

我国抗除草剂转基因作物面临的机遇和挑战

蒋田田¹, 文君慧² (1. 先正达(中国)投资有限公司, 上海 200120; 2. 华南农业大学植物保护学院, 广东广州 510000)

摘要 杂草作为农业生产的生物逆境之一, 严重影响了全球粮食作物的产量和品质, 给全球造成巨大的经济损失。随着产生抗性的杂草品种不断增加, 杂草发生面积逐年扩大, 而除草剂新的作用机理的研发又愈加艰难, 转基因技术给人们带来了新的希望。2019 年全球抗除草剂转基因作物已占转基因作物种植面积的 88%, 复合抗除草剂和单一抗除草剂成为主要的转基因应用性状。在我国, 抗除草剂转基因作物还没有被批准商业化生产, 不过由于市场需求巨大、政策支持等, 抗除草剂转基因作物的商业化生产将迎来利好的局面。

关键词 抗除草剂转基因作物; 机遇; 挑战

中图分类号 S 188 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)22-0239-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.22.061

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Opportunities and Challenges Facing Genetically Modified Herbicide-Resistant Crops in China

JIANG Tian-tian¹, WEN Jun-hui² (1. Syngenta (China) Investment Co., Ltd., Shanghai 200120; 2. College of Plant Protection, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510000)

Abstract Weeds as one of the biotic stress in agricultural production, has seriously affected the yield and quality of food crops in the world wide, caused huge economic losses to the whole world. With the increasing number of resistant weed species, the occurrence area of weeds is expanding year by year, the research and development of new action mechanisms of herbicides are becoming more and more difficult, genetically modified technology has brought new hope to the people. In 2019, the global transgenic herbicide-resistant crops have occupied 88% of the planted area of genetically modified crops, compound herbicide-resistant and single herbicide-resistant have become the main traits of genetically modified applications. In China, the commercial production of transgenic herbicide-resistant crops have not yet been approved. However, due to huge market demand and policy support, the commercial production of transgenic herbicide-resistant crops will welcome a favorable situation.

Key words Herbicide-resistant genetically modified crops; Chance; Challenge

杂草为农业生产的生物逆境之一, 与虫害、病害等并列危害着农业生产。农田杂草的发生不仅妨碍农事操作, 而且与作物争夺土壤养分、光照、水分、空间等资源, 滋生病虫害, 严重影响了全球粮食作物的产量和品质, 造成了巨大的经济损失^[1-2]。据报道, 2019 年全球化学除草剂的销售总额高达 261 亿美元^[3-4], 然而因杂草危害而导致的农业经济损失每年仍高达千亿美元^[5]。在我国, 用于杂草防治的费用每年投入约 235 亿元, 然而因杂草危害而导致我国粮食经济损失仍高达近 1 000 亿元^[6]。

自 20 世纪 70 年代以来化学除草剂广泛应用, 因高效、省力、降低用工成本等优点使其迅速成为防除田间杂草的重要措施^[7], 目前我国采用化学除草的面积已达到播种面积的 60%, 基本上形成了以化学药剂防除为主的田间杂草防除技术体系^[8]。除草剂虽然给农业生产带来诸多优势, 但是由于在田间农事操作中长期不合理的频繁、随意加大剂量的使用除草剂产品从而导致杂草抗性的发生, 使得部分地区甚至出现了“超级杂草”, 化学除草剂的应用效果正在遭受严重挑战^[9]。1970 年 Ryan^[10]首次报道了欧洲千里光 (*Senecio vulgaris*) 对均三氮苯类除草剂莠去津 (atrazine) 和西玛津 (simazine) 产生了抗性, 此后杂草抗性在全球范围内广泛被关注^[11-16]。农田杂草呈现出抗性杂草发展迅速、杂草种群演替加快、发生面积逐年扩大的态势, 截至目前, 已有 70 个国家报道了 262 个杂草品种对一种或者多种除草剂产生了抗性^[17]。杂草抗性正在挑战现有除草剂的价值, 新型除

草剂的研发已经是刻不容缓, 然而最近 20 年来, 除草剂新品种的研发十分困难, 尤其新的作用机制的发现则更为艰难。20 世纪 40 年代仅从 500 个化合物中即可开发研制出一个新品种, 而如今大约需要 50 万个化合物才能筛选开发出一个新种^[18]。随着科技进步和发展, 转基因技术作为一种尖端的生物技术在全球范围内诸多研究领域应用, 转基因技术在作物遗传育种改良、生态环境改善等诸研究领域的迅速发展, 使人们看到其无限的技术潜力^[19], 抗除草剂转基因作物的开发与应用将会成为降低杂草危害非常重要的途径。

1 全球转基因作物概况

转基因作物是指利用基因工程 (DNA 重组技术) 技术, 把从动物、植物或者微生物中分离到的目的基因或特定的 DNA 片段, 加上合适的调控元件, 通过各种方法转移到作物的基因组中, 使得到该基因或 DNA 序列能稳定表达和遗传的作物。目前, 转基因作物的品种主要包括大豆、玉米、棉花、油菜、烟草、马铃薯、番茄、南瓜和甜椒等, 其性状主要是抗除草剂、抗虫、抗病、抗逆等几类。1983 年国际首例转基因作物 (烟草、马铃薯) 问世, 1986 年棉花作为首批转基因作物被批准进行田间试验, 此后的 30 多年转基因作物商业化生产得到了迅猛发展。

1.1 全球转基因作物种植面积 国际农业生物技术应用服务组织 (International service for the acquisition of Agri-biotech applications, 简称 ISAAA) 历年发布的转基因作物年度报告数据显示, 转基因作物自 1996 年开始商业化种植以来, 全球转基因作物的种植面积总体上呈逐年攀升趋势 (图 1), 其中 1996—2014 年为转基因作物的种植面积急速上升期, 2014—2019 年随着转基因作物种植的普及, 世界前 5 大转基因作物

作者简介 蒋田田 (1991—), 男, 安徽阜阳人, 硕士, 从事田间药效试验工作。

收稿日期 2021-02-02; **修回日期** 2021-03-28

种植的国家其转基因作物种植应用率已达90%以上,种植应用率接近饱和程度,这段时期为转基因作物种植的稳步上升期。2019年全球转基因作物种植面积超过1.9亿 hm^2 ,是1996年种植面积170万 hm^2 的112倍。其中全球转基因作物种植面积前五的国家分别为美国(7150万 hm^2)、巴西(5280万 hm^2)、阿根廷(2400万 hm^2)、加拿大(1250万 hm^2)、印度(1190万 hm^2)。

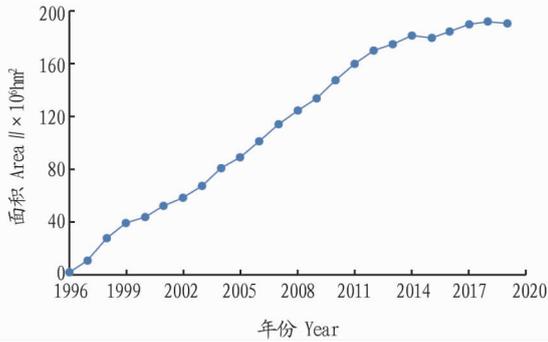


图1 1996—2019年全球转基因作物种植面积

Fig.1 Global planting area of genetically modified crops during 1996–2019

1.2 全球转基因作物种植品种 全球其他转基因作物的品种仍在不断的丰富,截至目前全球获得批准商业化生产的转基因作物已达到30种^[20],种植作物仍以大豆、玉米、棉花和油菜为主,其他还包含苜蓿、甜菜、甘蔗、红花、马铃薯、茄子、南瓜、苹果、菠萝等。1997—2019年转基因大豆的种植面积一直遥遥领先其他作物,占据着转基因作物约50%的市场份额,转基因玉米种植面积占比逐年稳中有升,转基因油菜和转基因棉花的占比则基本保持稳定,同时其他作物品种具有较大的上升空间。根据ISAAA公布的数据,2019年四大主要转基因作物的种植面积占全球转基因作物种植面积的99.1%,其中转基因大豆在全球范围内仍是主要的种植品种,种植面积为9190万 hm^2 (图2),占全球转基因作物种植面积的48.2%,其次是转基因玉米(6090万 hm^2 ,32%)、转基因棉花(2570万 hm^2 ,13.5%)、转基因油菜(1010万 hm^2 ,5.3%)。

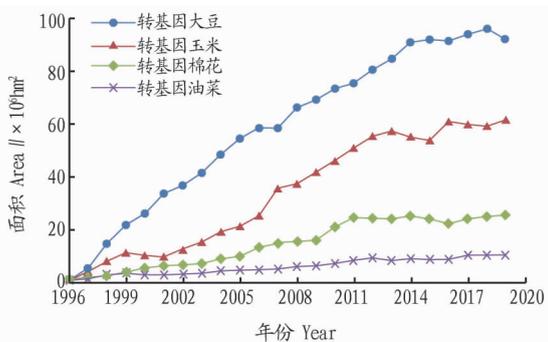


图2 1996—2019年全球四大主要转基因作物种植面积

Fig.2 The planting area of the world's four major genetically modified crops during 1996–2019

1.3 全球主要转基因作物应用率 根据国际农业生物技术应用服务组织(ISAAA)和联合国粮食及农业组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations,简称FAO)公开

的数据,1996—2019年全球四大主要转基因作物整体应用率呈持续上升趋势(图3)。2019年除转基因棉花的应用率有所下降,其余三大转基因作物应用率保持稳定。具体表现为:2019年全球大豆种植面积为1.205亿 hm^2 ,转基因应用率为76.27%;全球玉米种植面积为1.972亿 hm^2 ,转基因应用率为30.88%;全球棉花种植面积为3860万 hm^2 ,转基因应用率为66.58%;全球油菜种植面积为3400万 hm^2 ,转基因应用率为29.71%。全球转基因作物种植应用率居于前五的国家分别为美国、巴西、阿根廷、加拿大和印度,其种植应用率分别为95%、94%、大约100%、90%和94%。

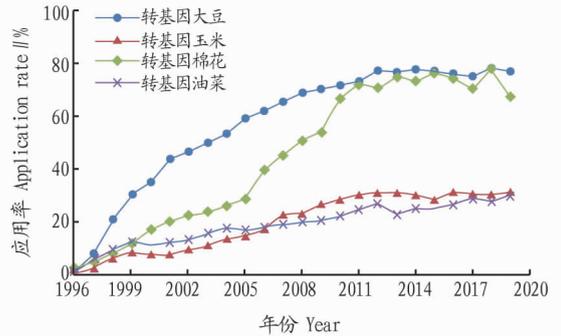


图3 1996—2019年全球四大主要转基因作物应用率

Fig.3 The application rate of the four major genetically modified crops in the world during 1996–2019

1.4 全球种植转基因作物的性状趋势 从全球转基因作物性状来看,1998—2019年复合性状转基因作物(兼具抗除草剂、抗虫和其他性状)的种植面积在急速增长,2019年复合性状转基因作物的种植面积已达到8510万 hm^2 (图4),约占全球转基因作物种植面积的45%,首次超越单一抗除草剂转基因作物的种植面积,说明农民偏爱种植更加省工、节省成本的转基因作物;抗除草剂仍是转基因大豆、油菜、玉米、苜蓿和棉花的主要性状,单一抗除草剂转基因作物的种植面积为8150万 hm^2 ,约占全球转基因作物种植面积的43%;抗虫转基因作物的种植面积为2370万 hm^2 ,约占全球转基因作物种植面积的12%。自1996年抗除草剂转基因作物首次商业化以来,抗除草剂性状一直是转基因作物的主要性状,2019年抗除草剂转基因作物种植面积约占全球转基因作物种植面积的88%左右。

2 我国转基因作物研究进展

我国转基因作物的研究从20世纪80年代开始,是最早开展转基因技术研发的国家之一。1992年我国是世界上第一个商业化种植转基因作物(烟草)的国家,开创了转基因作物商业化的先河。目前,我国转基因专利数量位列全球第二,在水稻基因克隆及功能基因组学研究领域处于世界领先水平,棉花、大豆、玉米、小麦功能基因的研究也步入了国际前列。截至2019年年底,转基因专项共育成176个转基因抗虫棉新品种,累计推广种植面积达3133.33 hm^2 ,减少70%以上的农药使用,国产转基因抗虫棉占据市场份额的99%以上^[21]。根据ISAAA历年发布的转基因作物年度报告数据显示,我国自1998年引进抗虫棉以来,抗虫棉的种植发展较为

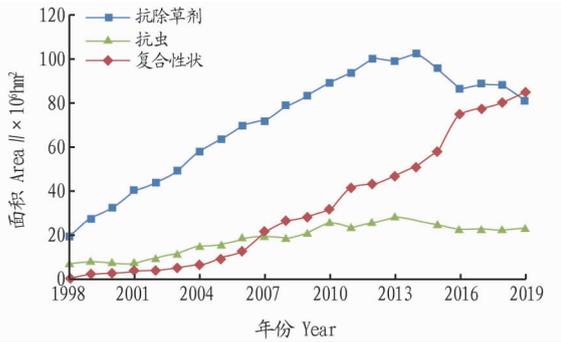


图4 1998—2019年不同性状转基因农作物种植面积

Fig.4 The planting area of genetically modified crops with different traits during 1998—2019

迅猛,2013年抗虫棉在我国种植的应用率高达90%以上,近几年抗虫棉在我国的种植应用率基本保持在95%~99%。

目前,我国批准进行商业化种植的转基因作物仅有抗虫棉和抗病毒番木瓜,此外还批准了5种国外研发的转基因农产品(转基因大豆、玉米、甜菜、油菜、棉花)作为加工原料进入国内市场。转基因粮食作物在我国的商业化生产一直处于滞后的局面,给转基因作物的研发进程造成了很大程度的影响^[21],也使得整体转基因作物的种植应用率还远远低于发达国家。2020年7月15日,农业农村部对2020年农业转基因生物安全证书(生产应用)批准清单进行公告。清单中共有188个可用来进行农业生产的转基因生物安全证书,其中包括102个到期续展的抗虫棉、12个到期续展的转基因动物疫苗及生物制剂、新批准的3个转基因动物疫苗及生物制剂、69个抗虫棉、1个耐除草剂玉米、1个耐除草剂大豆。继2009年2个水稻和1个玉米获得转基因生物安全证书后,我国再次有粮食作物获得转基因生物安全证书,标志着我国粮食作物国产转基因品种商业化有望迎来实质性进展。

3 我国抗除草剂转基因作物商业化带来的挑战

抗除草剂转基因作物是利用转基因生物技术,将具有抗除草剂性状的基因通过根瘤农杆菌(*Agrobacterium tumefaciens*)介导、基因枪等方法转入到作物的基因序列中,使作物能表达对特定除草剂的抗性^[22]。抗除草剂转基因作物的种植不仅能够增加作物的产量、降低防除杂草的成本投入、增加农民收益水平,同时也减轻了除草剂对当茬所种植作物以及后茬作物的残留药害,降低了环境污染^[23-24]。我国在抗除草剂基因上共有48项专利,发掘的基因对草甘膦、咪唑啉酮类、磺酰脲类和草丁膦4类除草剂有抗性,其中有40项是属于抗草甘膦基因^[25]。但是,抗除草剂转基因作物的商业化生产在我国却面临着诸多的挑战。

3.1 除草剂产业面临巨大危机 全球抗除草剂转基因作物性状主要为抗草甘膦、草铵膦等非选择性除草剂,随着抗除草剂转基因作物在我国的商业化生产以及种植面积的迅速扩大,势必会冲击现有的农药市场局面。草甘膦、草铵膦等非选择性除草剂会很快抢占其他除草剂品种的市场份额,进而导致以草甘膦、草铵膦等非选择性除草剂之外的其他除草剂产品的市场份额大幅下滑。整个除草剂市场将形成以草甘

膦为主导的单一化格局,其造成后果将是非常严重的。

3.2 基因逃逸,变异“超级杂草” 基因逃逸是指外源转基因由转基因作物向非转基因作物及其野生近缘种转移的现象。基因逃逸一般通过以下3种方式来实现:①通过种子传播,即转基因作物的种子传播到另一个品种或其野生近缘种的种群内,并能够自我繁育个体;②通过花粉漂移(有性杂交),通过与非转基因品种或其野生近缘种的不断回交完成抗性基因的渗入,并在其种群中建立可育的杂交和回交后代种群;③通过水平基因转移(非有性杂交)发生漂移。其中,通过花粉漂移的方式造成基因逃逸的发生频率最高。在某些特定的生态环境中,部分作物的近缘杂草种是危害很大的杂草,如果这些近缘杂草种接受了抗除草剂基因而提高了适合度,它们就可能变为极难防治的“超级杂草”,从而给农田杂草防除带来新的难题^[26-27]。

3.3 对生态环境的影响 在长期商业化种植抗除草剂转基因作物后,单一、重复使用某一类型的除草剂产品势必造成杂草对目标除草剂产生较高水平的抗性,农户为了操作方便很可能在种植转基因作物田间不断随意加大使用剂量、不科学地使用该种除草剂,除草剂剂量的不断加大进一步增强了田间杂草对除草剂的抗性,这种不科学的恶性循环操作加速了抗性杂草的发展,同时也增加了环境污染。

4 我国抗除草剂转基因作物面临的机遇

4.1 政策形势 国务院2016年印发的《“十三五”国家科技创新规划》中明确提出,加强作物抗虫、抗病、抗旱、抗寒基因技术研究,加大转基因棉花、玉米、大豆研发力度,推进新型抗虫棉、抗虫玉米、抗除草剂大豆等重大产品产业化,强化基因克隆、转基因操作、生物安全新技术研发,使我国农业转基因生物研究整体水平跃居世界前列,为保障国家粮食安全提供品种和技术储备。

2021年1月22日农业农村部办公厅印发的《2021年农业转基因生物监管工作方案》中的工作目标为:推动农业转基因监管纳入政府议事日程,将支持农业转基因生物安全事业发展的相关支出列入政府预算;通过书面形式明确辖区内农业转基因监督检查、行政许可、行政执法、科普宣传等职责分工;印发农业转基因监管方案;指导从业主体办理农业转基因生物加工许可证,依法开展农业转基因生物加工审批和监管。

4.2 巨大的市场需求 据全国农技推广中心统计,我国常年有近14亿亩(9333.33万 hm^2)的田地是使用化学除草的方式^[28]。原则上几乎所有种植的作物均可以利用转基因技术培育抗除草剂品种^[29],其中以直播水稻田、玉米、小麦、大豆和油菜等作物对抗除草剂转基因的市场需求空间最为巨大,根据FAO调查数据显示,2019年我国水稻、玉米、小麦、大豆、油菜的种植面积分别为3000万、4133.33万、2400万、840万、666.67万 hm^2 ,我国农作物种植面积大,抗除草剂转基因作物未来前景可期。

以直播稻为例,直播稻栽培模式因具有高效、节省成本、省工等优势,已成为水稻栽培的重要方式。但由于直播稻苗

期空间大,苗期时间长,干湿交替的田间环境非常适宜杂草的发生,造成直播稻因草害发生而减产,更甚者因草荒而绝收。目前,国内直播稻田常采用“一封、二杀(封)、三补”的除草模式,但这种除草模式成本高,特别是对恶性杂草如千金子、稗草等防除的特效药剂成本较高。此外,稻田杂草抗药性的问题日趋严重,据估计,我国有近 200 万 hm^2 的稻田稗草产生抗药性^[29],直播稻田迫切需要有替代除草剂产品和新的应用技术。

5 结语

抗除草剂转基因作物的种植一方面可以节省大量的财力和人力,降低生产投入成本,另一方面抗除草剂转基因作物的培育和种植也会积极促进机械化栽培管理的进展,但在抗除草剂转基因作物商业化种植以后,长期、重复施用某一类的除草剂势必会产生杂草的抗药性,研究开发多个抗性基因作用机制的种质,同时更新和交替轮换使用不同作用机制的除草剂,才是保障杂草防治有效、可持续、安全使用的战略方针,抗除草剂转基因作物对农业机械化生产具有划时代的意义。不久的将来随着抗除草剂转基因技术的不断突破以及转基因产品商业化生产的普及,我国转基因作物市场发展前景十分值得期待。

参考文献

- [1] 洪志刚,贺德全.农田杂草的发生特点、危害及防控措施探究[J].福建农业,2015(5):124.
- [2] OERKE E C.Crop losses to pests[J].Journal of agricultural science,2006,144(1):31-43.
- [3] Phillips McDougall.Agric Service Industry Overview 2019[R].UK:Phillips McDougall,2019.
- [4] 宋永平.浅谈 2019 和 2020 年全球农药市场[J].世界农药,2020,42(9):25-30,52.
- [5] APPLEBY A P,MULLER F,CARPY S.Weed control[M]//MULLER F.Agrochemicals.New York:Wiley,1997:687-707.
- [6] 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.
- [7] 张朝贤,黄红娟,崔海兰,等.抗药性杂草与治理[J].植物保护,2013,39(5):99-102.
- [8] APPLEBY A P.A history of weed control in the United States and Canada—a sequel [J].Weed science,2005,53(6):762-768.
- [9] HEAP I.Global perspective of herbicide-resistant weeds[J].Pest management science,2014,70(9):1306-1315.

- [10] RYAN G F.Resistance of common groundsel to simazine and atrazine[J].Weed science,1970,18(5):614-616.
- [11] 张乐乐,王倩,李伟,等.河南省麦田荠菜对苯磺隆的抗性及其交互抗性[J].植物保护学报,2018,45(3):536-542.
- [12] 黄元炬.黑龙江省雨久花对磺酰脲类除草剂抗性测定及治理[D].北京:中国农业科学院,2013.
- [13] SHERGILL L S,BARLOW B R,BISH M D,et al.Investigations of 2,4-D and multiple herbicide resistance in a Missouri waterhemp (*Amaranthus tuberculatus*) population[J].Weed science,2018,66(3):386-394.
- [14] 程舒,王艺凝,李海粟,等.东北稻区抗性杂草防治技术[J].农业科学,2018,8(4):330-336.
- [15] YAJIMA W,HALL J C,KAV N N V.Proteome-level differences between auxinic-herbicide-susceptible and-resistant wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) [J].Journal of agricultural & food chemistry,2004,52(16):5063-5070.
- [16] DYER W E.Stress-induced evolution of herbicide resistance and related pleiotropic effects[J].Pest management science,2018,74(8):1759-1768.
- [17] HEAP I.International survey of herbicide resistant weeds [EB/OL]. [2019-07-13].http://www.weedscience.org.
- [18] TAN S Y,EVANS R R,DAHMER M L,et al.Imidazolinone-tolerant crops:History,current status and future[J].Pest Manag Sci,2005,61(3):246-257.
- [19] CLIVE JAMES.2014 年全球生物技术/转基因作物商业化发展态势[J].中国生物工程杂志,2015,35(1):1-14.
- [20] 吴珊,庞俊琴,庄军红,等.我国转基因作物的研发与安全管理[J].中国农业科技导报,2020,22(11):11-16.
- [21] 汪焯.我国转基因研发开启新征程[J].农经,2020(3):44-47.
- [22] 向文胜,肖振平,赵长山.抗除草剂转基因作物[J].东北农业大学学报,1998,29(2):201-208.
- [23] QIANG S,SONG X L,DAI W M.Opportunities and challenges for herbicide-resistant crops and their development strategies[J].Journal of Agricultural Biotechnology,2010,18(1):114-125.
- [24] DUKE S O.Perspectives on transgenic,herbicide-resistant crops in the United States almost 20 years after introduction[J].Pest management science,2015,71(5):652-657.
- [25] 张玉池,王晓蕾,徐文蓉,等.国内外抗除草剂基因专利的分析[J].杂草学报,2017,35(2):1-22.
- [26] JENCZEWSKI E,RONFORT J,CHÈVRE A M.Crop-to-wild gene flow, introgression and possible fitness effects of transgenes [J].Environmental biosafety research,2003,2(1):9-24.
- [27] MERCER K L,ANDOW D A,WYSE D L,et al.Stress and domestication traits increase the relative fitness of crop-wild hybrids in sunflower[J].Ecology letters,2007,10(5):383-393.
- [28] 李香菊,崔海兰,于惠林,等.耐除草剂转基因作物及其环境安全[C]//第十三届全国杂草科学大会论文摘要集.贵阳:中国植物保护学会杂草学分会,2017.
- [29] 强胜,宋小玲,戴伟民.抗除草剂转基因作物面临的机遇与挑战及其发展策略[J].农业生物技术学报,2010,18(001):114-125.