

近年我国农田杂草防控中的突出问题与治理对策

李香菊

(中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193)

摘要 我国田间杂草有 1 400 多种, 严重危害的 130 余种, 恶性杂草 37 种。我国杂草发生面积约 9 246.7 万 hm^2 次, 防治面积 1.04 亿 hm^2 次, 挽回粮食损失 2 699 万 t, 每年主粮作物仍有近 300 万 t 产量损失。杂草防控中的突出问题是: 杂草群落演替, 难治杂草种群增加; 除草剂单一使用, 杂草抗药性发展迅速; 除草剂对作物药害频发, 影响种植结构调整; 新除草剂创制能力不足, 难以满足不同作物田除草需求; 农村劳动力短缺, 杂草防控更依赖于化学防治。解决上述问题, 应实施以下对策: 加强杂草发生危害的监测预警, 科学轮换使用除草剂, 推广除草剂减量与替代技术, 加快新除草剂研制及推广应用, 加速耐除草剂作物商业化进程, 推进统防统治及农民培训。

关键词 杂草防控; 问题; 对策

中图分类号: S 451.1 文献标识码: A DOI: 10.16688/j.zwbh.2018322

Main problems and management strategies of weeds in agricultural fields in China in recent years

LI Xiangju

(Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract There are more than 1 400 weed species in China, among which 130 are serious weeds and 37 are worst weeds. In spite of the progress made in weed management, a yield loss of nearly 3 million tons was caused by weeds in main crops each year in the whole country. In recent years, the shifts of weed community, evolution of herbicide-resistant weeds, injuries of crops by the unsuitable use of herbicides, lack of herbicides with new modes of action in different crops and the overreliance on the use of herbicides in weed control for the labor shortages have become prevalent and challenging in China. In this review, we provide an overview of several key aspects in resolving the problems in weed management, including the precise prediction of weed community changes and yield loss, shifting the use of herbicides, reducing the use of herbicides with drift damages or long persistence and minimizing herbicide dosages, more funding in the research of herbicides with new modes of action, developing and commercializing herbicide tolerant crops, specialized organizations in herbicide application and farmer training.

Key words weed management; problem; strategy

杂草干扰目的作物生长, 降低作物产量和品质, 恶化环境, 污染农产品, 传播病虫害, 阻碍机械播种及收获, 增加农业投入, 是影响农作物丰产增收的重要生物因子之一。近年, 耕作制度变化、种植结构调整、农村劳动力缺乏、除草剂不合理使用等原因, 导致我国农田杂草发生程度加重、群落演替加快, 难治杂草种群凸显, 杂草抗药性发展迅速、作物药害发生频繁, 增加了杂草可持续治理难度。未来, 应以杂草区域治理为核心, 实施分区域、分作物杂草综合治理策略, 重视杂草群落演替的监测预警, 实行除草剂轮

换使用, 加强化学除草剂替代措施及减量使用技术研究, 创制自主知识产权的新产品; 推进耐除草剂作物商业化, 开展专业化统防统治和农民培训。

1 我国杂草发生与防控现状

1.1 我国杂草发生概述

我国田间杂草有 1 454 种(含亚种、变种、变型), 严重危害的 130 余种^[1], 分为 5 区、8 亚区杂草植被类型^[2], 其中恶性杂草 37 种(表 1), 区域性恶性杂草 96 种。

收稿日期: 2018-07-21 修订日期: 2018-08-29

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFD0300701)

* 通信作者 E-mail: xjli@ippcaas.cn

表 1 中国农田恶性杂草一览表^[2]

Table 1 The 37 worst weed species in China

中文名 Chinese name	学名 Scientific name	科名 Family name	分布 Distribution
喜旱莲子草	<i>Alternanthera philoxeroides</i>	苋科	华北、华东、中南、西南
牛繁缕	<i>Myosoton aquaticum</i>	石竹科	华北、华东、中南、西南
藜	<i>Chenopodium album</i>	藜科	全国
刺儿菜	<i>Cirsium setosum</i>	菊科	全国
鳢肠	<i>Eclipta prostrata</i>	菊科	全国
泥胡菜	<i>Hemistepta lyrata</i>	菊科	全国
打碗花	<i>Calystegia hederacea</i>	旋花科	全国
芥菜	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	十字花科	全国
播娘蒿	<i>Descurainia sophia</i>	十字花科	东北、华北、西北、西南
铁苋菜	<i>Acalypha australis</i>	大戟科	几遍及全国
大巢菜	<i>Vicia sativa</i>	豆科	华北、西北、长江流域
节节菜	<i>Rotala indica</i>	千屈菜科	长江流域及其以南地区
篇蓄	<i>Polygonum aviculare</i>	蓼科	全国
酸模叶蓼	<i>Polygonum lapathi folium</i>	蓼科	几遍及全国
马齿苋	<i>Portulaca oleracea</i>	马齿苋科	全国
猪殃殃	<i>Galium aparine</i>	茜草科	华北、西北、长江流域、华南、西南
矮慈姑	<i>Sagittaria pygmaea</i>	泽泻科	华北、长江流域、华南、西南
异型莎草	<i>Cyperus difformis</i>	莎草科	几遍及全国
碎米莎草	<i>Cyperus iria</i>	莎草科	全国
香附子	<i>Cyperus rotundus</i>	莎草科	全国
牛毛毡	<i>Heleocharis yokoscensis</i>	莎草科	全国
水莎草	<i>Juncellus serotinus</i>	莎草科	几遍及全国
扁秆蔗草	<i>Schoenoplectus planiculmis</i>	莎草科	几遍及全国、中南地区除外
看麦娘	<i>Alopecurus aequalis</i>	禾本科	秦岭淮河一线以及以南地区
野燕麦	<i>Avena fatua</i>	禾本科	除华南外几遍及全国
茵草	<i>Beckmannia syzigachne</i>	禾本科	全国
毛马唐	<i>Digitaria ciliaris</i> var. <i>chrysoblephara</i>	禾本科	华北、华东、西南、华南
马唐	<i>Digitaria sanguinalis</i>	禾本科	全国
稗	<i>Echinochloa crusgalli</i>	禾本科	全国
无芒稗	<i>Echinochloa crusgalli</i> var. <i>mitis</i>	禾本科	全国
旱稗	<i>Echinochloa hispidula</i>	禾本科	东北、华北、华东、西南
牛筋草	<i>Eleusine indica</i>	禾本科	全国
白茅	<i>Imperata cylindrica</i>	禾本科	全国
千金子	<i>Leptochloa chinensis</i>	禾本科	华北、长江流域
狗尾草	<i>Setaria viridis</i>	禾本科	全国
鸭舌草	<i>Monochoria vaginalis</i>	雨久花科	除新疆外遍及全国
眼子菜	<i>Potamogeton distinctus</i>	眼子菜科	除华南外遍及全国

受生态条件、作物种类、种植制度及土壤类型等因素影响,我国杂草发生分布呈现以下特点:1)优势杂草种类有明显区域性。我国幅员辽阔,不同地区气候差异是杂草种群差异化的主要原因。东北湿润气候区,气候冷凉,土地肥沃,春季干旱,河流较多,夏季降雨基本能满足作物需要,杂草种群以耐寒、喜肥水杂草如藜、西伯利亚蓼、苘麻、水棘针、问荆、稗、稻稗、狗尾草等占优势。华北暖温带气候区分布的杂草优势种群为播娘蒿、芥菜、马唐、牛筋草、反枝苋、马齿苋、苘麻、藜等。西北地区冬季寒冷,夏季炎热,春秋多风,气候干燥,昼夜温差大,以喜冷凉、耐

旱、抗寒、耐瘠薄的杂草种群为主,如野燕麦、雀麦、大刺儿菜、卷茎蓼、香薷、薄蒴草、微孔草、细果角茴香等。长江流域气候温暖湿润,热量资源丰富,水浇条件好,看麦娘、日本看麦娘、茵草、硬草、大巢菜、牛繁缕、青苋、鳢肠、铁苋菜、通泉草、稗、千金子等为优势种群。华南热带和南亚热带地区冬季气候温暖,降雨丰沛,优势杂草种群中藿香蓟、叶下珠、飞扬草、黄花稔、马唐、牛筋草、稗、千金子、双穗雀稗、异型莎草、碎米莎草等大部分为喜温杂草^[3]。2)同一生态类型区内杂草种类呈现季节性、局部地域性差异。如华北地区小麦田多为越年生和早春性杂草播

娘蒿、芥菜、藜等,秋熟作物田为马唐、牛筋草、反枝苋、马齿苋等喜温杂草。海拔、土壤肥力、酸碱度等对杂草局部地域性分布有影响。3)不同作物与其特定伴生杂草组成复合群落。伴生种与作物占据相同生态位,对作物形成生态干扰。如稗、杂草稻广布全国稻田^[4],节节麦与小麦伴生形成全生育期危害^[5]。4)杂草发生程度受耕作制度及栽培措施影响。免耕、少耕等轻型栽培技术使土壤表层种子大量萌发,而深层种子休眠,增加治理难度;水-旱轮作田秋季、春季茵草、硬草、大巢菜等发生程度重,而上述杂草在旱-旱轮作田少有发生。作物秸秆覆盖对杂草种群及发生程度有一定影响^[6-7]。5)除草剂使用的差异增加杂草发生的复杂性^[8]。

1.2 我国杂草防控

资料报道,我国每年投入 235 亿元防治费用的情况下,杂草仍造成我国粮食直接经济损失近千亿元^[9]。据全国农业技术推广服务中心统计,2017 年我国杂草发生面积 9 246.7 万 hm^2 次。防治面积 1.04 亿 hm^2 次,挽回粮食损失 2 699 万 t,主粮作物仍有近 300 万 t/年产量损失。我国是一个传统农业大国,精耕细作、当午锄禾曾是有农耕史以来以家庭为单位的小农经济的主要除草方式。1956 年,黑龙江农垦开始在春小麦田试验 2,4-D 丁酯除草;1967 年全国农垦系统化学除草面积 20.67 万 hm^2 ;20 世纪 80 年代,乙草胺、莠去津等除草剂国产化并大面积推广应用,引导了耕作制度变革,国营农场首先实现了玉米免中耕^[10]。90 年代初超高效除草剂苯磺隆、吡嘧磺隆、苄嘧磺隆等除草剂的使用,每 667 m^2 有效成分降到 1 g 左右,进一步减轻了环境、生态和生物的压力,标志着除草剂进入了高效、低风险阶段。

除草剂的使用,改变了靠人工、畜力和机械除草的作业习惯,以其快速、高效、低成本深受广大农户欢迎。近年,随着城镇化进程的加快,农村劳动力转移带来用工成本增加,化学除草在维持作物稳产的同时,也成为改善农民生活质量的一项技术保障,除草剂使用量逐年递增。2016 年,我国除草剂销售额 19.72 亿美元,占农药销售额的 40.9%,超过杀虫剂、杀菌剂,居农药销售之首^[11]。随着化学工业的发展、自主研发能力增强和农民需求的增加,我国杂草防控进入了以除草剂为主体的时代,主要作物玉米、水稻、小麦、大豆田化学除草面积率达 100%,马铃薯田化学除草面积率在 95%以上。目前,化学除

草已经与良种选用、配方施肥、农机化作业等共同成为现代农业产业中必不可少的技术环节。

2 我国农田杂草防控中的突出问题

2.1 杂草群落演替,难治杂草种群增加

耕作栽培制度改变、杂草防控技术及产品缺乏、农村劳动力不足等原因,导致我国主要作物田杂草种群发生变化。表现为杂草区系种类多样化和杂草群落结构复杂化,使难治杂草种群密度增加。我国 20 世纪 80 年代杂草普查结果显示,稻田出现频率较高的杂草为稗、异型莎草、水龙、圆叶节节菜、节节菜、尖瓣花、鸭舌草、水苋菜、瓜皮草、扁秆蔗草、野慈姑、眼子菜等^[10]。本世纪初开始,水稻轻型栽培面积逐渐扩大,如江苏、安徽、浙江等水稻主产区目前直播稻面积占水稻种植面积 30%以上^[12-13]。水稻直播栽培环境下,杂草群落结构发生变化,除了上述杂草种类外,马唐、牛筋草、稻李氏禾等过去多在田埂发生的喜湿杂草侵入稻田,危害逐年加重^[14]。千金子、杂草稻由过去的次要杂草变成优势杂草,其危害仅次于稗草^[15]。浙江省海宁市调查,直播稻田千金子占稻田禾本科杂草的比例由 20 世纪 90 年代的 25%上升至 84.2%~95.6%。千金子密度为 4~50 株/ m^2 ,水稻减产 16.3%~88.7%^[16-18]。水稻轻型栽培致杂草稻发生严重。据联合国粮农组织估计,杂草稻已经成为世界稻田的三大草害之一,其危害仅次于稗草、千金子^[19]。梁帝允等调查,杂草稻已蔓延至全国 25 个省(区、市),年发生面积 333 万 hm^2 ,水稻减产 10%~50%,发生严重田块减产 60%~80%,全国水稻年减产 34 亿 kg ^[4]。我国麦田 20 世纪杂草普查,日本看麦娘、茵草、硬草、野老鹳草等均轻度发生杂草^[20],近年上述杂草在长江流域发生密度增加。过去偶发的大穗看麦娘、节节麦、麦家公近年在黄淮流域危害加重。尤其是恶性杂草节节麦已经蔓延至我国河北、山东、河南、陕西、山西、江苏、湖北等 10 多个小麦主产省^[5],发生严重的田块小麦减产 20%~35%^[21]。1988 年唐洪元等对北方玉米田杂草进行调查发现,马唐、稗、龙葵、豨莶、铁苋菜、狗尾草、葎草、苍耳、叉分蓼等组成马唐+稗+反枝苋;龙葵+稗+马唐;铁苋菜+马唐+稗;豨莶+马唐+稗等优势群落,其他杂草对玉米危害较轻^[22]。2010 年后,该区域鸭跖草、刺儿菜、大刺儿菜、苣荬菜、问荆、田旋花、萝藦、野黍、糠稷等密度增加,危害

逐年加重。另外,外来入侵杂草如东北地区的蒺藜草、华北地区的黄顶菊、南方省份的空心莲子草、薇甘菊均侵入农田,有的成为难治杂草。目前,生产上防治千金子、杂草稻、节节麦、鸭跖草、苣荬菜、刺儿菜等杂草的选择性除草剂缺乏,对其他新上升为优势杂草的种群如稻田马唐、牛筋草,麦田野老鹳草、麦家公,玉米田野黍、糠稷、萝藦等也鲜有选择性药剂。

2.2 除草剂单一使用,杂草抗药性发展迅速

单一使用作用机制相同的除草剂,加速了杂草抗药性发展,以前能被除草剂推荐剂量(登记剂量)杀死的杂草种(敏感种)对除草剂推荐剂量不再敏感。抗药性杂草不仅造成作物减产,也是除草剂超量使用的原因之一。

目前全球有 255 种杂草的 495 个生物型对 163 种除草剂产生抗性^[23]。我国 20 世纪 90 年代以前少有杂草抗性报道。1990 年,苏少泉和唐洪元分别发现了日本看麦娘和反枝苋对绿麦隆和莠去津的抗性^[23]。进入本世纪,我国杂草抗性报道逐渐增加,目前发现 26 种杂草的 44 个生物型对光系统 I、光系统 II、有机磷类、合成激素类、PPO 类、ALS 类和 ACCase 类除草剂产生抗性,抗性杂草数量居世界第 6 位^[23](表 2)。抗性杂草主要发生在小麦和水稻田的 ALS(乙酰乳酸合成酶)抑制剂和 ACCase(乙酰辅酶 A 羧化酶)抑制剂两类药剂,类型以靶标抗性为主。中国农业科学院植物保护研究所对麦田主要阔叶杂草的苯磺隆抗性监测得出,播娘蒿、芥菜、麦瓶草、猪殃殃抗性种群检出率分别为 24.9%、18.8%、12.5% 和 6.5%。播娘蒿是北方麦田主要杂草,目

前对苯磺隆抗性严重。崔海兰等首次报道了我国小麦田播娘蒿种群对苯磺隆抗性是由于其相对于拟南芥的第 197 位脯氨酸突变所致,其种群抗性指数(Ri)达 723~1 422^[24];此后,相继发现麦田芥菜、猪殃殃、麦家公等阔叶杂草对 ALS 抑制剂产生抗性,抗性种群主要分布在河北、陕西、山西、山东等省^[25]。董立尧等发现,麦田禾本科杂草看麦娘和日本看麦娘对 ACCase 类除草剂抗性严重,并已产生多抗和交互抗性;茵草对甲基二磺隆产生抗性^[26-31]。水稻田杂草对吡嘧磺隆、苄嘧磺隆、五氟磺草胺等 ALS 抑制剂和二氯喹啉酸产生抗性。付丹妮等发现,东北地区稻田杂草野慈姑对苄嘧磺隆、双草醚、五氟磺草胺、嘧啶肟草醚等 ALS 抑制剂产生多抗性^[32];雨久花对苄嘧磺隆产生抗性^[33]。马国兰等报道,长江中下游稻区稗草对二氯喹啉酸产生不同程度抗性,其中,湖南省益阳县和望城县的稗草抗性生物型抗性指数(Ri)分别为敏感生物型的 21.8 倍和 32.3 倍^[34]。董立尧等报道,浙江、江苏、湖北等地千金子对氰氟草酯高抗和对环己烯酮类以外的 ACCase 抑制剂类除草剂产生交互抗性;安徽、江苏、浙江、上海、湖南等地稗草对五氟磺草胺产生抗性,并对吡嘧磺隆、双草醚、嘧啶肟草醚等 ALS 抑制剂具有交互抗性;稗、西来稗对二氯喹啉酸抗性严重;浙江杭州地区耳叶水苋对苄嘧磺隆产生中至高水平抗性。高陆思等发现异型莎草对吡嘧磺隆、五氟磺草胺产生交互抗性^[35]。生产上,为了防治抗性杂草,农民随意加大除草剂用量,不仅增加了成本,对环境、生态及后茬作物安全也带来了不利影响。

表 2 不同国家抗药性杂草生物型数量¹⁾

Table 2 Numbers of resistant weed biotypes in different countries

国家 Country	抗性杂草生物型数量 Number of resistant weed biotypes	A	B	C1	C2	D	G	K1	O	其他 Others
中国 China	44	8	16	1	2	5	2	0	5	5
巴西 Brazil	48	7	19	4	1	1	8	0	3	5
法国 France	50	6	18	22	1	0	2	0	1	0
加拿大 Canada	68	4	25	13	3	3	6	1	6	7
澳大利亚 Australia	90	12	26	8	0	10	16	3	4	11
美国 America	161	15	52	26	11	6	17	6	9	19

1) A: 乙酰辅酶 A 羧化酶抑制剂; B: 乙酰乳酸合成酶抑制剂; C: 光系统 II 抑制剂; D: 光系统 I 电子传递抑制剂; G: 5-烯醇丙酮酰莽草酸合成酶抑制剂; K: 微管组装抑制剂; O: 合成激素类。

A: Acetyl CoA carboxylase (ACCcase) inhibitor; B: Acetolactate synthase (ALS) inhibitor; C: Photosystem II inhibitor; D: Photosystem I electron diverter; G: EPSP synthase inhibitor; K: Microtubule inhibitor; O: Synthetic auxin.

2.3 除草剂对作物药害频发,影响种植结构调整

除草剂药害是作物对除草剂的一种敏感性反

应,当作物所接受的除草剂剂量超过了其所耐受的范围,就会出现药害。除草剂使用方法不当、除草剂

和作物本身的因素及环境条件异常等,可造成“目标”作物、邻近作物或下茬作物生长受到伤害。其症状包括:畸形、褪绿、坏死、落叶、矮化、生育期延迟、产量降低等^[36]。近几年,除草剂造成作物药害的事件屡屡发生。如北方玉米种植区莠去津、咪唑啉酮类残留药害,南方水稻种植区二氯喹啉酸、磺酰脲类、咪唑啉酮类除草剂土壤残留药害,南北方麦类、玉米种植区 2,4-D 丁酯漂移药害等^[37]。其中,漂移药害及土壤残留药害对农业生产影响严重。据农业部药检所统计,2014 年,2,4-滴丁酯发生漂移药害 14 起,涉及面积 582.5 hm²。

除草剂土壤残留药害影响下茬作物安全生产,成为部分地区种植结构调整的瓶颈。磺酰脲类、咪唑啉酮类、二氯喹啉酸、氟磺胺草醚酸、莠去津等除草剂土壤残留期较长,后茬敏感作物药害频发。如氯磺隆、甲磺隆曾经对后茬大豆、花生、棉花、油菜等作物产生过严重药害。基于磺酰脲类长残留除草剂药害频繁,农业部规定,自 2015 年 12 月 31 日起,禁止甲磺隆单剂产品和氯磺隆在国内销售和使用。莠去津为三氮苯类除草剂,是我国玉米田使用量最大的除草剂之一。但该药残留期受土壤类型、有机质含量、降雨量及土壤湿度等影响较大。我国东北地区有机质含量高、干旱少雨、低温,导致其降解缓慢,残留期长达 18 个月以上,长期连年施用,进一步加剧了其在土壤中的残留累积。尤其是东北四省区土壤中莠去津残留超标现象普遍,只能连作玉米,难以轮作换种其他作物,限制了种植结构调整。近年来,东北地区生产中玉米田莠去津残留影响下茬敏感作物生长的案例时有发生,部分地区轮作大豆、马铃薯、瓜类、蔬菜等作物,均出现不同程度的药害。如内蒙古地区玉米田莠去津除草后茬甜菜大面积药害,影响生长和产量;黑龙江肇州县玉米田使用莠去津后茬西瓜出现药害,减产 30% 以上;辽宁省抚顺市玉米田使用莠去津后茬 80 hm² 香瓜出现药害,减产 50% 以上。最近几年部分省份种植耐咪唑啉酮类水稻,至后茬菠菜、油菜、甜瓜等敏感作物受害,稻田排水还会致周边敏感作物受害。药害影响了产业发展,也为农村和谐发展带来了隐患。

2.4 除草剂创制能力不足,难以满足不同作物田除草需求

至 2017 年,我国登记的除草剂有效成分 225 种,登记产品 9 248 个^[38]。2017 年除草剂产品登记

数量占农药登记数量的 36.5%,超过杀虫剂、杀菌剂和植物生长调节剂。登记的除草剂品种多具备了高效、低风险的特点,基本能满足主粮作物田化学除草的需要,但在小作物田尚缺乏适宜除草剂产品,如谷子、小豆、绿豆、向日葵、蔬菜、西瓜、甜瓜、牧草、药材等农田少有除草剂登记。上述除草剂品种中,多是国外已经过专利保护期的仿制产品,而属于我国自主研发创制的新化学结构及新有效成分很少,到目前为止仅 9 个品种登记,包括单啞磺隆、单啞磺酯、丙酯草醚、异丙酯草醚、甲硫啞磺隆、氯酰草膦、双甲胺草膦等^[39]。我国自主研发的上述药剂在推动农田化学除草中起到了一定作用,但其活性、杀草谱、安全性方面均存在一定弊端,难以大面积应用。

2.5 农村劳动力短缺,杂草防控更依赖于化学防治

目前我国农村青壮年外出务工人员逐年增加,农业劳动力存在缺口高达 1.78 亿人^[40],农村主粮作物田鲜有人工除草;另外,由老人和妇女构成的劳动主体,导致农村劳动力文化素质下降^[41],对新知识接受程度较差。上述情况决定了我国现阶段粮食生产需要简单易行的种植技术,趋势向着简单化、机械化、低成本方向发展^[42],而化学除草为简约化栽培提供了技术支撑。同时,由于除草剂的快速、高效、低成本,农民对除草剂的依赖性也越来越强,重视以化学除草为主体的控草体系常常会忽略其他耗时费工的除草措施的投入,不利于开展物理措施、农作措施、生态措施、机械措施等综合控草。

依赖化学除草的弊端逐渐凸显。一是施药区内植物多样性降低。如水稻田由于长期连年使用磺酰脲类除草剂部分阔叶杂草眼子菜、苦草、浮萍等密度大大降低。二是除草剂的超量投入带来了环境污染。如连年大量使用莠去津,造成严重的农田和水体污染。洋河流域和官厅水库中曾检出莠去津及其降解产物超出地表水 0.003 mg/L 的标准,对人畜造成潜在影响。三是广泛应用灭生性传导性除草剂杀除植物根部后导致田埂、山坡水土流失、生态破坏。

3 我国农田杂草治理策略

3.1 加强杂草发生危害的监测预警

进入 21 世纪以来,受全球气候变化、耕作制度变革和农产品贸易激增等因素影响,我国农作物重大有害生物呈持续重发态势,对农业生产的稳定发展和国家粮食安全构成严重威胁。2009 年,全国因

病、虫、草、鼠害造成粮食、棉花、油料、果树、蔬菜的产量损失分别高达 210.29 亿 kg、4.80 亿 kg、8.81 亿 kg、38.95 亿 kg 和 105.39 亿 kg，直接经济损失超过 1 000 亿元人民币^[43]。提高杂草发生危害监测预警能力，是绿色精准控草关键技术研发的基础，预报的准确性和时效性，对制定科学防控决策，适时防治，提高防效，减少产量损失有重要意义。

20 世纪 80 年代，农业部组建由中国农业科学院植物保护研究所所牵头的全国农田杂草考察组，调研水稻、小麦、玉米等五大作物田杂草种类、发生与危害，取得全国性基础数据，对构建杂草治理体系发挥了重要作用。此后的 20 年间，杂草种群发生了明显变化，但由于未及时进行调查、监测，导致此项数据缺失，影响了重大草害预防及应急控制。例如杂草稻的全国性危害，节节麦的快速蔓延均与监测预警不及时有关。因此，国家应设立杂草基础数据调研专项，开展全国性农田杂草普查，在不同生态类型区建立长期定位监测站，监测杂草发生动态、群落结构变化及对作物产量损失，构建杂草信息化预测预报系统。

全国普发性和区域性难治杂草逐年增加，对作物产量损失严重。应加强难治杂草生物学研究，如千金子、杂草稻、节节麦、鸭跖草、苣荬菜、刺儿菜、野老鹳草、麦家公、野黍、糠稷、萝藦等缺乏选择性除草剂，通过研究其生物学特性，找出生活史链条的薄弱环节，有助于制定科学的防治策略。

杂草抗药性是除草剂超量使用的原因之一。加强抗药性杂草发生范围、发展动态、危害程度监测及抗性机理研究，完善杂草抗药性风险评估体系，有助于精准选择除草剂种类和防治时期，提高防治效果，也有助于延长优质除草剂的生命周期。

3.2 科学轮换使用除草剂

连年使用同一种作用机理的除草剂，导致杂草抗药性发展，如果杂草失去了这种选择压，而改用另外一种作用机理的除草剂，抗药性杂草就会被有效杀除。不同作用机理的除草剂轮换使用，为杂草抗药性治理提供了有效和可持续的办法，确保了任一作用机理的除草剂对杂草的选择压最小化，不但能够有效防治已有抗药性杂草，对延缓整个田间杂草群体抗药性发展也有很好的作用。

除草剂轮换和交替使用需采用作用机制不同的一种或几种除草剂轮换。如小麦田连年使用 B 组（乙酰乳酸合成酶抑制剂）除草剂苯磺隆防除阔叶杂

草造成田间抗该类药剂杂草播娘蒿、芥菜密度增加，通过与 O 组（苯氧羧酸类）除草剂 2,4-D 的轮换使用或与 C₃ 组（苯腈类）除草剂溴苯腈的交替使用能有效地防止上述杂草抗性种群发展。而同一作用机理的除草剂往往具有较强的交互抗性，轮换使用相同作用机理的除草剂，没有减低药剂对杂草的单一选择压，对预防和减缓杂草抗药性效果不大。

除草剂的交替轮换使用不是只在一块农田内，而是要在当地农业技术部门的指导下，有计划地在—一个大的县域、市域范围内对使用的除草剂进行轮换。在多熟制地区，除草剂的交替轮换使用还包括了上下茬作物避免使用同种作用机理的除草剂。

种植结构调整，不同作物轮换种植，有利于轮换使用不同作用机理的除草剂^[44]。

3.3 除草剂减量与替代技术

除草剂减量使用，能有效降低环境和生态风险。减量措施包括：高风险除草剂品种替代、选择适宜防治时期、施药时添加助剂、利用优质高效喷药机械等。

发展化学除草替代技术，因地制宜地推广生态控草、生物除草、机械除草等绿色控草技术。在果园、茶园、林地等推广行间种植优质牧草或绿肥，以草控草^[45]；蔬菜田、保护地推广精耕细作辅以薄膜覆盖防草技术；东北玉米、大豆等旱作物田采用“三铲三趟”，机械防治行间杂草；西北旱作区推广薄膜覆盖物理控草技术^[46]；华北小麦玉米两熟区采用小麦秸秆覆盖控草，长江流域水稻小麦轮作区推广稻草覆盖、草籽打捞、机械碾碎等洁净控草技术；利用水稻化感品种控草^[47]；推行粮饲间作、轮作倒茬等有利于除草剂轮换、交替使用的种植模式。并将上述技术与减量使用除草剂相结合，以保证控草效果。

3.4 新除草剂研制及推广应用

据估算，开发一个新的农用化学品平均耗资超过 2.56 亿美元，开发周期超过 9 年，每个新产品需进行 120 多个试验以确保其安全性和药效。近年来虽然我国农药行业加大了科研开发投入，依托现有国内农药科研力量创造出一批具有自主知识产权的农药品种，但与跨国公司相比，国内农药企业投入较少，自主创新水平较低。如 2015 年，先正达、拜耳、巴斯夫、陶氏益农和杜邦公司的农药研发费用占其销售额的权重分别为 6.7%、6.5%、8.8%、6.4% 和 8.7%^[48]，而国内大多数农药企业的研发投入占销售收入的比例仅为 1%。跨国公司新研发的产品

中如陶氏益农公司的氟氟草酯、五氟磺草胺、氯氟吡啶酯、氟氯吡啶酯、氯氨吡啶酸等除草剂,拜耳公司吡氟醚草胺、甲基二磺隆及氟噻·吡啶·吡·噻酮·异噻唑等,巴斯夫公司的苯唑草酮、苯磺草胺;先正达公司的硝磺草酮、唑啉草酯及富美实公司噻唑草胺等在国内主粮作物、非耕地等推广应用,凭借研发和专利优势占领了大多数新药市场;而我国新创制的除草剂品种市场占有率远远低于上述跨国公司。

因此,国内企业应注重原创性研究,尤其是重视针对不同区域、不同作物田难治杂草和抗药性杂草研发高效、安全解决方案。国家也应加大资金投入,并为企业研发的优良除草剂推广提供政策和资金支持。

3.5 耐除草剂作物纳入杂草治理体系

2017年全球转基因作物种植面积达1.898亿 hm^2 ,美国、巴西、阿根廷、加拿大和巴拉圭分别占全球转基因作物种植面积的40%、26%、12%、7%和3%。在转基因作物中,耐除草剂大豆和玉米种植面积最大。如美国耐除草剂大豆和玉米(含耐除草剂复合性状)分别占转基因大豆和转基因玉米种植面积的100%和96.7%^[49],其中,主要耐受除草剂为草甘膦、草铵膦及与2,4-D、麦草畏等的复合性状。

耐草甘膦、草铵膦作物的种植能够使非选择性除草剂应用于作物田,在扩大杀草谱、提高防效、拓宽施药期、避免环境对药效影响、保证后茬作物安全等诸多方面占有优势^[50]。将耐除草剂作物纳入杂草治理体系,一是能解决我国北方春旱、多风、缺少灌溉条件、整地质量差的地区,乙草胺、莠去津等土壤处理剂难以起到理想效果的生产问题,从而避免莠去津等超量使用;二是提高对难治杂草的防效。对一般选择性除草剂推荐剂量难以防治的杂草如鸭跖草、打碗花、铁苋菜、萝藦及苣荬菜等多年生杂草均有理想防效。三是对拟态性杂草如杂草稻、野大豆、节节麦等具有独特效果。四是可起到治理抗药性杂草的作用。五是能降低除草剂药害发生频率。六是促进耕作制度的变革。国内外大量研究数据表明,和传统耕作相比,农田少耕、免耕取消了铧式犁翻耕处理杂草的手段,不利于切断杂草的地下繁殖器官,因此,免耕农田多年生杂草发生程度加重,一般选择性除草剂难以除治,而种植耐草甘膦作物,无疑将推进免耕及轻简栽培技术的实施。

3.6 推进统防统治及农民培训

我国目前作物种植模式仍以微型家庭农场为

主。传统一家一户分散的病虫草害防治方式,既不利于有害生物灾害的有效控制,也不利于植保工作水平的全面提升。专业化统防统治,通过培育具备一定植保专业技术条件的服务组织,采用现代装备和技术,开展社会化、规模化、集约化农作物病虫草害防治服务,以提高有害生物防治效果、效率和效益^[51]。专业化统防统治既是提高重大病虫草害防控效果、促进粮食稳定增产的关键措施,也是降低农药使用风险,保障农产品质量和农业生态环境安全的有效途径,在推动施药装备更新和促进防控方式转变方面也将发挥重要作用^[52]。除草剂药效及药害受环境及使用技术影响大,普通种植者难以完全掌握用药技术。因此,需强化科学用药宣传引导及农民培训,尤其是针对新型经营主体开展用药技术培训,提高其科学防草知识和施药技能。

参考文献

- [1] 李扬汉. 中国杂草志[M]. 北京:中国农业出版社,1998.
- [2] 强胜. 杂草学[M]. 第二版. 北京:中国农业出版社,2009.
- [3] 唐洪元,王学鄂. 中国农田杂草的分布和危害[J]. 杂草学报,1988,2(1):1-7.
- [4] 梁帝允,强胜. 我国杂草稻危害现状及其防控对策[J]. 中国植保导刊,2011,31(3):21-24.
- [5] 于海燕,李香菊. 节节麦在我国的分布及其研究概况[J]. 杂草学报,2018,36(1):1-7.
- [6] 李香菊,王贵启,李秉华,等. 麦秸覆盖与除草剂相结合对免耕玉米田杂草的控制效果研究[J]. 华北农学报,2003,18(S1):99-102.
- [7] 冒宇翔,李贵,沈俊明,等. 玉米秸秆覆盖还田结合化学除草剂对水稻田杂草的控制效果及对水稻产量的影响[J]. 江苏农业学报,2014,30(6):1336-1344.
- [8] 梁帝允,李香菊. 小麦田杂草防除技术[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2017.
- [9] 强胜. 我国杂草学研究现状及其发展策略[J]. 植物保护,2010,36(4):1-5.
- [10] 王险峰. 中国化学除草五十年回顾与展望-杂草科学与环境与粮食安全[M]. 长春:吉林人民出版社,2004.
- [11] The global sales of pesticides in 2016 [EB/OL]. <https://phillipsmcdougall.com>.
- [12] 孔令娟,汪新国,潘广元. 安徽省直播稻生产情况调研与思考[J]. 安徽农学通报,2018,24(2):34-36.
- [13] 孙统庆,洪杨建,李杰,等. 江苏直播稻发展历程回顾、弊端分析及对策探讨[J]. 中国稻米,2014,20(6):5-9.
- [14] 王卫平,甘惠譚,张建国,等. 嘉定区直播稻田杂草发生情况、成因及防除对策[J]. 安徽农学通报,2013,19(16):92-93.
- [15] 张学友,陈小波,陈惠祥,等. 直播稻田恶性杂草千金子发生与防治技术探讨[J]. 湖北农学院学报,2001,21(4):293-296.

- [16] 朱文达,周普国,何燕红,等. 千金子对水稻生长和产量性状的影响及其防治经济阈值[J]. 南方农业学报, 2018, 49(5): 863 - 869.
- [17] 马强,周小毛,刘佳,等. 直播水稻田千金子对氟氟草酯抗性测定及抗性生化机理研究[J]. 南方农业学报, 2017, 48(4): 647 - 652.
- [18] 董立尧,沈晋良,高同春,等. 水直播稻田千金子的生态经济阈值及其防除临界期[J]. 南京农业大学学报, 2003, 26(3): 41 - 45.
- [19] DELOUCHE C, BURGOS N R, GEALY D R, et al. Weedy rice: origin, biology, ecology and control [M]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2007.
- [20] 全国农田杂草考察组. 中国麦田主要杂草的分布和危害[J]. 杂草学报, 1988, 2(1): 14 - 18.
- [21] 王义虎,张俊文,白应文. 宝鸡市节节麦危害加重原因及治理对策[J]. 陕西农业科学, 2014, 60(6): 59 - 60.
- [22] 唐洪元,王学鄂. 中国玉米田杂草的分布和危害[J]. 杂草学报, 1988, 2(4): 34 - 39.
- [23] Herbicide resistant weeds in China [EB/OL]. <http://www.weedscience.org>.
- [24] CUI Hailan, ZHANG Chaoxian, ZHANG Hongjun, et al. Confirmation of flixweed (*Descurainia sophia*) resistance to tribenuron in China [J]. Weed Science, 2008, 56(6): 775 - 779.
- [25] CUI Hailan, LI Xiangju, WANG Guiqi, et al. Acetolactate synthase proline (197) mutations confer tribenuron-methyl resistance in *Capsella bursa-pastoris* populations from China [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2012, 102 (3): 229 - 232.
- [26] CUI Hailan, WANG Cangyue, HAN Yujiao, et al. Cross-resistance of Japanese foxtail (*Alopecurus japonicus*) to ACCase inhibitors in China [J]. Weed Technology, 2015, 29(3): 444 - 450.
- [27] XIA W, PAN L, LI J, et al. Molecular basis of ALS- and/or ACCase-inhibitor resistance in shortawn foxtail (*Alopecurus aequalis* Sobol.) [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2015, 122(1): 76 - 80.
- [28] GUO Wenlei, LIU Weitang, LI Lingxu, et al. Molecular basis for resistance to fenoxaprop in shortawn foxtail (*Alopecurus aequalis*) from China [J]. Weed Science, 2015, 63(2): 416 - 424.
- [29] GUO Wenlei, ZHANG Lele, WANG Hengzhi, et al. A rare Ile-2041-Thr mutation in the ACCase gene confers resistance to ACCase-inhibiting herbicides in shortawn foxtail (*Alopecurus aequalis*) [J]. Weed Science, 2017, 65(2): 239 - 246.
- [30] FENG Yujuan, GAO Yuan, ZHANG Yong, et al. Mechanisms of resistance to pyroxsulam and ACCase inhibitors in Japanese foxtail (*Alopecurus japonicus*) [J]. Weed Science, 2016, 64(4): 695 - 704.
- [31] XU Hongle, LI Jun, WU Renhai, et al. Identification of reference genes for studying herbicide resistance mechanisms in Japanese foxtail (*Alopecurus japonicus*) [J]. Weed Science, 2017, 65(5): 557 - 566.
- [32] 付丹妮,赵铂锤,孙中华,等. 抗苄嘧磺隆野慈姑乙酰乳酸合成酶的突变研究[J]. 植物保护, 2018, 44(3): 142 - 145.
- [33] 卢宗志,张朝贤,傅俊范,等. 抗苄嘧磺隆雨久花 ALS 基因突变研究[J]. 中国农业科学, 2009, 42(10): 3516 - 3521.
- [34] 马国兰,柏连阳,刘德才,等. 我国长江中下游稻区稗草对二氯喹啉酸的抗药性研究[J]. 中国水稻科学, 2013, 27(2): 184 - 190.
- [35] 高陆思,崔海兰,骆焱平,等. 异型莎草对不同除草剂的敏感性研究[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(9): 2223 - 2226.
- [36] 李香菊,杨殿贤,赵郁强,等. 除草剂对作物产生药害的原因及治理对策[J]. 农药科学与管理, 2007, 25(3): 39 - 44.
- [37] 王险峰. 除草剂药害与控制[J]. 现代化农业, 2015(10): 1 - 6.
- [38] 白小宁,杨镭,王以燕,等. 解析 2017 年我国农药登记的焦点[J]. 农药, 2018, 57(5): 313 - 315.
- [39] 李钟华. 我国创新除草剂的开发及其特点[C]//第十一届全国杂草科学大会论文摘要集. 长沙, 2013: 4.
- [40] 赵朝阳,王琪. 陕西粮食生产的现状与发展前景[J]. 陕西农业科学, 2010, 56(5): 164 - 166.
- [41] 张宗毅,刘小伟,张萌. 劳动力转移背景下农业机械化对粮食生产贡献研究[J]. 农林经济管理学报, 2014, 13(6): 595 - 603.
- [42] 成德宁,杨敏. 农业劳动力结构转变对粮食生产效率的影响[J]. 西北农林科技大学学报(社会科学版), 2015, 15(4): 19 - 26.
- [43] 刘万才,刘宇,龚一飞. 论重大有害生物数字化监测预警建设的长期任务[J]. 中国植保导刊, 2011, 35(1): 25 - 29.
- [44] 李香菊,梁帝允,袁会珠. 除草剂科学使用指南[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2014.
- [45] 范志伟,刘延,黄乔乔,等. 果园生草控草、养地养树养畜和驱虫防病[C]//第十三届全国杂草科学大会论文摘要集. 贵阳, 2017: 67.
- [46] 郭强,于玲玲. 不同类型薄膜覆盖对冀东地区玉米产量和水分利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报, 2016, 35(8): 73 - 76.
- [47] 杨雪芳,孔垂华. 化感水稻对不同生态型稗草的化感作用及其化感物质衍生物的抑草机制[C]//中国第八届植物化感作用学术研讨会会议指南及论文摘要集. 南京, 2017: 49.
- [48] 柏亚罗. 先正达等五大跨国公司十强产品占据主导, 主流产品大多专利过期[J]. 农药市场信息, 2017(18): 31 - 32.
- [49] GM approval database [DB/OL]. <http://www.isaaa.org>.
- [50] 李香菊,崔海兰. 转基因耐草甘膦作物的环境安全性[J]. 植物保护, 2011, 37(6): 38 - 43.
- [51] 危朝安. 专业化统防统治是现代农业发展的重要选择[J]. 中国植保导刊, 2011, 31(9): 5 - 8.
- [52] 王建强,王强,赵清. 病虫害专业化统防统治发展现状及对策建议[J]. 中国植保导刊, 2018, 34(8): 76 - 79.

(责任编辑: 杨明丽)