇植保部门开始组织使用飞机从空中喷洒农药。飞机上装备了标准喷嘴或自动旋转装置,以

50~100 μm 的雾滴喷洒杀虫剂。虽然使用化学农药防治害虫已被农民接受,但缺少成本合理的喷雾设备,以至于农药颗粒剂在20世纪60年代后期作为最主要的剂型被广泛使用。

20世纪50年代的蝗灾期间,一些地区开始通

过飞机在棉田喷洒氯代烃类杀虫剂,这是巴基斯坦首次将杀虫剂应用于棉花害虫防控^[16-17]。随后背负式喷雾器的普及方便了农药在棉田的应用,但农药的大量使用降低了天敌的密度,导致一些害虫的暴发或者为害更加严重。受田间树木的影响,飞机作业高度较高,喷洒农药的效果相对较差,同时易引起农药在环境中高残留及其污染问题。所以农民大多更倾向于使用手动背负式喷雾器喷洒化学农药。棉花生长阶段多为高温天气,如果棉农不了解农药的毒性以及正确使用方法(包括喷雾器以及个人防护设备的正确使用),农民的身体健康极易受到危害^[18-20]。手柄背负式喷雾器(配备喷杆和空心锥形喷头)的喷雾量取决于作物的高度,一般为 200~5 000 L/hm²^[21]。20 世纪 80 年代初,巴基斯坦开始推广使用旋转式圆盘超低容量喷雾器,田间试验发现其最低喷施量可以降到 2.5 L/hm²。相比于背负式喷雾器,超低容量喷雾器每天可完成的施药面积更大,花费更少^[21]。另外,在用常规杀虫剂防治棉花上棉铃虫幼虫的试验中发现,旋转式圆盘超低容量喷雾器的施药效率明显高于传统背负式喷雾器^[22]。在大型农场,往往使用机载喷雾器或喷杆式喷雾机,其用药量为 300~500 L/hm²。Bt 棉商业化种植后,这些机载喷雾器依旧在使用。

1.5 农药管理

1951 年,巴基斯坦为防治蝗虫引入了化学杀虫剂,并于 1952 年开始用飞机对包括棉花在内的主要作物喷洒农药。据报道,1954 年巴基斯坦首次进口了 254 t 合成农药,开启了农药贸易^[23]。直至 1973 年,巴基斯坦只有六六六和滴滴涕是本国生产,其余农药均依赖进口。为了规范农药的注册、进口、生产以及销售时的包装和标签的使用等,政府在 1971 年和 1973 年分别颁布了《农药条例》和《农业农药规章》。同时,1971 年在卡拉奇植物保护部门和费萨拉巴德阿尤布农业研究所的昆虫研究中心建立了负责筛选进口农药的实验室。1980 年之前,农药进口主要由巴基斯坦政府管辖,政府按照补贴价格通过农业部或者私营企业向农民分发农药。1980 年以后,私营企业被允许进口和销售农药,极大地促进了农药的运销和使用,为巴基斯坦本土农药贸易的发展奠定了基础^[24]。

2 转基因棉花生态系统

转基因棉花是巴基斯坦已规模化、商业化种植的作物。2000 年,未经生物安全批准 Bt 棉就已进入了巴基斯坦棉种市场^[25-26]。在获得商业许可之前,Bt 棉种子主要来源于当地市场、种业公司以及国内农户自留种^[27]。2002 年,巴基斯坦首次批准了当地杂交品种‘FH-901’‘CIM-443’和‘CIM-448’的商业化种植;2006 年批准了品种‘NIBGE-2’,2009 年批准了品种‘CEMB-2’(杂交)种植;2010 年和 2014 年国家生物安全委员会分别正式许可了一批已经在巴基斯坦种植的 Bt 棉品种。此后,巴基斯坦棉花品种以‘MON531’品系为主,新兴更有效的品种(如‘Bollgard II’)尚未在巴基斯坦商业化种植^[28]。2019 年在巴基斯坦费萨拉巴德农业大学召开了全国棉花生产从业者会议,讨论推荐种植多基因抗虫棉花品种,2022 年农民普遍种植了转多基因棉花品种,特别是在维哈里和木尔坦棉花种植区。转多基因(*cry1Ac*, *cry2Ab* 和 *GTG*)抗虫棉花品种‘CKC3’由巴基斯坦旁遮普大学微生物卓越中心生产,能够抗草甘膦和棉红铃虫。常规棉田杀虫剂用量大、棉铃虫为害率高、棉花产量低,外加较高的劳动力成本,巴基斯坦农民更倾向种植 Bt 棉^[29]。2017 年的统计显示,Bt 棉在巴基斯坦的种植面积为 300 万 hm²,其产量占全国棉花总产量的 96%^[28]。

2.1 害虫综合治理

使用杀虫剂是控制棉花害虫的主要方法,但目前已通过多种措施来减少在转基因作物上使用农药,如推迟第一次用药时间以促进天敌种群的建立,使用选择性杀虫剂,提高种子的质量以及其他农业防治措施,或者采用迷向干扰交配技术。受棉花品种与播种面积的影响,Bt 棉的播种会持续到 6 月底。早播品种在 8 月份开始采摘,每年的 10 月和 11 月收割棉花秸秆^[30]。Bt 棉的商业化种植减轻了很多种鳞翅目害虫(如棉红铃虫、鼎点金刚钻 *Earias cupreoviridis* 和棉铃虫等)的为害,但导致非靶标刺吸式害虫及其天敌种群密度的增加^[31-32]。根据最新数据,柯宁棉红蜡、棉籽长蜡 *Oxycarenus hyalinipennis* 和棉红铃虫、斜纹夜蛾是目前棉花上的主要害虫,但在棉花生产技术指导中尚未明确柯宁棉

红蜡和棉籽长蜡的经济阈值(表 1)。因此,在未来 Bt 棉生态系统的害虫综合治理中,需要更新害虫的经济阈值并加强生物防治^[33]。生物防治在害虫综合治理中的效率仍需进一步研究确认,但无论如何

广谱性捕食性天敌如蜘蛛在减少棉田害虫方面发挥了重要的作用^[34-36]。目前旁遮普省的不同地区共建立了 11 个生物防治实验室,用于大规模饲养有益生物草蛉和赤眼蜂。

表 1 Bt 棉生态系统中棉花害虫的经济阈值

Table 1 Economic threshold level of cotton pests in Bt cotton ecosystem

序号 Serial number	害虫种类 Insect pests	经济阈值(ETL) Economic threshold level
1	叶蝉	每片叶子 1 头若虫或成虫,或为害级别达到二级(叶片边缘变黄)
2	粉虱	每片叶子 4~5 头若虫或成虫
3	蓟马	每片叶子 8~10 头
4	甜菜夜蛾	每片叶子 1 个卵块
5	蚜虫	10%棉株被为害
6	棉红铃虫	连续 3 d 每天性诱剂诱捕成虫量超过 8 头/诱捕器,或 5%~10%花/铃被为害
7	棉铃虫、金刚钻	5%棉铃被为害,或每株 1 头幼虫,或每株棉花上有 3 个蛀孔

2.2 害虫防控技术推广

基于历史经验和田间应用研究试验,农业推广部门每年会更新并发布来年棉花生产的详细技术和计划,并通过农业技术人员和公司进行宣传以指导农民。与其他作物(如水稻、玉米、甘蔗等)相比,巴基斯坦拥有成熟的棉花市场链,棉花的价格也相对较高^[37]。由于棉花产量(图 2)和种植面积的持续下降,政府举办了多次由政府部门组织和参与的网络研

讨会,采取一系列重要措施来恢复农民对植棉的信心。当前,政府的棉花咨询委员会每两周召开 1 次会议,与棉花生产从业者讨论未来 15 d 的棉花生产和管理的策略和技术方案。然后,相关指导性的意见通过电子或印刷媒体分发给农民。相比过去十年,现在巴基斯坦的农业推广服务和虫害预警部门通过举办农民会议、提供示范、发放小册子和书籍等系列措施,在咨询建议服务方面取得了非常有效的成绩。

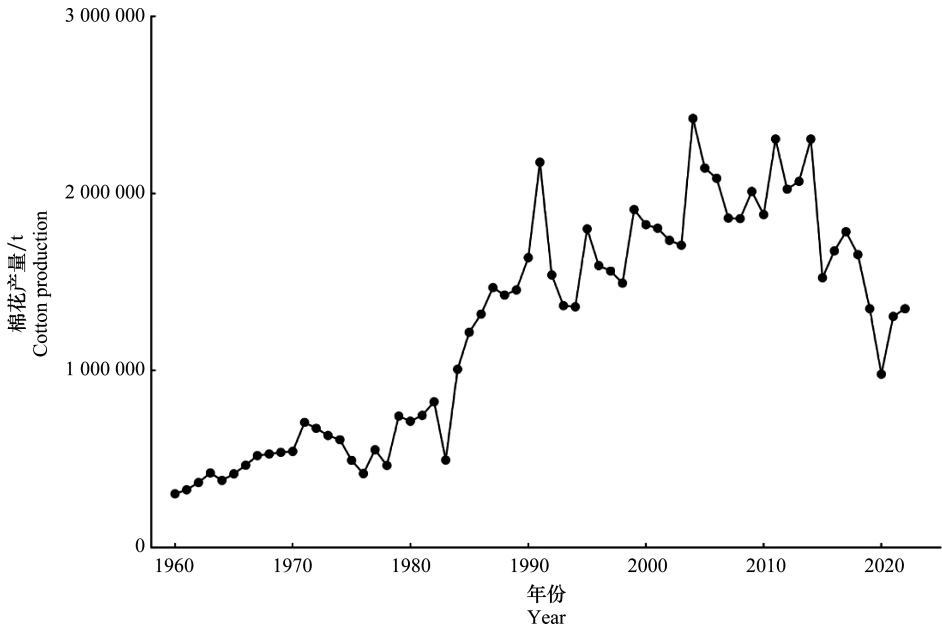


图 2 1960 年—2022 年巴基斯坦棉花产量

Fig. 2 Cotton production from 1960 to 2022 in Pakistan

2.3 杀虫剂的使用

在巴基斯坦棉农认为杀虫剂是控制棉花害虫最有效的方法,杀虫剂的进口量也逐年增加。过去

十年间,已登记的杀虫剂从 108 种^[38-39]增加到 196 种^[17]。目前,巴基斯坦 90%以上的农药是从中国进口,其中约 90%是以原药的形式进口再加

工,另外 10%以成品的形式直接进口。最近,巴基斯坦政府在“中巴经济走廊”项目的支持下与中国政府合作,在经济特区成立农药生产企业以减少进口。在所有作物中,棉花上施用的农药量占总用药量的 60%~85%^[40]。化学杀虫剂大约占据巴基斯坦农药市场的 60%^[30],而用在棉花上的杀虫剂占据杀虫剂总量的 75%~90%^[41]。全国各省份中,旁遮普省使用了 88.3%的杀虫剂,其次是信德省(8.2%)、开伯尔-普赫图赫瓦省(KPK)(2.8%)和俾路支省(0.76%)^[42]。为了解决农药滥用问题,政府通过立法对违规行为处以罚款甚至数月甚至数年的监禁。在颁布《2018 年农业农药条例》《2018 年旁遮普农业政策》等法律法规后,省政府尽职尽责地执行这些规章。农民使用的农药种类通常是当地供应情况、经销商的建议、其他农民使用的种类或雇主提供的农药种类来选择。使用农药时,农民通常采用经销商推荐的使用剂量,而忽视了各植保部门的建议。因此大多数情况下,农药使用剂量远高于推荐剂量,导致农民很大程度地接触到田间残留的农药^[43-44]。在巴基斯坦^[45-46],尤其是旁遮普省^[47-48]和信德省^[49],均有采棉工农药中毒的报道。政府采取措施并制定相关政策来减少农药对农民的伤害,同时也开始大规模地培训农民正确使用农药的技术和方法^[50]。

参考文献

- [1] FAO. FAO in Pakistan [EB/OL]. [2022-11-21]. www.fao.org/pakistan/fao-in-pakistan/pakistan-at-a-glance/en.
- [2] BAFFES J, RUH P A. Part 1: The cotton trade: history and background [M]//Secretariat of the International Cotton Advisory Committee. Cotton trading manual. 1st edition. Cambridge, UK: Woodhead Publishing, 2005.
- [3] AFZAL M. The cotton plant in Pakistan [M]. Pakistan Central Cotton Committee, Karachi-I. 1969: 1-389.
- [4] AFZAL M A. Cotton plant in Pakistan [M]. 2nd Edition. Shahrah-i-Roomi, Lahore: Ismail Aiwan-i-Science, 1983.
- [5] ARSHAD M, SUHAIL A, ARIF M J, et al. Transgenic Bt and non-transgenic cotton effects on survival and growth of *Helicoverpa armigera* [J]. International Journal of Agricultural and Biology, 2009, 11(4): 473-476.
- [6] AFZAL M, RAJARAMAN S, ABBAS M. Studies on the cotton jassid in the Punjab. III. Effect of jassid infestation on the development and fiber properties of the cotton plant [J]. Indian Journal of Agriculture Sciences, 1943, 13(1): 192-203.
- [7] GHANI M A, AFZAL M, NANDA D N. Studies on cotton jassid in the Punjab. VII, age of leaf and jassid susceptibility [J]. Proceeding of Indian Academy of Science, 1945, 22: 219-224.
- [8] HAFEEZ S. Agricultural and rural development [M]. Printing corporation of Pakistan, 1973.
- [9] CHAUDHRY N A, ANSARI M A, TARIQ A H. Pest scouting and production of cotton crop [J]. Pakistan Agriculture, 1987, 38(3): 49-51.
- [10] DESNEUX N, DECOURTYE A, DELPUECH J M. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods [J]. Annual Review of Entomology, 2007, 52(1): 81-106.
- [11] Ministry of Food, Agriculture and Livestock. Agricultural statistics of Pakistan [R]. 1995.
- [12] Ministry of Food, Agriculture and Livestock. Agricultural Statistics of Pakistan [R]. 1996.
- [13] TARIQ M I. Leaching and degradation of cotton pesticides on different soil series of cotton growing areas of Punjab, Pakistan in Lysimeters [D]. Pakistan: University of the Punjab, 2005.
- [14] YOUNAS M. Threshold of economic injury of insects and mite pests of cotton [C]//Proceedings of Seminar on Insect Pests of Cotton. 1973.
- [15] BEG MAA. Report on pesticide usage in Pakistan [R/OL]. 2004. DOI: 10.13140/RG.2.1.4536.5284.
- [16] MAZARI R B. International code of conduct on the distribution and use of pesticides [C]//Proceedings of Asia Regional Workshop Implementation, Monitoring and Observance, 2005. <http://www.fao.org/3/af340e/af340e0g.htm>.
- [17] ALI M A. A handbook for agriculture extension agents on the pesticides registered with recommendations for safe handling and use in Pakistan [M]. 1st ed. Islamabad, Pakistan: Pakistan Agricultural Research Council, Ministry of National Food Security and Research, 2018.
- [18] SAEED M F, SHAHEEN M, AHMAD I, et al. Pesticide exposure in the local community of Vehari district in Pakistan: An assessment of knowledge and residues in human blood [J]. Science of the Total Environment, 2017, 587/588: 137-144.
- [19] JABBAR A, MALLICK S. Pesticides and environmental situation in Pakistan [R]//SDPI working paper series, Islamabad, 1992.
- [20] IQBAL Z, ZIA K, AHRNAD A. Pesticide abuse in Pakistan and environment associated human health mental risks [J]. Pakistan Journal of Agricultural Sciences, 1997, 34(1-4): 94-97.
- [21] ATTIQUE M R, SHAKEEL M A. Comparison of ULV with conventional spraying on cotton in Pakistan [J]. Crop Protection, 1983, 2(2): 231-234.
- [22] AHMED S, SALEEM MA, RAUF I, et al. Efficacy of high volume (HV) vs ultra low volume (ULV) spraying of talstar 10EC (bifenthrin), mustang 380 EC (zetacypermethrin + ethion) and novastar 56EC (abamectin + bifenthrin) against

- different larval stages of *Helicoverpa armigera* (Hub) [J]. International Journal of Agriculture & Biology, 2003, 5(4): 621–624.
- [23] NASIRA N. Invisible farmer Khoj, Lahore [M]. 1996.
- [24] FARID-U-DDIN A. Review of agro-pesticide consumption and its impact on crop protection in Pakistan [J]. Pakistan Agriculture, 1985: 28.
- [25] RANA M A. The seed industry in Pakistan: regulation, politics and entrepreneurship [R]//International Food Policy Research Institute. The Pakistan strategy support program working paper. Washington, DC, 2014.
- [26] SPIELMAN D J, NAZLI H, MA Xingliang, et al. Technological opportunity, regulatory uncertainty, and Bt cotton in Pakistan [J]. AgBioForum, 2015, 18(8): 98–112.
- [27] ARSHAD M, SUHAIL A, GOGI M D, et al. Farmers' perceptions of insect pests and pest management practices in Bt cotton in the Punjab, Pakistan [J/OL]. International Journal of Pest Management, 2009, 55(1): 1–10. DOI: 10.1080/09670870802419628.
- [28] ISAAA C. Global status of commercialized biotech/GM crops [R/OL]. 2022. <https://www.isaaa.org/kc/cropbiotechupdate/article/default.asp?ID=19862>.
- [29] ARSHAD M, SUHAIL A, ASGHAR M, et al. Factors influencing the adoption of Bt cotton in the Punjab, Pakistan [J]. Journal of Agricultural and Social Sciences, 2007, 3(4): 121–124.
- [30] Pakistan Credit Rating Agency. Pesticides sector analysis [R/OL]. 2020. https://www.pacra.com.pk/uploads/doc_report/Pesticides%20Sector%20Feb20%20Upload%20Version_1582895472.pdf.
- [31] ARSHAD M, GOGI M D, ARIF M J, RASHAD R R. Seasonal pattern of infestation by spotted bollworm, *Earias insulana* (Boisd.) and pink bollworm, *Pectinophora gossypiella* (Saund.) in field plots of transgenic Bt and non-Bt cottons [J]. Pakistan Journal of Zoology, 2015, 47(1): 177–186.
- [32] RAZAQ M, MENSAH R, ATHAR H. Biology of spotted bollworm of cotton, *Earias vittella* (F.) [J]. Pakistan Journal of Zoology, 1981, 13(1/2): 105–110.
- [33] ARSHAD M, RASHAD RR, ASLAM A, et al. Transgenic Bt cotton: effects on target and non-target insect diversity [M/OL]//ZAFAR Y. Past, present and future trends in cotton breeding. 2018. DOI: 10.5772/intechopen.73182.
- [34] WU Kongming, GUO Yuyuan. The evolution of cotton pest management practices in China [J]. Annual Review of Entomology, 2005, 50(1): 31–52.
- [35] LI Xuejun, ZHENG Guo, WANG Shuxian, et al. The population dynamics and control effect of important natural enemies of the soybean aphid *Aphis glycines* [J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2011, 48(6): 1613–1624.
- [36] ALI A, DESBEUX N, LU Yanhui, et al. Key aphid natural enemies showing positive effects on wheat yield through bio-control services in northern China [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2018, 266: 1–9.
- [37] Central Cotton Research Institute. Fourth national seminar on pink bollworm management [C]. Multan, Pakistan. 2020.
- [38] ZIA M S, KHAN M J, QASIM M, et al. Pesticide residue in the food chain and human body inside Pakistan [J]. Journal Chemical Society of Pakistan, 2009, 31(2): 284–291.
- [39] ANWAR T, AHMAD I, TAHIR S. Determination of pesticide residues in fruits of Nawabshah district, Sindh, Pakistan [J]. Pakistan Journal of Botany, 2011, 43(2): 1133–1139.
- [40] SHAHID M, AHMAD A, KHALID S, et al. Pesticides pollution in agricultural soils of Pakistan [M]//HAKEEM K, AKHTAR J, SABIR M. Soil science: Agricultural and environmental perspectives. Springer, 2016: 199–229.
- [41] Ministry of Finance, Revenue and Economic Affairs. Report of prime minister's task force [R]. Islamabad, Pakistan, 1993.
- [42] KHAN M J, ZIA M S, QASIM M. Use of pesticides and their role in environmental pollution [J]. World Academy of Science, Engineering and Technology, 2010, 4(12): 85–91.
- [43] ALI U, SYED J H, MALIK R N, et al. Organochlorine pesticides (OCPs) in South Asian region: a review [J]. Science of the Total Environment, 2014, 476/477: 705–717.
- [44] BAKHSH K, AHMAD N, KAMRAN M A, et al. Occupational hazards and health cost of women cotton pickers in Pakistani Punjab [J/OL]. BMC Public Health, 2016, 16(1): 961. DOI 10.1186/s12889-016-3635-3.
- [45] BALOCH UK. Problems associated with the use of chemicals by agricultural workers [J]. Basic Life Sciences, 1985, 34: 63–78.
- [46] KHWAJA M A. Impact of pesticides on environment and health [N]. Sustainable Development Policy Institute Research News Bulletin. 2001.
- [47] MASUD S Z, BAIG M H. Annual report of Tropical Agricultural Research Institute [R]. Karachi: Pakistan Agricultural Research Council, 1992.
- [48] AHMAD R, BALOACH M K, AHMAD A, et al. Evaluation of toxicity due to commercial pesticides in female workers [J]. Pakistan Journal of Medical Sciences, 2004, 20(4): 392–396.
- [49] RIZWAN S, AHMAD I, ASHRAF M, et al. Advance effect of pesticides on reproduction hormones of women cotton pickers [J]. Pakistan Journal of Biological Sciences, 2005, 8(11): 1588–1591.
- [50] AHMED M Z, DE BARRO P J, GREEFF J M, et al. Genetic identity of the *Bemisia tabaci* species complex and association with high cotton leaf curl disease (CLCuD) incidence in Pakistan [J]. Pest Management Science, 2011, 67(3): 307–317.

(责任编辑: 杨明丽)