郭予元院士在创建中国主要粮棉作物多病虫复合群体综合防治技术体系上的学术贡献

——纪念郭予元院士诞辰90周年

倪汉祥*， 陈巨莲， 张 勇， 曹雅忠

（植物病虫害生物学国家重点实验室，中国农业科学院植物保护研究所，北京 100193）

摘要 本文回顾了郭予元院士在20世纪80—90年代对中国主要粮棉作物多病虫复合群体综合防治技术体系研究与实践中的重要工作，包括组建粮棉作物多病虫复合群体综合防治技术体系的创新性思路、创建主要粮棉作物多病虫复合群体综合防治技术体系，以及对21世纪我国粮棉作物多病虫复合群体综合防治技术体系提出的发展前景和目标等，其中粮棉作物多病虫复合群体综合防治技术体系实施后取得了显著成效。郭予元院士在我国主要粮棉多病虫复合群体综合防治领域的相关学术思想及贡献，对我国农作物病虫害综合防治、可持续治理、绿色防控策略制定以及植物保护学科的发展产生了深远的影响，为我国实现农作物生物灾害可持续控制做出了重要贡献。

关键词 郭予元； 水稻； 小麦； 玉米； 棉花； 多病虫复合群体； 病虫害综合防治

中图分类号： S 471 **文献标识码：** A **DOI：** 10.16688/j.zwbh.2022673

Contribution of Academician Guo Yuyuan in the integrated management technology strategies for comprehensive group of multiple diseases and pests in major grain and cotton crops of China

——To commemorate the 90th anniversary of the birth of Academician Guo Yuyuan

NI Hanxiang*， CHEN Julian， ZHANG Yong， CAO Yazhong

（*State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests*，*Institute of Plant Protection*，*Chinese Academy of Agricultural Sciences*，*Beijing* 100193，*China*）

Abstract This paper reviews Academician Guo Yuyuan's important research and practice in the field of integrated management technology strategies for comprehensive group of multiple diseases and pests in major grain and cotton crops of China during 1980s－1990s, including the innovative ideas for developing integrated management technology strategies for the comprehensive group of multiple diseases and pests, creating integrated pests management (IPM) technology systems for rice, wheat, corn and cotton in the main grain and cotton crops growing areas, which had made the remarkable achievements after the implementation, and having proposed the development prospects and goals in China in the 21st century. Academician Guo's scientific thoughts and contributions in the field of comprehensive control of multiple diseases and insect pests in China had a profound impact on mapping out the strategies of IPM, sustainable control, green prevention and control, and the development of plant protection discipline in China, which has made an important contribution to the sustainable control of crop biological disasters in China.

Key words Guo Yuyuan; rice; wheat; corn; cotton; comprehensive group of multiple diseases and pests; integrated pests management (IPM)

收稿日期： 2022－10－28 **修订日期：** 2022－11－04

基金项目： 国家自然科学基金(31871979，31901881)

* 通信作者 E-mail：hxni@ippcaas.cn

我国农作物病虫害种类多、发生频繁,是世界上病虫灾害较重的国家。改革开放以来,随着我国国民经济快速发展,人们对农产品数量和质量的需求日益提高,在加强农业生产发展进程中,由于全球性气候反常以及农作物栽培水平的提高和耕作制度、作物布局的复杂化,使农作物病虫害成为更加突出的问题[1]。在"七五""八五"期间,我国农作物病虫害发生为害进入了一个较为明显的高峰期。在 1989 年－1994 年这 6 年中,每年都有病虫害大发生,有的年份如 1990 年和 1993 年各有 3 种主要病虫害大发生。在已发生的病虫害中,以棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 的为害最为严重,6 年中有 4 年(1990 年、1992 年－1994 年)大发生,其中 1992 年黄河流域和长江流域的 400 万 hm^2 棉田棉铃虫特大发生,全国皮棉损失 30% 以上。水稻稻瘟病 6 年中有 2 年(1990 年、1993 年)大流行,重灾区损失稻谷 30%以上。小麦条锈病 1990 年大流行,由于'洛夫林 10 号'系列的抗病品种丧失抗性,使大部分冬麦区受灾,损失小麦 26.5 亿 kg。稻飞虱 1991 年在 2 000 多万 hm^2 稻田里特大发生,损失稻谷 25 亿 kg。小麦赤霉病 1989 年在长江中下游特大流行,损失小麦 16 亿 kg。棉花黄萎病 1993 年在 400 万 hm^2 棉田大流行,损失皮棉 1 亿 kg。以上损失除棉花黄萎病外都是经过防治后的损失数量[2]。除上述病虫外,小麦吸浆虫再度猖獗,为害面积达 330 多万 hm^2[3];随着种植密度的增加、水肥条件的改善,小麦白粉病、小麦蚜虫和水稻纹枯病逐年加重,发生面积均超过 600 多万 hm^2;此外,玉米大、小斑病、玉米病毒病、玉米穗、茎腐病、玉米螟等病虫害都有明显加重的趋势[2]。由此可见,农作物病虫害的成灾频率明显加快,致灾强度逐年加剧,严重威胁我国农业生产[4]。

为了加强该领域的研究,当时国家计委和国家科委在我国持续几个五年计划中把农作物主要病虫害综合防治技术研究作为一个课题纳入国家科技攻关重点研究计划[1]。中国农业科学院植物保护研究所作为该课题的第一主持单位,郭予元院士从 1985 年开始,先后主持"七五"国家科技攻关"小麦主要病虫害综合防治技术研究"子专题、"八五"国家科技攻关"棉花病虫害综合防治技术研究"专题和"八五"国家科技攻关"农作物主要病虫害、农田草鼠害综合防治技术研究"课题。在项目立项和实施过程中,他高度重视组织优势单位联合攻关,来自农业部、中国科学院和国家教委 3 个系统在本领域有良好基础的 20 多个科研、教学单位近 400 位科学家,分别就水稻、小麦、玉米和棉花等 4 种作物的主要病虫害进行综合防治技术协作攻关。通过长期深入基层进行系统调查研究,结合国外有害生物综合治理(IPM)研究和发展情况,他提出了我国农作物病虫草鼠害综合防治技术研究分 3 个阶段发展的思想,即从以单种病虫为对象转变为以一种作物的多病虫为对象,再进一步发展为以生态区多作物的复合病虫为对象,使制定的防控对策愈来愈符合客观的需要。同时提出要以"形成体系"为关键环节的协作,建立有中国特色的分不同生态区针对水稻、小麦、玉米、棉花的多病虫复合群体综合防治技术体系,并在全国 17 个省市区建立 30 多个示范区,示范面积 20 多万 hm^2,合理协调自然控制和人为防治,基本控制了各地多种病虫灾害,取得明显的经济、社会、生态效益,其示范作用的技术覆盖面积超过 600 多万 hm^2。将我国农作物病虫害防治技术推向一个新的历史阶段,既为国际 IPM 研究做出了新贡献,又为 21 世纪我国实现农作物病虫害可持续控制提供了重要科学依据[5]。其研究成果"中国主要粮棉作物病虫害综合防治技术体系的创建和成效"获 1999 年农业部科学技术进步奖一等奖。

1　郭予元院士在创建中国主要粮棉作物多病虫复合群体综合防治技术体系上的重要贡献

1.1　提出组建粮棉作物多病虫复合群体综合防治技术体系的创新性思路

1.1.1　组建粮棉作物多病虫复合群体综合防治技术体系的指导思想

通过组织各攻关专题对多病虫复合群体综合防治技术体系(IPM)的本质进行反复讨论、逐步深入理解,最终在下面几个原则上达成共识[6-7]:

一是 IPM 策略源于实践应用于实践。从我国农村经济实际出发,遵循经济、有效、安全的原则,组建 IPM 技术体系,不仅针对 IPM 策略进行理论探讨,更重要的应使其在操作上规范化、具体化、实用化和配套化,使其成为适合我国农村需要的 IPM 行动纲领,并通过大面积示范来验证其可行性。

二是要适合生态多样性要求。我国地域辽阔,各地气候、土壤、水资源、地形、地貌等有很大差异,

其作物病虫害发生种类、程度、时间各有特点，因此，不可能组建一个“放诸四海而皆准”的 IPM 技术体系，而必须按不同生态区因地制宜地制定各自的对策和措施。

三是要反映我国生物群落多样性特色。我国是农业耕作制度十分复杂的国家，种植制度或栽培模式的改变直接影响农田生物群落结构，使作物-有害生物-天敌三级营养水平的关系不断发生变化，导致作物病虫害发生为害情况有差异。因此，应充分利用我国种植制度复杂的特点及优势，在 IPM 技术体系中突出体现通过调整耕作制、作物熟制和间复套种方式等增强作物对病虫害自然控制作用的特色。

四是要反映 IPM 策略的长期性和阶段性。IPM 策略立足于保持稳定农业生态系的生态学观点、减少化学农药等对环境污染的环境保护观点和节约生产成本及力争高效益、低损耗的经济学观点，这些观点都符合保持农业长期稳定、持续发展的要求。因此，IPM 是防治农作物病虫害的长期有效策略，其内涵将随着农业生产的发展和科学技术的进步而逐步提高。从综合性和实用程度考虑，IPM 策略可划分为 3 个阶段，即由单虫、单病的综合防治发展为以作物为主体的多病虫复合群体的综合防治，最后发展为以生态区为单元的多作物病虫复合群体的综合防治。在技术措施上应逐步增强自然控制作用并相应地减少对化学农药的依赖。

1.1.2 提出了组建粮棉作物多病虫复合群体综合防治技术体系的技术路线

根据现代生物学、生态学和经济学的原理和要求，从发展作物高产、高效和优质农业、保护作物、保护环境和提高经济、生态、社会效益的总体目标出发，运用系统工程、系统分析及优化技术等方法，深入研究环境-作物-病虫-措施的相互间关系，充分发挥自然控制（鉴定筛选和培育多抗病虫品种、调整耕作栽培制度、保护利用昆虫天敌及应用生物制剂等）和人为防治措施（合理用药、抗药性治理、物理防治等）的协调作用。需要着重研究在不同生态区作物的主要病虫种群动态规律、监测预报和关键为害时期，评价自然控制因素的作用。根据病虫为害损失和经济阈值，提出复合动态防治指标，制定最佳防治对策，组建以作物为主体的多病虫综合防治技术体系。

具体做法：一是分不同生态区进行历史资料分析和田间系统调查研究，弄清作物主要病虫害的发生动态和种类演替规律，确定当前主要防治对象；二是研究主要病虫害发生动态与气候条件、耕作制度、作物布局、种植方式和天敌制约等的关系，制定作物关键发育阶段病虫害发生期和发生量的监测和预测方法[4]；三是监测病原物小种、菌系或株系及害虫生物型的变异情况，研究作物品种对病虫害的抗性机理，鉴定、筛选、培育和推广对主要病虫害（小种/菌系/株系/生物型）相对稳定的单抗或多抗的优良作物品种/材料/组合；四是研究主要害虫（害螨）天敌的发生规律和自然控制作用以及化学农药对天敌种群数量的影响，提出保护利用天敌控制害虫（害螨）的措施；五是研究制定调整耕作制度、间复套种方式及作物布局等减轻病虫发生为害的农田生态调控技术和化学信息素招引天敌及诱杀、阻断、驱避害虫的化学生态学调控技术；六是研究主栽作物品种对病虫的抗害、耐害补偿功能和产量损失，根据防治病虫害后挽回作物产量损失的所得收益至少应等于投入的防治费用这个经济学原则，制定作物品种主要病虫害复合种群的动态防治指标（复合经济阈值）[8]；七是系统监测主要害虫/病菌对常用杀虫/杀菌剂抗药性的发展变化，筛选对害虫和病原物高效、对天敌选择性好，对人、畜低毒和在环境中低残留的新杀虫剂、杀菌剂，提出避免或缓解害虫、病菌抗药性的科学管理和合理使用农药的配套技术；八是在以上研究的基础上，将各个环节所研究出的防治措施进行合理组装，组建成既适合当前本生态区特定条件、按该作物生长发育阶段控制多病虫优化管理系统，而又不致构成对未来生态环境产生不利影响的预防与治理相结合的综合防治技术体系[5]。

1.2 创建主要粮棉作物多病虫复合群体综合防治技术体系

郭予元院士作为“八五”国家科技攻关“农作物主要病虫害、农田草鼠害综合防治技术研究”课题主持人，除负责整体设计、制定研究内容、技术路线和实施方案，组织检查、总结交流和验收外，还分别主持“七五”国家科技攻关“小麦主要病虫害综合防治技术研究”子专题和“八五”国家科技攻关“棉花病虫害综合防治技术研究”专题，亲自率领攻关课题组以河南南阳和新乡为研究示范基地，创建了黄淮海冬麦区和黄河流域灌溉棉区小麦和棉花两大作物多病虫复合群体综合防治技术体系。根据我国农业耕作

制度复杂和生物群落多样性的特点,在研究组建小麦和棉花多病虫害 IPM 技术体系时,主要策略是针对主要病虫复合种群,尽可能发挥各种自然控制因素的综合作用,抑制其种群数量(密度),当自然控制因素不能抑制病虫害发展而达到防治指标时,即实施人为治理(包括科学使用农药等),并力求与自然控制相协调,以保持对病虫害相对持久的控制效果[5]。

1.2.1 创建小麦多病虫复合群体综合防治技术体系

我国小麦主产区为黄河、淮河、海河流域(黄淮海)冬麦区,其次为长江中下游冬麦区、西北冬/春麦区和东北春麦区,分别属于南温带湿润区、北亚热带湿润区、南温带半干旱区和中温带湿润区。除西北冬麦区外,雨量大体适中,黄淮海和长江中下游为两熟制,小麦生长期耕作制度不太复杂,但易受迁飞性、流行性病虫害如黏虫、小麦条锈病等入侵。主要病虫为黏虫、麦蚜、吸浆虫、锈病、白粉病、赤霉病和纹枯病。根据国家科技攻关计划安排,在黄淮海平原冬麦区、西北冬、春麦区、长江中下游冬麦区和东北春麦区组建多病虫复合群体综合防治技术体系。技术对策是在分析麦田生物群落种间关系的基础上,发挥抗病品种、天敌的作用;发掘利用小麦生长前期的耐害补偿功能,合理放宽病虫防治指标,将药剂防治重点放在保护穗期,但应尽量使用选择性农药,以保护天敌向后季作物转移[9]。

以黄淮海冬麦区河南南阳示范区为例,该区地处黄淮海平原和江淮平原交界地带,是河南省内较温暖湿润的县之一,但年度间气候条件变化较大,在小麦生长阶段有时会遇干旱或雨涝。这里土壤较肥沃,小麦生产水平和产量居全省前列,是国家优质小麦生产基地之一。为组建南阳示范区小麦多病虫复合群体综合防治技术体系,在郭予元院士主持下开展了以下工作[9-10]:

第一,摸清主要病虫害发生概况,明确主要防治对象。病害以白粉病、条锈病、叶锈病、赤霉病等为主。赤霉病在小麦抽穗期前后如遇阴雨连绵天气,有流行可能。小麦锈病在当地主要发生条锈病和叶锈病,由于主栽品种'宛 7107'中抗条锈病,不适宜条锈病的流行,因此病情很轻,但有的年份后期叶锈病较重,对产量有明显影响。小麦白粉病自 20 世纪 70 年代以来日趋严重,已成为常发性病害。虫害以小麦吸浆虫、麦蚜为主。吸浆虫自 20 世纪 70 年代中后期以来明显回升,再次成为主要害虫。麦蚜以麦长管蚜 *Sitobion avenae*(该学名一直误用,其真实学名为荻草谷网蚜 *Sitobion miscanthi*[11])、禾谷缢管蚜 *Rhopalosiphum padi* 为主,随着小麦生产水平的提高,有日趋严重之势。南阳地区历来是黏虫的一代常发区,对小麦威胁较大,20 世纪 80 年代以来由于从越冬代常发区迁来的虫源明显减少,因此田间一代幼虫密度很低,一般受害轻微,对产量无明显影响。

第二,开展主要病虫害综防关键技术研究。1)设立小麦品种材料抗吸浆虫、白粉病、麦蚜观察圃,筛选出一批农艺性状较好、兼抗或单抗吸浆虫和白粉病能力强甚至免疫的和一些抗性强但农艺性状不够理想的材料。对于前者,如种子来源有保证,拟在病虫发生区扩大试种。单抗品种材料则辅以药剂防治;如种子来源不足,拟参加地县小麦区域试验。对于后者则继续参加观察圃或供作育种抗源材料[3]。2)分析主要病虫害大发生条件:小麦吸浆虫在土内虫口密度大的地区,其发生为害轻重取决于 4 月下旬,即蛹期到有效成虫期(小麦扬花前 15 d)的降雨情况,期间的雨量和降雨次数多,吸浆虫发生重,反之就轻[12]。对于白粉病,在当时生产上种植的品种都不抗病的条件下,3 月－5 月上中旬的雨量、相对湿度较大、日照时数偏少,有利于白粉病的发生危害。此外,如小麦播种较早、冬季比较温暖和不太干旱,则早春的越冬菌源较多。影响条锈病发生轻重的主要因素是大面积种植品种的抗病性,其次是春季的雨量。如种植感病品种面积较大,菌源充足,3 月－5 月的雨量较多,条锈病将发生较重。在小麦抽穗、扬花阶段如连续阴雨,温度较高,赤霉病将发生流行[9-10]。3)研究天敌对害虫的控制作用:据调查,南阳地区麦田主要害虫天敌种类有 200 余种,其中黏虫、麦蚜的天敌有 100 余种,分属 4 纲 8 目,约 30 科。黏虫主要天敌是低龄幼虫期侵入虫体的寄生性中华卵索线虫 *Ovomermis sinensis* 和老龄幼虫期的捕食性中国曲胫步甲 *Calosoma chinense*。麦蚜主要天敌是瓢虫、食蚜蝇和寄生蜂。这些天敌对这两种害虫有明显的控制作用应该加强保护。值得注意的是吸浆虫的天敌很少[9-10]。4)确定防治指标:在白粉病发生较重的年份,小麦产量损失率约为灌浆期病情指数的 0.3 倍;在白粉病前期发生轻、后

期较重的情况下，小麦灌浆期病情指数 20%左右将造成 2%的产量损失。在吸浆虫适宜发生的条件下，土内虫口每小方(0.56 m^3)达 5 头，将使小麦减产 1%左右。秋苗受地下害虫为害死苗率超过 10%，小麦开始减产。5 月初，麦田每平方米有 25 头 3 龄黏虫幼虫将使小麦减产 2%左右。在麦蚜适宜发生的年份和地区，在抽穗期每穗有 5 头麦长管蚜或每茎有 40 头禾谷缢管蚜将使小麦减产 2%左右。这些指标可作为设定这几种害虫防治区的重要依据[9-10]。5)开展药剂试验：在小麦孕穗期后白粉病病茎率达 10%～20%时，喷洒粉锈宁类药剂可取得良好的防效。多种药剂混用兼治，在已筛选出灭幼脲防治黏虫，抗蚜威防治麦蚜，粉锈宁防治锈病、白粉病等一批防治小麦病虫高效、低毒、对天敌安全的新药剂的基础上，采用回归设计方法进行了这 3 种药剂混用兼治的田间试验。结果证明，在小麦抽穗期前后按常规用量施混剂一次，可很好地防治上述几种病虫害，显著挽回小麦损失，混配后不降低药效，且无药害等副作用[13]。研究明确在气候干旱年份，土壤施用毒土对吸浆虫防治效果显著低于穗期喷洒的效果，建议示范区应在小麦 70%抽穗时，及时喷洒药剂防治成虫[12]。

第三，制定南阳示范区 IPM 的策略和措施。防治策略：以控制吸浆虫、麦蚜和白粉病危害为主，兼治叶锈病、散黑穗病、地下害虫和麦圆蜘蛛等，并且密切注意黏虫、赤霉病、条锈病等突发性病虫害的发生，在有大发生的可能时及早采取措施加以控制。主要防治措施为选用高产优质抗锈品种，大面积控制当时流行的小麦条锈 29 号新小种；利用蚜茧蜂等天敌控制麦蚜为害，对穗期吸浆虫、小麦白粉病及时施药防治，可收到很好的防治效果[14]。

1.2.2 创建棉花多病虫复合群体综合防治技术体系

棉花主产区为黄河、淮河、海河、长江流域和新疆地区，分别属于南温带湿润区、北亚热带湿润区和中温、南温带干旱区。四河流域雨量适中，为两熟制。20 世纪 80 年代以来由于间作套种增加，棉区耕作制度较为复杂。主要病虫害为棉铃虫、棉蚜、红铃虫、棉叶螨、盲蝽、枯萎病、黄萎病和烂铃病[15]。攻关专题在棉花主产区的七个生态区：黄河流域灌溉棉区、黄河流域一熟棉区、海河流域黑龙港棉区、冀南旱粮棉花混作棉区、长江中游稻麦间轮作棉区、长江下游棉粮套作棉区和新疆内陆棉区，分别组建 IPM 技术体系。

棉花是无限花序，在生长前期除顶尖外，耐害补偿能力颇强。综合防治对策是：选用抗病品种，运用控害栽培技术，发掘利用棉花生长前期耐害补偿功能，放宽防治指标，力争麦收前不用药防治，后期北方合理放宽棉铃虫防治指标，重点防治主害代，南方合理放宽红铃虫防治指标(二代)，重治三代，均收到了很好的防治效果。

例如黄河流域灌溉棉区新乡示范区：1)从调控棉田生态环境入手，推广麦棉间作，种植兼抗良种。麦棉间作，面积由“六五”占 40%发展到“七五”的 93%，抗病良种基本普及。棉花苗期，由于小麦成株的屏障作用，减少了有翅棉蚜迁入，并为天敌繁衍转移提供了良好的生境。据 5 月中旬调查，间作棉田单株蚜量仅为单作棉田的 1/9，天敌为单作棉田的 35 倍，控制了苗蚜为害；间作棉花迟播 10～15 d，可提高地温 3.1℃，减轻了苗病危害；2)种植抗病品种，基本控制了枯萎病危害，做到一般年份麦收前不施药防治病虫，初步形成较好的保护性棉田生态体系，使化学防治由棉花全生育期转移到重点防治蕾铃期病虫害，降低了棉田用药次数[15]；3)棉铃虫是黄河流域灌溉棉区最重要的害虫，攻关专题通过多年系统研究棉铃虫的发生规律，发现灌浆期麦穗上的一代棉铃虫幼虫数量与棉田二代棉铃虫的为害轻重有密切关系，因此创造性地建立了麦田扫网调查幼虫量，可以提前 20 多天准确预测棉田二代棉铃虫的发生程度的测报技术。查明了二代棉铃虫对棉花主茎生长点的为害造成棉花疯长是棉花减产的关键因素，这个阶段棉花有较强的补偿能力，花蕾受害脱落对产量影响不大。到三代棉铃虫发生期间，棉花的补偿能力已很弱，花蕾受害脱落直接影响棉花产量。由此制定了“一代监测、二代保顶、三代保蕾、四代保铃”的防治策略[15-19]。通过大量田间试验确定了不同肥力水平棉田二、三代棉铃虫的科学防治指标。系统组建了一至四代棉铃虫自然种群生命表，明确了各代各虫期的主要天敌种类及其控制作用，并研究出采用隐蔽施药和选择性杀虫剂等措施保护利用自然天敌[18, 20]。研究制定了棉花品种种质资源抗棉铃虫鉴定标准和鉴定方法，并选育出几个高产优质抗虫品种[19, 21-23]。系统监测了棉铃虫对菊酯类杀虫剂的抗性发展，研究了抗药性机制，制定了加强

抗药性预测预报,适时施药,协调应用多种措施进行防治,科学合理使用化学农药等缓解棉铃虫抗性的综合治理对策。此外,还研究出先施 Bt 生物制剂,后施菊酯类农药提高对抗菊酯棉铃虫防效等一系列新的防治技术。由于综合采用了上述一整套防治策略技术,使新乡示范区 6 700 hm^2 棉田成为 1992 年—1994 年大灾之年大面积控制棉铃虫灾害的先进样板;示范区棉花产量比非示范区增产 20%～60%,防治次数减少 3～5 次,化学农药用量显著减少,节约防治成本 25%～30%[18,21-22]。这套技术体系 1993 年后在全国棉铃虫防治中得到成功的推广应用,获得 1996 年国家科技进步奖三等奖,并被两委一部列为国家"八五"科技攻关的重大成果。

1.3　主要粮棉作物多病虫复合群体综合防治技术体系成效显著

在郭予元院士领导的攻关研究团队共同努力下,小麦和棉花多病虫复合群体综合防治技术体系取得了显著成效,主要体现如下:

1.3.1　在国际上率先建成了作物为主体、适合不同生态区的多病虫复合群体的综合防治技术体系

从我国农业生态多样性和生物群落多样性的特点出发,在对不同耕作区域气候条件、种植制度、作物生长发育和益害生物的种间关系、病虫种群动态变异、监测预报技术研究和多种控制措施协调应用的基础上,初步建成以小麦、棉花为主体、针对不同生态区特定条件的、多病虫复合群体综合防治技术体系[3]。在综合防治示范区,实现了由单病、单虫的应急防治向以作物为主体的多病虫复合群体综合治理的过渡,进一步增强了自然控制与人为防治措施的有机结合,其科学性、实用性和关键配套措施的规范性与可操作性在示范区和技术覆盖区得到不断完善和提高,有效地控制或抑制了 20 世纪中后期麦棉病虫危害,取得显著的经济、生态和社会效益[7]。该项研究成果还为 21 世纪我国实现农作物病虫害可持续控制提供了重要科学依据,并为我国实现新的农业技术革命提供了坚实的技术储备。

1.3.2　制定了合理的病虫防治指标,并根据多种病虫复合危害的实际,制定出主要病虫复合防治指标,提高了综合防治决策的科学性和准确性

通过研究病虫危害损失,证明在病虫低密度危害情况下,作物可以通过自身的生理、生化反应,实现调节补偿。利用作物这种耐害补偿功能,攻关课题组合理放宽了麦长管蚜、小麦黏虫、棉花苗蚜、棉铃虫等病虫的防治指标,一般放宽 1～5 倍;新制订了棉红铃虫 *Pectinophora gossypiella*、棉叶螨 *Tetranychus* spp.、小麦条锈病、赤霉病、白粉病等多种病虫的防治指标[1,16]。从而用比较科学的指标取代了过去的经验指标,显著地减少了农药用量。同时在"六五"制定单虫、单病防治指标的基础上,"七五"以来从田间多种病虫同步发生、混合危害的实际情况出发,首次提出病虫复合危害动态防治指标的概念[24];根据不同生态区生产条件,按作物生育期研究了病虫复合危害与产量损失的关系,并结合作物对病虫危害的耐害补偿功能、天敌控害作用,计算和制定出小麦和棉花主要病虫害动态复合防治指标:小麦麦长管蚜和禾谷缢管蚜复合防治指标(河南)[25]、白粉病、麦蚜和黏虫复合防治指标(黄淮)[14];棉花二代棉铃虫和叶螨复合防治指标(黄河流域)、棉蚜和叶螨复合防治指标(河南)等[19],显著地提高了综合防治决策的科学性、准确性和综合度。同时在多元统计分析基础上组建了包含交互作用项的多病虫复合防治指标模型,经田间试验和示范区证明,这类复合防治指标比单对象防治指标更符合实际需要,这是我国在 IPM 领域的一个重大创新。

1.3.3　筛选和培育出一大批单抗或多抗病虫害的抗源材料及优良品种

小麦和棉花专题组分别制定了主要病虫害抗性的鉴定技术和评价标准,在查清病原菌生理小种、害虫生物型变异及其动态分布的基础上,开展大规模的单、兼或多抗病虫害作物品种材料的评价、筛选工作。从小麦和棉花品种资源中选出分别适用于不同生态区的一批抗源材料或品系,以及兼抗或多抗几种病虫的材料[5]。从这些抗源材料和品系中培育出多个分别适用于各主要生态区的高抗主流病菌小种(菌系)和/或主流害虫生物型的优良作物品种[26-27]。

1.3.4　发展了控害栽培技术,使之成为生态调控防治病虫害的一项重要措施

改革种植制度,合理的作物布局和品种布局,适当调整播期,科学施肥管水,可以有效改善农田生态环境,切断病虫繁殖田和桥梁田,并使天敌增殖,提高作物的抗害能力[7]。特别是加强对病虫害发源地的改造,有效地抑制了病虫发生;加强保健栽培,提高作物抗害能力。例如:棉田和夏玉米田的合理布

局还可以减轻四代棉铃虫对棉花的为害。作物间套作对一些病虫害有较好的控制作用。如小麦与油菜套作,可利用油菜蚜虫招引天敌控制小麦穗蚜,减免化学防治。小麦与棉花套作,麦田用选择性杀虫剂防治麦蚜和黏虫,保存的天敌可控制棉花苗蚜不用化学防治[15]。改造病虫害发源地。减少华南黏虫越冬虫源地寄主植物面积可减轻江淮一代黏虫的发生[6]。

1.3.5 合理协调生物防治和化学防治,增强天敌的自然控制力

通过开展害虫自然种群生命表研究,将害虫与天敌关系的田间系统调查和天敌控制能力的室内测定相结合,弄清了主要害虫天敌种类,分作物编写了害虫天敌名录,并研究了优势天敌的发生规律、功能反应和控害作用。同时在筛选出一批特异性强的新农药基础上,制定并实施了协调生物防治和化学防治、保护利用天敌的有效方法,取得很好效果。

小麦 IPM 攻关组在小麦穗期喷施高效选择性杀虫剂抗蚜威+灭幼脲 1 号防治麦蚜、黏虫不仅化学防治效果显著,并且对天敌杀伤作用小,麦田天敌在小麦成熟后还能转移到棉花等其他作物上继续发挥作用。在二代棉铃虫发生期,棉花有较强的补偿能力[28],但在此阶段棉茎顶尖生长点常受到棉铃虫的为害,使棉株不实而徒长造成严重减产[18]。为此,棉花 IPM 攻关组提出了"二代保顶为主"的策略[16]。试验证明这种策略的保顶及防止徒长效果显著,不仅节省用药和用工,还保护了大部分天敌,成为示范区防治二代棉铃虫的主要措施。

1.3.6 提高了重要病虫害的预测预报水平,经受住了重大病虫害相继暴发成灾的严峻考验

在深入研究重要病虫害灾变规律的基础上,组建出一批实用性相对较强的预测模型,预测预报技术取得实质性和突破性进展,在实践中特别是经受住了棉铃虫等重大病虫害相继暴发成灾的严峻考验,为综合防治决策提供了重要依据。

1992 年棉铃虫在我国近 400 万 hm^2 棉田特大发生,黄河流域和长江以北的发生量为常年的 20 倍以上,加上棉铃虫对常用农药已产生高抗药性,给防治带来很大困难,虽普遍大力防治,仍造成冀鲁豫 3 省交界区、陕西关中和晋南等重灾区棉花减产 50%以上和全国棉花总产减少 30%以上的惨重损失。棉花攻关组河南新乡 3 300 多 hm^2 的 IPM 示范区处在棉铃虫重灾区的中心地带,他们用自创的调查麦田一代棉铃虫发生期、发生量的方法,结合天气条件分析,准确地预测出二代棉铃虫将在棉田超常暴发,同时制定了正确的对策,显著提高了防治效果,将棉花的损失控制在 15%以下,皮棉单产仍保持在 1 050 kg/hm^2 以上,比周围非示范区增产 40%~60%,并节约了大量农药和防治成本,经济、生态效益显著[19,21]。

1.3.7 攻克了一批作物病虫害防治技术难关

由于始终找不到高抗黄萎病的棉花品种,以致在大流行年份,经常造成棉花严重减产。棉花 IPM 攻关组采用对两个耐病品系与无病单株的杂交后代进行连续重病圃选择,选育出 1 个抗黄萎病品系'BD18',经全国 6 年 27 次鉴定,平均病指为 11.65,其抗病性稳居首位,是当时国内陆地棉抗黄萎病性能最好的抗源新种质,8 省 16 个单位将其作为抗源培育当地抗黄萎病品种[27]。

20 世纪 80 年代初小麦吸浆虫在世界范围大幅度回升,我国虽连年采用大面积药剂处理土壤结合穗期喷药防治,吸浆虫发生面积仍逐年扩大,已超过 330 多万 hm^2,每年在局部地区造成严重损失[3]。小麦 IPM 攻关组通过研究吸浆虫种群动态规律及综合治理体系,找出了传统吸浆虫防治策略的主要漏洞,一是当前品种更替过程中忽略了抗吸浆虫良种的选育推广。二是药剂处理土壤不仅耗药量大于地上部喷施的几十倍,而且前茬为小麦的其他作物和套种田的土壤没有被处理,仍能羽化大量成虫飞到小麦穗上产卵造成严重为害。三是传统的穗期喷药防治,不能经常与小麦抽穗盛期,即小麦感染吸浆虫的敏感期吻合。所以,防治 2~3 次仍常出现防治失时及控制作用不佳。针对上述问题,在加强品种抗性机制研究和筛选抗虫良种的同时,在化学防治上提出以小麦 70%抽穗为防治阈限,只进行一次性穗部喷施低剂量高效杀虫剂的措施。经"七五""八五"分别在河南省南阳和修武县两个吸浆虫重发生区开展大面积防治示范,压低穗内虫口密度和增产作用十分明显,用药量和防治费用大大下降,麦粒和土中农药残留量明显低于国际允许标准,土内虫口密度逐年下降,两个示范区分别在 3 年后将虫量降至防治指标以下[29]。

通过研究麦田益害生物群落,明确麦田害虫和天敌在时间上有两个发生中心区域,可大体划分为

前发生型和后发生型。前发生型害虫发生高峰约在 3 月下旬到 4 月底,天敌比害虫滞后 1～2 周;后发生型害虫高峰约在 5 月中下旬,害虫与天敌基本同步,研究揭示了主要害虫与天敌的动态关系,初步查明黏虫与天敌,麦蚜与天敌之间的平衡点[30-31]。阐明了在防治策略上,对前发生型害虫尽量采用自然控制,慎用农药;对后发生型害虫,也要尽量选用选择性农药,保护天敌向后季作物转移[10]。

上述研究成果,使我国 IPM 在理论和实践上都有很大的发展和提高。与国外同类研究相比,我国的 IPM 技术体系的综合度高,更具有系统性、动态性和实用性。在组建以作物为中心,多病虫为对象的作物全生育期综合防治技术体系,多病虫动态复合防治指标和实施规模等方面处于国际领先地位。

2　推进我国主要粮棉作物多病虫复合群体综合防治技术体系的发展

2.1　多病虫复合群体综合防治技术体系的发展前景

根据我国国民经济发展的需要及农业生物灾害的反复性、长期性和突发性,为实现我国农业持续稳定发展的总目标,农作物生物灾害也将实现持续控制。因此,综合防治技术体系的研究和提高是必然的,其内涵也将随着农业生产的发展和科学技术的进步而逐步提高。从综合性和实用程度考虑,提出 21 世纪的主要方向:研究探索以生态区为单位对多种作物主要有害生物进行群体调控的综合防治技术体系,在技术措施上应逐步增强自然控制作用并相应地减少对化学农药的依赖,使我国农作物生物灾害防御的整体水平再提高到一个新的阶段。同时通过宏观和微观相结合的研究方法,改善农业生态系统的结构与功能,强化对有害生物监测、预测和灾情预警工作。在防治措施上要充分发挥人为增强的自然控制因子(抗性品种、天敌或生态调控)对有害生物的抑制作用,同时广泛利用包括化学防治在内的各种控制手段(环境友好的化学农药、微生物农药、植物性农药、辐射不育技术及化学、物理诱杀/驱除技术等),逐步压低化学农药的使用量,为当前我国实施绿色防控可持续发展奠定了一定基础。

考虑到植物保护学科发展趋势,为遏制病虫加重发生势头、减轻农业面源污染,保护农田生态环境,应提倡树立绿色、低碳、循环的现代生态农业发展理念,坚持走产出高效、产品安全、资源节约、环境友好的现代生态农业产业化发展道路。实施农药零增长行动,将促进农药产品向高效低毒、低残留、环境友好、人畜安全的方向转变;同时生物农药使用率明显增加,迅速扭转过度依赖化学农药的局面,并更加重视保护和利用天敌,实施物理防治、生物防治、生态调控等非化学防控技术的绿色防控措施,使绿色防控技术模式不断创新,在我国农作物有害生物防控实践中发挥关键的科技支撑作用,逐步实现农作物病虫害可持续治理,维护生态系统多样性,促进生产和生态协调发展[32]。

2.2　多病虫复合群体综合防治技术体系的发展目标

郭予元院士在 21 世纪初指出,未来 20 年我国植物保护工作将遵照农作物有害生物可持续控制发展策略。前 10 年,启动区域性灾害的综合治理基础研究,开展区域性有害生物生态背景与生物灾害形成关系研究。完善常规灾情监测技术,开展高新技术监测,发展环境相容性农药及使用技术,强化对外来有害生物的监控,发展数字化植保。后 10 年,实施区域性生物灾害的总体监管。进一步发展高新技术监测手段,实现灾情信息提取标准化、数字化、网络化、发展预警决策模型[33]。大力发展生物防控和环境协调的植保控灾手段,建立不同防治技术区域性生物灾害控制技术体系;完善对外来有害生物有效监测及控制体系。总体上扭转生物灾害造成损失和影响的被动局面,使控灾减灾形势实现总体好转,植保技术总体水平进入世界先进行列,以支撑农业生产的全面发展。并提出:实施区域性生物灾害可持续控制策略,研究具体农业生态系统结构,完善技术体系,建立示范区。加强生物灾害的监测预警体系,减少农药对环境的污染,走绿色植保之路。植物抗病虫性研究要有所突破,有效阻挡外来有害生物入侵。加快植保科技成果转化等发展目标。

为实现上述发展目标,郭予元院士认为,植物保护工作应继续贯彻有害生物综合防治(IPM)方针,并在可持续发展的思想指导下,以生态区为单位开展微观与宏观相结合的研究。不断开发综合、高效(防治效果、经济效益)、持久、安全的防治技术和技术体系。考虑到该学科特点和国外发展趋势,提出我国植物保护的“两个加强,两个重点和一个改进”,“两个加强”即加强有害生物监测、预警体系建设,加

强防范外来有害生物入侵体系建设;“两个重点”是植物持久抗性分子机制及其应用技术研究以及利用生物多样性控制有害生物危害的机制和生态调控技术研究;“一个改进”是指发展环境协调性农药,提高化学防治技术。并建议加强主要粮食作物对主要病害的寄主抗病性的分子机理、病原物侵染诱导性植物基因启动子的分离、调控元件解析与改良、主要农作物病原物小种变异的分子机理及其分子检测体系、植物对主要作物病害的非寄主抗性机制、农业外来入侵物种的预防与控制、环境相容性好的化学农药的研发和农作物重大病虫灾害监测预警技术等研究[7,33]。

综上所述,郭予元院士在我国主要粮棉多病虫复合群体综合防治领域的相关学术思想及重大贡献对我国农作物病虫害综合防治、可持续治理、绿色防控策略制定,以及植物保护学科未来的发展产生了深远的影响。

参考文献

[1] 郭予元. 我国农作物有害生物发生和防治研究概况[J]. 农药,1998,37(12):1-3.

[2] 郭予元. 切实加强对农作物重大病虫害灾变规律的研究[J]. 科学中国人,1995(5):21-22.

[3] 倪汉祥,丁红建,郭予元,等. 小麦红吸浆虫种群动态及综合治理技术体系[C]//节能环保和谐发展—2007 中国科协年会论文集(三). 2007:582-585.

[4] 戴小枫,叶志华,曹雅忠,等. 浅析我国农作物病虫草鼠害成灾特点与减灾对策[J]. 应用生态学报,1999,10(1):119-122.

[5] 郭予元. 我国 IPM 研究进展回顾及对 21 世纪初发展目标的设想[J]. 植物保护,1998,24(1):35-38.

[6] 郭予元. 我国农作物病虫害生态调控实例分析[J]. 植物保护,2006,32(2):1-4.

[7] 郭予元. 21 世纪我国植物保护策略和技术的发展趋势[J]. 安徽科技,2002(7):4-7.

[8] 戴小枫,郭予元. 农作物病虫害复合经济阈值及其研究方法[C]//青年生态学者论丛(二)昆虫生态学研究. 北京:中国科学技术出版社,1991:61-68.

[9] 倪汉祥,商鸿生. 小麦主要病虫害及其综防技术研究 5 年来取得显著进展[J]. 植物保护,1996,22(4):37-39.

[10] 李光博,郭予元,倪汉祥,等. 小麦病虫草鼠害防治技术[M]. 北京:农业出版社,1991.

[11] 张广学. 西北农林蚜虫志[M]. 北京:中国环境科学出版社,1999:429-433.

[12] 齐阁瑾,郭予元. 影响小麦吸浆虫发生程度的因子分析[J]. 植物保护,1987(2):22-24.

[13] 倪汉祥,何连生,曹雅忠,等. 药剂混用防治多种小麦病虫害的初步研究[J]. 中国农业科学,1989,22(2):1-6.

[14] 郭予元,刘孝坤. 河南南阳县小麦病虫害综合防治体系组建情况[J]. 植保参考,1988(8):2-4.

[15] 戴小枫,陈其英,郭予元,等. 棉田有害生物治理的生态调控研究—组建棉花主要病虫害综合防治技术体系[C]//青年生态学者论丛(二)昆虫生态学研究. 北京:中国科学技术出版社,1991:203-208.

[16] 郭予元,王武刚,王荷. 棉铃虫对棉花的危害和防治指标研究[J]. 植物保护学报,1985,12(4):47-54.

[17] 郭予元. 我国棉铃虫综合防治技术研究取得显著成效[J]. 中国农学通报,1994,10(2):31-32.

[18] 戴小枫,郭予元,王武刚. 综合防治棉铃虫的区域性技术体系研究[J]. 灾害学,1996,11(2):41-46.

[19] 戴小枫,郭予元. 我国棉花主要病虫害综合防治技术研究的方向与对策[J]. 灾害学,1997,12(2):82-86.

[20] 戴小枫,李世友,郭予元. 棉铃虫自然种群生命表研究[J]. 植物保护学报,1991,18(3):199-206.

[21] 戴小枫,郭予元. 我国棉花主要病虫害综合防治技术研究进展[J]. 植物保护,1996,22(6):32-34.

[22] 戴小枫,郭予元. 我国棉花主要病虫害综防技术现状与展望[J]. 中国棉花,1999,26(2):4-7.

[23] 郭予元,梁革梅. 新乡示范区控制棉铃虫猖獗危害配套关键技术研究回顾与展望[J]. 中国农业科学,2007,40(S1):193-198.

[24] 吴孔明,郭予元. 我国 20 世纪棉花害虫研究的主要成就及展望[J]. 昆虫知识,2000,37(1):45-49.

[25] 郭予元,曹雅忠,李世功,等. 麦蚜混合种群对小麦穗期的危害和动态防治指标初步研究[J]. 植物保护,1988,14(3):2-5.

[26] 郭予元. 我国近年植保研究工作的重大进展[J]. 植物保护,2004,30(2):7-13.

[27] 孙文姬,简桂良,马存. 抗黄萎病棉花新种质 BD18 [J]. 植物保护,1998,24(3):34-35.

[28] 郭予元. 棉铃虫综合防治技术研究进展[J]. 农村实用工程技术,1995(4):13.

[29] 倪汉祥,丁红建,郭予元,等. 小麦红吸浆虫种群动态及综合治理技术体系成果研究回顾与展望[C]//植物保护科技创新与发展—中国植物保护学会 2008 年学术年会论文集. 2008:57-63.

[30] 倪汉祥,何连生,程登发,等. 粘虫与天敌关系的研究[C]//北京昆虫学会成立四十周年学术讨论会论文摘要汇编. 1990:104-105.

[31] 何连生,倪汉祥,李光博,等. 麦田主要害虫及天敌群落的排序研究[C]//北京昆虫学会成立四十周年学术讨论会论文摘要汇编. 1990:147.

[32] 中国植物保护学会. 2016—2017 植物保护学学科发展报告-综合报告“植物保护学学科发展研究”[M]. 北京:中国科学技术出版社,2018:3-4.

[33] 郭予元,周益林,段霞瑜. 国际植物保护研究的发展现状与感思—第 15 届国际植物保护大会学术交流回顾[J]. 植物保护学报,2004,31(4):337-341.

(责任编辑:杨明丽)