

我国转基因玉米大豆应用抗性治理策略

沈平¹, 孙卓婧¹, 张华¹, 李云河², 李飞武³, 宋新元³, 郑戈^{1*}

(1. 农业农村部科技发展中心, 北京 100176; 2. 中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193; 3. 吉林省农业科学院, 吉林长春 130033)

摘要 为有序推进我国生物育种产业, 保障转基因玉米大豆产业化安全、可持续实施, 需建立科学的抗性治理策略, 延缓靶标害虫和杂草抗性产生。查阅大量国内外相关靶标害虫和杂草抗性进化研究的文献, 总结国际转基因玉米大豆抗性治理的经验教训, 并分析我国转基因抗虫棉的相关实践, 立足我国当今靶标害虫与杂草实际情况, 进行分析讨论。依据玉米种植区域特点及虫情发生规律进行区域划分, 并确定各区域推荐的转基因抗虫玉米基因类型和配套庇护所策略, 提出适合我国现阶段产业特点的转基因玉米大豆抗性治理策略。在靶标害虫抗性治理方面, 应根据我国玉米主产区的靶标害虫发生及迁移扩散为害规律, 遵循整体布局、源头治理的原则, 在转化体研发、品种审定等环节加强虫源和种源控制; 同时, 建议因地制宜, 采取“一区一类基因一策”的害虫抗性治理措施。在田间杂草抗性治理方面, 建议配合轮换使用不同抗性机理的转化体和不同作用机理的除草剂。

关键词 转基因玉米; 转基因大豆; 靶标害虫; 抗性杂草; 抗性治理

中图分类号 S43 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2023)05-0141-06

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2023.05.032



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Application of Resistance Management Strategies in Genetically Modified Maize and Soybean in China

SHEN Ping, SUN Zhuo-jing, ZHANG Hua et al (Development Center of Science and Technology, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100176)

Abstract To promote the biological breeding industry and ensure the safety and sustainable implementation of the transgenic maize and soybean industrialization in China, it is necessary to establish a scientific resistance management strategy to delay the emergence of resistance to target pests and weeds. This study reviewed a large number of domestic and foreign literature on the evolution of resistance to target pests and weeds, summarized the experience and lessons of resistance management of genetically modified maize and soybean in the world, and analyzed the relevant practices of genetically modified insect-resistant cotton, also based on the actual situation of target pests and weeds in China. According to the characteristics of corn planting areas and the occurrence law of pests, the regions are divided, and the gene types and supporting shelter strategies of transgenic insect resistant corn recommended in each region are determined. In this study, the management strategy of resistance of genetically modified maize and soybean was put forward. In terms of pest resistance management, pest source and provenance control should be strengthened in transformation research and development and variety certification according to the occurrence, migration and diffusion of target pests in main maize producing areas in China, and the principle of overall layout and source control. At the same time, it is suggested to adopt the pest resistance management measures of “one area, one class of genes, one policy” according to local conditions. In the field weed resistance control, it is suggested to use transformants with different resistance mechanisms and herbicides with different action mechanisms in rotation.

Key words Genetically modified maize; Genetically modified soybean; Target pests; Resistance of weeds; Resistance management

转基因作物自 1996 年实现大规模商业化种植以来, 发展迅速, 2019 年全球种植面积达到 1.904 亿 hm^2 , 较 1996 年的 170 万 hm^2 增长了近 111 倍, 使得生物技术成为世界上应用最为迅速的作物技术^[1]。目前已商业化的转基因作物中最主要的性状是抗虫和耐除草剂 2 类, 抗虫耐除草剂转基因作物的大面积推广应用, 一方面在减少农药使用、保障害虫和杂草绿色防控及农业可持续发展中发挥了重要作用; 另一方面, 也面临着靶标害虫抗性及杂草抗性产生的风险。为有效减缓抗性产生的进程, 延长抗性基因及相关转基因产品的生命周期, 科学界、产业界和监管部门通过开展广泛研究, 建立了一系列抗性治理措施, 如庇护所/高剂量、耐除草剂作物及除草剂品种轮换等^[2-5]。美国、加拿大等国家和地区 20 多年的实践证明, 通过制定强制性法规, 抗性

治理措施总体实施效果较好, 均未在田间发现害虫产生实质性抗性, 而巴西、阿根廷等地区由于监管手段不足, 抗性治理措施未得到有效落实, 导致田间很快出现对抗虫转基因作物产生抗性的靶标害虫种群, 相应的转化体不得不退出市场。可见, 抗性治理工作对于转基因作物产业可持续发展至关重要, 而抗性治理措施的科学设计和有效落实在抗性治理工作中起到关键性的作用。我国高度重视转基因作物研究与产业化应用, 1997 年已实现转基因抗虫棉花商业化种植, 积累了较好的害虫抗性治理经验。在国家转基因生物新品种培育重大专项的支持下, 涌现出一大批新基因、新技术、新产品, 抗虫耐除草剂玉米 DBN9936、瑞丰 125、耐除草剂大豆中黄 6106 等多个转化体陆续获得生产应用安全证书, 配套的转基因农作物品种审定、种子生产经营许可等制度也在不断完善, 为有序推进我国转基因主要农作物产业化奠定基础。为进一步推进我国转基因抗虫耐除草剂玉米、耐除草剂大豆等主要农作物的推广应用, 保障农业生物技术产业安全可持续发展, 该研究系统分析了国内外转基因作物靶标害虫抗性和杂草抗性研究进展, 总结了国内外抗性治理的经验和教训, 结合我国不同生态区的农业生产实际, 提出了我国转基因玉米大豆应用的抗性治

基金项目 中央财政资金项目“转基因玉米小麦大豆环境安全评价技术”(2016ZX08011003)。

作者简介 沈平(1966—), 女, 辽宁丹东人, 研究员, 从事转基因生物安全与管理研究。* 通信作者, 研究员, 从事农业生物技术研究。

鸣谢 感谢中国农业科学院植物保护研究所吴孔明院士、李香菊研究员、何康来研究员和中国农业科学院棉花研究所崔金杰研究员在论文撰写过程中给予的帮助。

收稿日期 2022-10-19

理策略,为制定具有中国特色的抗性治理政策提供科学支撑。

1 转基因玉米靶标害虫抗性现状

1.1 国外主要靶标害虫抗性水平与害虫会对长期施用的

表1 国外靶标害虫对杀虫蛋白的抗性水平

Table 1 Resistance levels of target pests to insecticidal proteins

抗性程度 Resistance degree	定义 Definition	具体表现 Specific performance
敏感水平 Sensitivity level	田间害虫种群长期暴露在杀虫蛋白下,但对杀虫蛋白的敏感性没有显著下降	西南玉米秆草螟对 Cry1Ab 蛋白 ^[6] ; 欧洲玉米螟对 Cry1Ab 及 Cry1F 蛋白 ^[7-10] ; 草地贪夜蛾对 Vip3Aa20 蛋白 ^[11]
早期预警抗性水平 Early warning resistance level	害虫种群显著降低了对杀虫蛋白的敏感性,但是转基因抗虫作物对害虫的田间防治效果没有降低	美国的小蔗螟 ^[12-13] 、菲律宾的亚洲玉米螟 ^[14] 、西班牙的地中海玉米蛀茎叶蛾 ^[15] 对 Cry1Ab 蛋白
实质抗性水平 Substantial resistance	田间害虫抗性个体的数量超过一半,转基因抗虫作物对害虫的防治效果显著下降,已不能控制害虫抗性种群的发展	玉米蛀茎夜蛾对 Cry1Ab 蛋白; 小蔗螟对 Cry1A. 105 蛋白、玉米根茎叶甲对 Cry3Bb、Cry34/35Ab、mCry3A 和 eCry3. 1Ab 蛋白; 草地贪夜蛾对 Cry1Ab 和 Cry1F 蛋白; 西部豆夜蛾对 Cry1F 蛋白; 美洲棉铃虫对 Cry1Ab 和 Cry1A. 105 蛋白等 ^[16]

1.2 我国主要靶标害虫抗性水平

1.2.1 亚洲玉米螟抗性水平。亚洲玉米螟严重危害我国玉米生产,是我国转基因抗虫玉米主要的靶标害虫之一。掌握亚洲玉米螟田间种群对 Bt 杀虫蛋白的敏感基线,对商业化推广转基因抗虫玉米具有重要意义。在我国玉米主要产区——北方春播玉米区和黄淮平原夏播玉米区的 7 个省份、14 个地点进行田间亚洲玉米螟对 Bt 杀虫蛋白敏感性的监测,结果显示,采自不同地区的亚洲玉米螟种群对 Cry1Ab、Cry1Ac、Cry1F 5 种杀虫蛋白处于敏感水平^[17]。

1.2.2 草地贪夜蛾抗性水平。2019 年,草地贪夜蛾侵入我国,对农业生产构成重大威胁。我国学者利用分子手段,快速鉴定出入侵的草地贪夜蛾种群为喜食玉米的“玉米型”草地贪夜蛾,并确定入侵源头及入侵路径,为害虫防控提供了坚实基础。利用室内生测技术,明确了入侵的草地贪夜蛾种群对 5 种常用 Bt 蛋白的敏感性水平与抗性等位基因频率,结果显示,草地贪夜蛾对 Vip3A、Cry1Ab、Cry1F、Cry2Ab、Cry1Ac 5 种 Bt 杀虫蛋白的敏感性指标在 0.28~3.76,表明其种群对以上 Bt 蛋白均未产生抗性^[18]。转 *cry1Ab* 和 *vip3Aa* 双价基因玉米对草地贪夜蛾的防治效果优于单价的转 *cry1Ab* 基因玉米^[19]。上述研究为利用转基因抗虫玉米防控草地贪夜蛾以及制定相关害虫抗性治理策略提供了基础。

1.3 Bt 蛋白交互抗性研究 如果靶标害虫对不同蛋白存在交互抗性,将加剧抗性产生,因此开展不同类型 Bt 蛋白的交互抗性研究,对于转基因抗虫作物产品开发及产业化推广具有重要意义。研究表明,Cry1Ab 蛋白和 Cry1Ac 蛋白之间存在高水平的交互抗性,Cry1Ab、Cry1Ac 同 Cry1Ah 和 Cry1F 存在低水平的交互抗性^[20-21]。同时,国外相关研究表明,Vip3Aa 蛋白与 Cry1Ab、Cry1Ac、Cry1F 等蛋白不存在交互抗性^[22-24]。这些研究成果为我国科学利用不同类型抗虫基因,并制定靶标害虫抗性进化治理策略提供了重要依据。

2 杂草抗性现状

杂草抗药性指杂草种群所获得的,在施用能够有效防治

化学农药产生抗性一样,靶标害虫长期处于抗虫作物表达的杀虫蛋白的选择压力下,会发生抗性进化。根据靶标害虫对杀虫蛋白产生抗性的程度,可分为 3 个水平:敏感水平、早期预警抗性水平和实质抗性水平(表 1)。

该种群的除草剂后,能够存活并繁衍的能力^[25]。在杂草防除实践中,一些对除草剂敏感的杂草种群被杀死,而另一些杂草由于在除草剂选择压的作用下,产生了对该除草剂不敏感的突变体,这些突变体被保留下来发展成抗药性种群,即杂草对除草剂产生了抗药性^[26]。如果长期使用同一种或同一类作用机理的除草剂,就可能在田间出现抗这种(类)除草剂的杂草^[27]。

2.1 杂草抗药性及对农业生产的影响 迄今为止,全球有 264 种杂草的 505 个生物型对除草剂产生了抗性,分布在 71 个国家的 95 种作物(含非耕地)^[28-29]。目前已知的除草剂作用机制仅 31 类,其中的 21 类药剂已有抗性杂草报道,涉及 164 种除草剂。据统计,全球稻田有 52 种杂草的近 80 个生物型对除草剂产生抗性(图 1)^[30],涉及除草剂包括 ALS^[31]、ACCase^[32-33]、合成激素类^[34-35]、光系统 II 抑制剂^[36-37]、细胞分裂抑制剂^[38]、长链脂肪酸抑制剂^[39]、酯类合成抑制剂^[40]、EPSP 抑制剂^[41]、DOXP 抑制剂^[42]等。

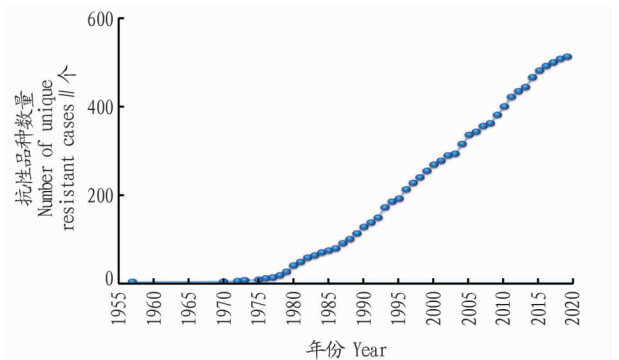


图1 全球抗性杂草生物型年度增长变化

Fig. 1 Annual growth and change of resistant weed biotypes worldwide

杂草抗药性对农业生产产生直接和间接影响。由于抗性杂草出现导致杂草群落演替,抗性杂草难以治理,直接影响作物产量^[43]。农民为了防治抗性杂草,常采用加大施药量的做法,不仅增加草害防除成本,还带来作物药害、环境污染等间接问题,更严重的是可能造成某一作物化学防控体系

整体失效^[44]。

2.2 全球玉米、大豆田主要抗性杂草 全球四大作物(小麦、玉米、大豆和水稻)田间抗性杂草数量较多,而玉米和大豆田抗性杂草数量分别居第二(62种,100多个生物型)和第三位(48种,90多个生物型)(图2)。杂草抗性产生与使用除草剂的类型及年限密切相关^[28,45]。1972年,美国首例报道玉米田对光系统II除草剂产生抗性的绿穗苋(*Amaranthus hybridus*)^[46],此后的20年间由于主要采用莠去津类除草剂防治玉米田杂草,因此发现的90多例抗性杂草均为对光系统II除草剂产生抗性^[47]。20世纪80年代末,乙酰乳酸合酶(ALS)抑制剂类除草剂烟嘧磺隆、噻吩磺隆等在玉米田大量使用^[48-49],1994年,美国报道了糙果苋(*Amaranthus tuberculatus*)对氯嘧磺隆、烟嘧磺隆、咪唑乙烟酸等ALS抑制剂类除草剂产生抗性^[50],由于作物轮作制度和生境类似,这些杂草不仅在玉米田发现,在大豆、棉花田均有发生^[51-52]。美国1974年首次报道了大豆田对除草剂氟乐灵产生抗性的牛筋草(*Eleusine indica*)^[53],1995年,发现对光系统II除草剂莠去津(玉米田除草剂)和ALS抑制剂噻嘧磺草胺、氯嘧磺隆等同时产生抗性的糙果苋^[54-55]。

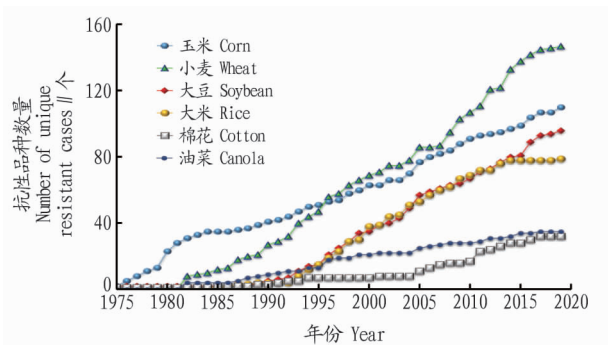


图2 主要作物田抗性杂草生物型年度增长变化

Fig.2 Annual growth and change of resistant weed biotypes in main crop fields

2.3 转基因耐草甘膦作物与杂草抗药性发展 1996年之前的20多年间未见草甘膦的抗性报道。但自耐草甘膦作物商业化开始,由于美国、巴西、阿根廷、澳大利亚等国家大量使用草甘膦除草,杂草抗性发展迅速,导致耐草甘膦杂草数量增加^[56]。

2001年美国大豆田首次发现抗草甘膦的小飞蓬(*Conyza canadensis*)^[57],此后陆续发现对草甘膦和其他作用机理除草剂产生多抗性的杂草^[58-59]。2005年,巴西首次报道了在玉米、大豆、小麦、果园发现对草甘膦产生抗性的香丝草(*Conyza bonariensis*)^[60],同年,发现对草甘膦、ALS抑制剂及原卟啉原氧化酶抑制剂类除草剂产生抗性的糙果苋^[61];阿根廷也在当年发现了对草甘膦产生抗性的假高粱(*Sorghum halepense*)^[62]。此后的十几年,美国及巴西、阿根廷等国家每年都有对草甘膦产生抗性杂草的报道^[59,63]。目前为止,全球耐草甘膦杂草有50余种(图3),主要集中在澳大利亚、美国、巴西、阿根廷;一些国家还发现对草甘膦和其他作用机理除草剂产生多抗性的杂草,如澳大利亚报道有对4

种不同作用机制除草剂产生多抗性的野胡萝卜(*Raphanus raphanistrum*)^[64]和对5种不同作用机制除草剂产生多抗性的早熟禾(*Poa annua*)^[65];美国也发现对4种不同作用机制除草剂产生多抗性的地肤(*Kochia scoparia*)^[66-67]和对5种不同作用机制除草剂产生多抗性的长芒苋(*Palmer amaranth*)^[68]。

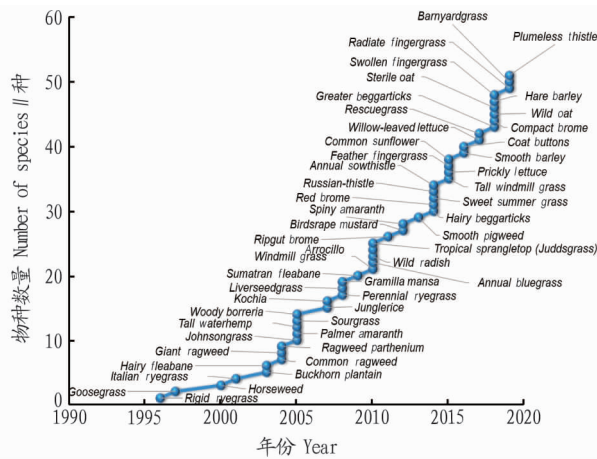


图3 世界耐草甘膦杂草种类与数量

Fig.3 Species and number of glyphosate-tolerant weeds in the world

我国抗性杂草44种,数量居世界第6位,目前仅发现非耕地的牛筋草和小飞蓬2种杂草对草甘膦产生抗性(表2)^[69]。

表2 不同国家的耐草甘膦杂草数量

Table 2 Glyphosate-tolerant weed numbers in different countries

序号 No.	国家 Country	种类 Type	序号 No.	国家 Country	种类 Type
1	澳大利亚	20	16	中国	2
2	美国	17	17	哥斯达黎加	2
3	阿根廷	15	18	以色列	2
4	巴西	11	19	马来西亚	2
5	西班牙	8	20	新西兰	2
6	加拿大	6	21	玻利维亚	1
7	墨西哥	6	22	智利	1
8	南非	4	23	捷克	1
9	哥伦比亚	4	24	匈牙利	1
10	希腊	4	25	印度尼西亚	1
11	意大利	4	26	波兰	1
12	日本	3	27	瑞士	1
13	巴拉圭	3	28	土耳其	1
14	葡萄牙	3	29	委内瑞拉	1
15	法国	3			

3 抗性治理的经验和教训

3.1 国际抗性治理经验与教训

3.1.1 靶病虫害抗性治理。美国、加拿大等发达国家及南非、乌拉圭、菲律宾等发展中国家都将庇护所策略纳入了转基因作物监管法规,强制要求农民在种植Bt作物时必须种植非Bt作物作为庇护所,并建立了相应的监管体系。此外,农民的自律意识对庇护所策略的实施也至关重要。发

家的种植者通常都是大农场主,受教育程度普遍较高,使得庇护所种植的合规率比较高。相反,在巴西、阿根廷等一些发展中国家,由于农民配合程度低,使得庇护所种植合规率不足30%,直接导致草地贪夜蛾在短时间内对Cry1F、Cry1Ab等Bt玉米中常用杀虫蛋白产生了抗性。同样地,在印度,由于农民对庇护所策略执行不严,导致红铃虫在4~5年就对第一代Bt棉花产生了抗性。

3.1.2 杂草抗性治理方面。根据目的基因、农田生态环境、杂草多样性等因素,科学合理地制定除草剂使用指南,在保证杂草防控效果的同时,控制除草剂使用频次及使用量,能有效降低除草剂抗性杂草的产生^[3-4]。种植耐受多种除草剂的转基因玉米时,应建立科学合理的除草剂轮换使用制度,避免常年连续使用一种除草剂或一类具有相同作用机制的除草剂^[5]。此外,杂草综合管理策略(IWM)是另一种有效的途径,包括作物轮作、种植覆盖作物、物理控制等^[70-71]。作物轮作能显著影响土壤中杂草种子库的种类和密度^[72],有利于降低杂草对除草剂产生抗性的风险^[73]。种植覆盖作物不仅减少了杂草在休耕期间的繁殖,而且增加了土壤微生物活性,有利于除草剂的降解,该方式在美国已广泛应用^[74-75]。通过物理方法控制杂草种子生产、花粉分散、繁殖体传播等,能够减少抗性杂草个体的生存和繁殖^[76-77]。

3.2 我国抗虫棉抗性治理实践 自1997年转基因抗虫棉推广应用以来,我国已有20多年的Bt棉种植历史,至今未在田间发现棉铃虫、红铃虫等靶标害虫对Bt棉产生实质抗性。在Bt棉抗性治理实践中总结的经验,可为我国转基因玉米、大豆产业化后的抗性治理提供重要参考价值。一是通过第三方鉴定确保Bt棉高剂量表达杀虫蛋白。在发放安全证书前,由农业农村部组织有资质的检测机构,对申请安全证书的Bt棉品种进行鉴定,鉴定指标包括杀虫蛋白表达量及抗虫效率,确保进入生产应用的Bt棉品种满足高剂量要求,且对棉铃虫具有很好的抗性。二是采用自然庇护所策略延缓棉铃虫抗性产生。结合靶标害虫棉铃虫的生物学特性、Bt棉推广区域的农业种植结构及我国国情,提出了自然庇护所策略。依托Bt棉种植区周围的大豆、花生、玉米等作物,为棉铃虫提供自然庇护所,Bt棉上少量存活的棉铃虫抗性个体与自然庇护所产生的敏感个体交配产生杂合个体,再利用Bt棉表达的杀虫蛋白杀死携带隐性抗性基因的棉铃虫杂合个体。三是利用种子混合庇护所策略延缓红铃虫抗性产生。红铃虫是寄主专一性较强的害虫,主要为害棉花,在Bt棉应用的前10年,抗性等位基因频率呈上升趋势,产生抗性的风险很大。随着Bt杂交棉的推广应用,一些育种机构以F₁代Bt杂交棉种子的后代(F₂代)作为商品种子,由于F₂代种子中约有25%为非转基因棉花,这样就形成了75%转基因种子+25%非转基因种子的种子混合庇护所模式。这类品种的推广,使得红铃虫的抗性等位基因频率显著下降,从而延缓了红铃虫抗性的产生。

4 我国转基因玉米大豆应用抗性治理策略

4.1 总体方案 以有序推进转基因玉米大豆产业化、延缓

害虫和杂草抗性产生为目标,立足我国农业基本国情,结合国内外实践,提出了我国转基因玉米大豆应用的抗性治理总方案。一是完善法规制度。进一步梳理转基因安全管理、种子管理法规等,从转基因品种研发的目标基因克隆、转化、转化体安全证书发放到品种审定、生产、销售、种植和安全监管全环节,制定延缓和防止抗性产生的技术路径和有效措施,确保转基因品种的安全应用和持续利用。二是完善标准体系。加强抗性治理相关标准体系建设,根据法规制度,制定抗性治理的标准,细化操作环节,让政策落地可行,确保落实研发者、销售者的主体责任和当地农业行政主管部门的属地化管理责任。三是加强宣传培训。加强抗性治理重要性和相关技术、措施的宣传贯彻培训工作,让研发者、生产者、使用者和管理者内化于心、外化于行,使各方想做、能做、规范做、有效做好抗性治理工作。四是实施长期抗性监测计划。依托现有部级检测机构网络,按生态区合理布局,长年开展主要靶标害虫种群(抗虫玉米种植区)和杂草自然种群(耐除草剂玉米和大豆种植区)的监测及抗性等位基因频率检测监测,建立区域性主要靶标害虫和杂草抗性进化模型,科学预测与防范风险。

4.2 治理措施

4.2.1 靶标害虫抗性治理措施。首先,根据我国玉米主产区的靶标害虫发生及迁移扩散为害规律,按照整体布局、源头治理的原则,做好周年繁殖虫源区抗性治理,从源头控制抗性种群。其次,多环节加强种源控制。在转化体研发方面,加强不同作用机制的抗虫基因研发,防止交互抗性产生,同时加强多基因聚合产品的研究,有效降低抗性风险;在转化体审批方面,根据不同生态区环境因素和农业种植结构,科学审批转化体的应用区域,因地制宜合理设置不同生态区、不同转化体的庇护所策略;在品种审定方面,加强转基因玉米品种的外源杀虫蛋白表达量测定及目标性状鉴定,确保产品符合高剂量要求。最后,建议因地制宜实行“一区一类基因一策”的害虫抗性治理措施。依据玉米种植区域特点及虫情发生规律进行区域划分,并确定各区域推荐的转基因抗虫玉米基因类型和配套庇护所策略。建议我国转基因抗虫玉米害虫抗性治理区域划分为北方春播玉米区、黄淮平原夏播玉米区、西部玉米种植区和南部玉米种植区,具体害虫抗性治理措施如表3所示。

4.2.2 杂草抗性治理措施。从耐除草剂品种培育与推广、目标除草剂科学使用、抗性监测等多个方面,综合制定杂草抗性治理的策略和具体措施。一是培育和推广耐受作用机理不同的多种除草剂的多基因聚合转基因作物品种,每隔4~5年,轮换使用作用机理不同的目标除草剂,减低除草剂选择压。二是对单基因耐除草剂作物品种,每隔4~5年,轮换种植另一类耐不同作用机理除草剂的转化体,配套相应的目标除草剂,进行可持续杂草防控。三是根据杂草抗性监测情况,选择性地使用能杀灭田间杂草、但对农作物生长没有影响的常规除草剂进行田间杂草防控,减低除草剂选择压。

表 3 我国玉米主要产区及害虫抗性治理策略

Table 3 Main maize producing areas and pest resistance management strategies in China

产区 Production area	涉及范围 Scope	基因类型 Gene type	治理策略 Governance strategy	
			高剂量要求 High dose requirements	庇护所设置 Shelter settings
北方春播玉米区 Northern spring corn planting area	同我国玉米种植区划中的北方春播玉米区	使用单基因或基因聚合抗虫玉米品种。单基因抗虫玉米采用 <i>cry1Ab</i> 或同等效能基因;基因聚合抗虫玉米采用 <i>cry1Ab</i> 或同等效能基因,及与前者无交互抗性的其他抗虫基因进行聚合	对主要靶害虫亚洲玉米螟的抗性达到高剂量要求	单基因抗虫玉米采用 20% 的种子混合庇护所或 20% 的结构化庇护所;基因聚合抗虫玉米采用 5% 的种子混合庇护所或 5% 的结构化庇护所
黄淮平原夏播玉米区 Summer corn planting area in Huanghuai Plain	同我国玉米种植区划中的黄淮平原夏播玉米区	使用多基因聚合转基因抗虫玉米品种。如采用 <i>cry1Ab</i> 和 <i>cry2Ab</i> 基因,或同等效能基因进行聚合	对主要靶害虫亚洲玉米螟和棉铃虫的抗性达到高剂量要求	在转基因抗虫玉米和抗虫棉共存的区域,采用 20% 的结构化庇护所;其他区域采用 5% 的种子混合庇护所或 5% 的结构化庇护所。在抗虫玉米与大豆(非抗虫)复合种植区域,可考虑大豆发挥的自然庇护所作用,具体问题需根据实际情况具体分析
西部玉米种植区 Western corn planting area	涵盖我国玉米种植区划中的西北内陆灌溉玉米区和青藏高原玉米区	使用多基因聚合抗虫玉米品种。如采用 <i>cry1Ab</i> 和 <i>cry2Ab</i> 基因,或同等效能基因进行聚合	对主要靶害虫亚洲玉米螟和棉铃虫的抗性达到高剂量要求	在转基因抗虫玉米和抗虫棉共存的区域,采用 20% 的结构化庇护所;其他区域采用 5% 的种子混合庇护所或 5% 的结构化庇护所
南部玉米种植区 Southern corn planting area	涵盖我国玉米种植区划中的西南山地丘陵玉米区和南方丘陵玉米区	使用基因聚合转基因抗虫玉米品种。如采用 <i>Vip3A</i> , <i>cry1Ab</i> 和 <i>cry2Ab</i> 基因,或同等效能基因进行聚合	对主要靶害虫草地贪夜蛾、黏虫和亚洲玉米螟等的抗性达到高剂量要求	采用 20% 的结构化庇护所。在条件允许的区域,可考虑自然庇护所作用,根据实际情况设置庇护所

注:结构化庇护所需设置在距离转基因抗虫玉米田 800 m 以内。

Note: The structured shelter needs to be set 800 m away from the transgenic insect-resistant corn field within.

参考文献

- [1] 国际农业生物技术应用服务组织. 2019 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, 2021, 41(1): 114-119.
- [2] ILS I. An evaluation of insect resistance management in Bt field corn: A science-based framework for risk assessment and risk management [M]. Washington, DC: ILSI Press, 1998: 78.
- [3] HOLM F A, KIRKLAND K J, STEVENSON F C. Defining optimum herbicide rates and timing for wild oat (*Avena fatua*) control in spring wheat (*Triticum aestivum*) [J]. Weed Technol, 2000, 14(1): 167-175.
- [4] BUSI R, POWLES S B, BECKIE H J, et al. Rotations and mixtures of soil-applied herbicides delay resistance [J]. Pest Manag Sci, 2020, 76(2): 487-496.
- [5] GREEN J M, HAZEL C B, FORNEY D R, et al. New multiple-herbicide crop resistance and formulation technology to augment the utility of glyphosate [J]. Pest Manag Sci, 2008, 64(4): 332-339.
- [6] HUANG F N, LEONARD B R, COOK D R, et al. Frequency of alleles conferring resistance to *Bacillus thuringiensis* maize in Louisiana populations of the southwestern corn borer [J]. Entomol Exp Appl, 2007, 122(1): 53-58.
- [7] CRESPO A L, SPENCER T A, ALVES A P, et al. On-plant survival and inheritance of resistance to Cry1Ab toxin from *Bacillus thuringiensis* in a field-derived strain of European corn borer, *Ostrinia nubilalis* [J]. Pest Manag Sci, 2009, 65(10): 1071-1081.
- [8] FARINÓS G P, DE LA POZA M, HERNÁNDEZ-CRESPO P, et al. Resistance monitoring of field populations of the corn borers *Sesamia nonagrioides* and *Ostrinia nubilalis* after 5 years of Bt maize cultivation in Spain [J]. Entomol Exp Appl, 2004, 110(1): 23-30.
- [9] SIEGFRIED B D, RANGASAMY M, WANG H C, et al. Estimating the frequency of Cry1F resistance in field populations of the European corn borer (Lepidoptera: Crambidae) [J]. Pest Manag Sci, 2014, 70(5): 725-733.
- [10] THIEME T G M, BUUK C, GLOYNA K, et al. Ten years of MON 810 resistance monitoring of field populations of *Ostrinia nubilalis* in Europe [J]. J Appl Entomol, 2018, 142(1/2): 192-200.
- [11] BERNARDI O, BERNARDI D, RIBEIRO R S, et al. Frequency of resistance to Vip3Aa20 toxin from *Bacillus thuringiensis* in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) populations in Brazil [J]. Crop Prot, 2015, 76: 7-14.
- [12] GHIMIRE M N, HUANG F N, LEONARD R, et al. Susceptibility of Cry1Ab-susceptible and-resistant sugarcane borer to transgenic corn plants containing single or pyramided *Bacillus thuringiensis* genes [J]. Crop Prot, 2011, 30(1): 74-81.
- [13] HUANG F N, GHIMIRE M N, LEONARD B R, et al. Extended monitoring of resistance to *Bacillus thuringiensis* Cry1Ab maize in *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) [J]. GM Crops Food, 2012, 3(3): 245-254.
- [14] ALCANTARA E, ESTRADA A, ALPUERTO V, et al. Monitoring Cry1Ab susceptibility in Asian corn borer (Lepidoptera: Crambidae) on Bt corn in the Philippines [J]. Crop Prot, 2011, 30(5): 554-559.
- [15] CAMARGO A M, ANDOW D A, CASTAÑERA P, et al. First detection of a *Sesamia nonagrioides* resistance allele to Bt maize in Europe [J]. Sci Rep, 2018, 8(1): 1-7.
- [16] 王月琴, 何康来, 王振营. 靶标害虫对 Bt 玉米的抗性发展和治理策略 [J]. 应用昆虫学报, 2019, 56(1): 12-23.
- [17] 王月琴. 亚洲玉米螟对不同 Bt 毒素的抗性演化规律研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2018.
- [18] 李国平, 姬婷婷, 孙小旭, 等. 入侵云南草地贪夜蛾种群对 5 种常用 Bt 蛋白的敏感性评价 [J]. 植物保护, 2019, 45(3): 15-20.
- [19] 张丹丹, 吴孔明. 国产 Bt-Cry1Ab 和 Bt-(Cry1Ab+Vip3Aa) 玉米对草地贪夜蛾的抗性测定 [J]. 植物保护, 2019, 45(4): 54-60.
- [20] WANG Y Q, WANG Y D, WANG Z Y, et al. Genetic basis of Cry1F-resistance in a laboratory selected Asian corn borer strain and its cross-resistance to other *Bacillus thuringiensis* toxins [J]. PLoS One, 2016, 11(8): 1-12.
- [21] SHABBIR M Z, QUAN Y D, WANG Z Y, et al. Characterization of the Cry1Ah resistance in Asian corn borer and its cross-resistance to other *Bacillus thuringiensis* toxins [J]. Sci Rep, 2018, 8(1): 1-9.
- [22] ESTRUCH J J, WARREN G W, MULLINS M A, et al. Vip3A, a novel *Bacillus thuringiensis* vegetative insecticidal protein with a wide spectrum of activities against lepidopteran insects [J]. Proc Natl Acad Sci USA, 1996, 93(11): 5389-5394.
- [23] LEE M K, WALTERS F S, HART H, et al. The mode of action of the *Bacillus thuringiensis* vegetative insecticidal protein Vip3A differs from that of Cry1Ab δ -endotoxin [J]. Appl Environ Microbiol, 2003, 69(8): 4648-4657.
- [24] HERNÁNDEZ-MARTÍNEZ P, HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ C S, VAN RIE J, et al. Insecticidal activity of Vip3Aa, Vip3Ad, Vip3Ae, and Vip3Af from *Bacillus thuringiensis* against lepidopteran corn pests [J]. J Invertebr Pathol, 2013, 113(1): 78-81.
- [25] 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.
- [26] YU Q, POWLES S. Metabolism-based herbicide resistance and cross-resistance in crop weeds: A threat to herbicide sustainability and global crop production [J]. Plant Physiol, 2014, 166(3): 1106-1118.
- [27] PETERSON M A, COLLAVO A, OVEJERO R, et al. The challenge of her-

- bicide resistance around the world: A current summary [J]. *Pest Manag Sci*, 2018, 74(10): 2246–2259.
- [28] MATZRAFI M, GADRI Y, FRENKEL E, et al. Evolution of herbicide resistance mechanisms in grass weeds [J]. *Plant Sci*, 2014, 229: 43–52.
- [29] MOSS S. Integrated weed management (IWM): Why are farmers reluctant to adopt non-chemical alternatives to herbicides? [J]. *Pest Manag Sci*, 2019, 75(5): 1205–1211.
- [30] HEAP I. Global perspective of herbicide-resistant weeds [J]. *Pest Manag Sci*, 2014, 70(9): 1306–1315.
- [31] SCARABEL L, PANOZZO S, LODDO D, et al. Diversified resistance mechanisms in multi-resistant *Lolium* spp. in three European countries [J]. *Front Plant Sci*, 2020, 11: 1–12.
- [32] GOLMOHAMMADZADEH S, ROJANO-DELGADO A M, VÁZQUEZ-GARCÍA J G, et al. Cross-resistance mechanisms to ACCase-inhibiting herbicides in short-spike canarygrass (*Phalaris brachystachys*) [J]. *Plant Physiol Biochem*, 2020, 151: 681–688.
- [33] VÁZQUEZ-GARCÍA J G, TORRA J, PALMA-BAUTISTA C, et al. Point mutations and cytochrome p450 can contribute to resistance to ACCase-inhibiting herbicides in three *Phalaris* species [J]. *Plants (Basel)*, 2021, 10(8): 1–12.
- [34] PORCIUNCULA L M, TEIXEIRA A R, SANTOS M F C, et al. Characterization data and kinetic studies of novel lipophilic analogues from 2,4-dichlorophenoxyacetic acid and Propanil herbicides [J/OL]. *Data Brief*, 2020, 32[2022–05–25]. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.106202>.
- [35] PORCIUNCULA L M, TEIXEIRA A R, SANTOS M F C, et al. Novel lipophilic analogues from 2,4-D and Propanil herbicides: Biological activity and kinetic studies [J]. *Chem Phys Lipids*, 2020, 231: 1–9.
- [36] OETTMEIER W. Herbicide resistance and supersensitivity in photosystem II [J]. *Cell Mol Life Sci*, 1999, 55(10): 1255–1277.
- [37] FUNAR-TIMOFEI S, BOROTA A, CRISAN L. Combined molecular docking and QSAR study of fused heterocyclic herbicide inhibitors of D1 protein in photosystem II of plants [J]. *Mol Divers*, 2017, 21(2): 437–454.
- [38] O' LOONEY N, FRY S C. The novel herbicide oxaziclonofone inhibits cell expansion in maize cell cultures without affecting turgor pressure or wall acidification [J]. *New Phytol*, 2005, 168(2): 323–329.
- [39] TRESCH S, HEILMANN M, CHRISTIANSEN N, et al. Inhibition of saturated very-long-chain fatty acid biosynthesis by mefluidide and perfluidone, selective inhibitors of 3-ketoacyl-CoA synthases [J]. *Phytochemistry*, 2012, 76: 162–171.
- [40] OLORUNSOGO O O, MALOMO S O. Sensitivity of oligomycin-inhibited respiration of isolated rat liver mitochondria to perfluidone, a fluorinated arylalkylsulfonamide [J]. *Toxicology*, 1985, 35(3): 231–240.
- [41] SAMMONS R D, GRUYS K J, ANDERSON K S, et al. Reevaluating glyphosate as a transition-state inhibitor of EPSP synthase: Identification of an EPSP synthase. EPSP. glyphosate ternary complex [J]. *Biochemistry*, 1995, 34(19): 6433–6440.
- [42] LICHTENTHALER H K, ZEIDLER J, SCHWENDER J, et al. The non-mevalonate isoprenoid biosynthesis of plants as a test system for new herbicides and drugs against pathogenic bacteria and the malaria parasite [J]. *Z Naturforsch C Biosci*, 2000, 55(5/6): 305–313.
- [43] BECKIE H J, ASHWORTH M B, FLOWER K C. Herbicide resistance management: Recent developments and trends [J]. *Plants (Basel)*, 2019, 8(6): 1–13.
- [44] NORSWORTHY J K, WARD S M, SHAW D R, et al. Reducing the risks of herbicide resistance: Best management practices and recommendations [J]. *Weed Sci*, 2012, 60: 31–62.
- [45] BECKIE H J, KIRKLAND K J. Implication of reduced herbicide rates on resistance enrichment in wild oat (*Avena fatua*) [J]. *Weed Technol*, 2003, 17(1): 138–148.
- [46] PFISTER K, STEINBACK K E, GARDNER G, et al. Photoaffinity labeling of an herbicide receptor protein in chloroplast membranes [J]. *Proc Nat Acad Sci USA*, 1981, 78(2): 981–985.
- [47] 龙迪, 王彦辉, 曾东强. 杂草对光系统II抑制剂的抗药性研究进展 [J]. *分子植物育种*, 2021, 19(4): 1383–1392.
- [48] BIANCHI A. Challenger: A new post-emergent herbicide to control *Sorghum halepense* and other weeds in maize [J]. *Malezas*, 1990, 18(1): 35–40.
- [49] MÜLLER K. Harmony—several years' experience with the control of weeds in maize [R]. *Zeitschrift Für Pflanzenkrankheiten Und Pflanzenschutz*, 1992.
- [50] WOODWORTH A, ROSEN B, BERNASCONI P. Broad range resistance to herbicides targeting acetolactate synthase (ALS) in a field isolate of *Amaranthus* sp. is conferred by a Trip to Leu mutation in ALS gene [J]. *Plant Physiol*, 1996, 111: 1353.
- [51] PATZOLDT W L, TRANEL P J. Multiple ALS mutations confer herbicide resistance in waterhemp (*Amaranthus tuberculatus*) [J]. *Weed Sci*, 2007, 55(5): 421–428.
- [52] TRANEL P J. Herbicide resistance in *Amaranthus tuberculatus* [J]. *Pest Manag Sci*, 2021, 77(1): 43–54.
- [53] MUDGE L C, GOSSETT B J, MURPHY T R. Resistance of goosegrass (*Eleusine indica*) to dinitroaniline herbicides [J]. *Weed Sci*, 1984, 32(5): 591–594.
- [54] HORAK M J, PETERSON D E. Biotypes of Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) and common waterhemp (*Amaranthus rudis*) are resistant to imazethapyr and thifensulfuron [J]. *Weed Technol*, 1995, 9(1): 192–195.
- [55] ANDERSON D D, ROETH F W, MARTIN A R. Occurrence and control of triazine-resistant common waterhemp (*Amaranthus rudis*) in field corn (*Zea mays*) [J]. *Weed Technol*, 1996, 10(3): 570–575.
- [56] DUKE S O. The history and current status of glyphosate [J]. *Pest Manag Sci*, 2018, 74(5): 1027–1034.
- [57] VAN GESSEL M J. Glyphosate-resistant horseweed from Delaware [J]. *Weed Sci*, 2001, 49(6): 703–705.
- [58] SIMARMATA M, KAUFMANN J E, PENNER D. Potential basis of glyphosate resistance in California rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) [J]. *Weed Sci*, 2003, 51(5): 678–682.
- [59] BECKIE H J. Herbicide-resistant weed management: Focus on glyphosate [J]. *Pest Manag Sci*, 2011, 67(9): 1037–1048.
- [60] FERREIRA E A, GALON L, ASPIAZÚ I, et al. Glyphosate translocation in hairy fleabane (*Conyza bonariensis*) biotypes [J]. *Planta Daninha*, 2008, 26(3): 637–643.
- [61] LEGLEITER T R, BRADLEY K W. Glyphosate and multiple herbicide resistance in common waterhemp (*Amaranthus rudis*) populations from Missouri [J]. *Weed Sci*, 2008, 56(4): 582–587.
- [62] VILA-AIUB M M, BALBI M C, GUNDEL P E, et al. Evolution of glyphosate-resistant johnsongrass (*Sorghum halepense*) in glyphosate-resistant soybean [J]. *Weed Sci*, 2007, 55(6): 566–571.
- [63] AVES C, BROSTER J, WESTON L, et al. *Conyza bonariensis* (flax-leaf fleabane) resistant to both glyphosate and ALS inhibiting herbicides in north-eastern Victoria [J]. *Crop Pasture Sci*, 2020, 71(9): 864–871.
- [64] WALSH M J, POWLES S B, BEARD B R, et al. Multiple-herbicide resistance across four modes of action in wild radish (*Raphanus raphanistrum*) [J]. *Weed Sci*, 2004, 52(1): 8–13.
- [65] SINGH V, DOS REIS F C, REYNOLDS C, et al. Cross and multiple herbicide resistance in annual bluegrass (*Poa annua*) populations from eastern Texas golf courses [J]. *Pest Manag Sci*, 2021, 77(4): 1903–1914.
- [66] MENGISTU L W, CHRISTOFFERS M J, LYM R G. A psbA mutation in *Kochia scoparia* (L) Schrad from railroad rights-of-way with resistance to diuron, tebuthiuron and metribuzin [J]. *Pest Manag Sci*, 2005, 61(11): 1035–1042.
- [67] LECLERE S, WU C X, WESTRA P, et al. Cross-resistance to dicamba, 2,4-D, and fluroxypyr in *Kochia scoparia* is endowed by a mutation in an *AUX/IAA* gene [J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2018, 115(13): E2911–E2920.
- [68] BAGAVATHIANNAN M V, NORSWORTHY J K. Multiple-herbicide resistance is widespread in roadside *Palmer* amaranth populations [J]. *PLoS One*, 2016, 11(4): 1–9.
- [69] 张翼翹. 全球抗草甘膦杂草的概况 [J]. *世界农药*, 2018, 40(3): 38–45.
- [70] SWANTON C J, WEISE S F. Integrated weed management: The rationale and approach [J]. *Weed Technol*, 1991, 5(3): 657–663.
- [71] OLIVEIRA M C, OSPITAN O A, BEGCY K, et al. Cover crops, hormones and herbicides: Priming an integrated weed management strategy [J/OL]. *Plant Sci*, 2020, 301[2022–05–25]. <https://doi.org/10.1016/j.plants.2020.110550>.
- [72] STEFAN L, ENGBERSEN N, SCHÖB C. Crop-weed relationships are context-dependent and cannot fully explain the positive effects of intercropping on yield [J]. *Ecol Appl*, 2021, 31(4): 1–12.
- [73] WEISBERGER D, NICHOLS V, LIEBMAN M. Does diversifying crop rotations suppress weeds? A meta-analysis [J]. *PLoS One*, 2019, 14(7): 1–12.
- [74] OWEN M D, BECKIE H J, LEESON J Y, et al. Integrated pest management and weed management in the United States and Canada [J]. *Pest Manag Sci*, 2015, 71(3): 357–376.

或配施,需根据土壤基础地力、前茬残留、作物品种、控释肥种类等综合因素具体分析。

4 结论

与常规复合肥相比,控释复合肥施用后,大豆植株农艺性状得到改善,各器官干物质积累及植株总生物量增加,同时提高了单株荚数和单粒粒数,最终促使产量和效益增加。不同用量的处理之间,以 300 kg/hm² 处理表现最好,与对照相比,增产 20.40%,增收 3 325.83 元/hm²,表明控释复合肥在大豆上的施用可行有效,可作为相似生态条件下高蛋白大豆生产中的推荐施肥方式。

参考文献

- [1] 张明伟,马泉,陈京都,等. 缓控释肥在冬小麦上的应用研究进展及展望[J]. 江苏农业科学,2022,50(2):15-21.
- [2] 翟彩娇,崔土友,张蛟,等. 缓/控释肥发展现状及在农业生产中的应用前景[J]. 农学学报,2022,12(1):22-27.
- [3] 李伟成,熊远福,文祝友,等. 缓控释肥的研究及其在水稻上的应用进展[J]. 湖南农业科学,2021(12):98-101.
- [4] 刘苹,李庆凯,林海涛,等. 不同缓控释肥对小麦产量、氮素吸收及氮肥利用率的影响[J]. 山东农业科学,2020,52(2):70-74.
- [5] 邓先亮,屠晓,李军,等. 缓控释肥一次性基施对小麦产量及其形成的影响[J]. 中国土壤与肥料,2019(3):87-93.
- [6] 肖其亮,朱坚,彭华,等. 秸秆与缓控释肥配施对双季稻田氨挥发的控制效果[J]. 农业环境科学学报,2021,40(12):2788-2800,2809.
- [7] 陈贵,鲁晨妮,石艳平,等. 不同缓控释肥搭配脲铵对水稻产量、氮素利用效率和土壤养分的影响[J]. 浙江农业学报,2021,33(1):122-130.
- [8] 史桂芳,董浩,于淑慧,等. 缓控释肥施用方式对夏玉米产量、肥料利用率及经济效益的影响[J]. 山东农业科学,2021,53(8):80-84.
- [9] 张焱,孔亮亮,杨跃华,等. 缓控释肥对糯玉米鲜苞产量和氮肥利用率的影响[J]. 河北农业科学,2021,25(1):70-74.
- [10] 程冬冬,郝率群,王燕,等. 高分子缓/控释肥在小油菜上的应用研究[J]. 北方园艺,2014(17):178-180.

(上接第 140 页)

叶厚、叶面积的影响效果不显著,却显著提高了油桃叶片叶绿素含量,与 Metwally 等^[12]报道生防菌可以提高洋葱叶片中的叶绿素、类胡萝卜素和总色素含量的研究结果一致。同时发现,单独喷施黑根霉发酵液影响效果最低。在果实保护方面,喷施生防菌发酵液可以有效提高油桃坐果率,其中哈茨木霉I与哈茨木霉II发酵液混合喷施效果最佳,坐果率达 43.37%。

综上,喷施生防菌发酵液可以显著提高油桃冠幅和茎粗,降低油桃株高,促进花器官的形成,提高油桃叶绿素含量并保障坐果率。单独喷施某一生防菌发酵液在某一性状上效果最佳,往往在其他性状上效果不显著。对于生防菌剂对油桃产量以及果实品质的影响还有待于进一步研究。

参考文献

- [1] 王志强,宗学普,刘淑娥,等. 我国油桃生产发展现状及其对策[J]. 柑桔与亚热带果树信息,2001,17(3):3-5.
- [2] 王鹏,韩娟,国淑梅,等. 土壤微生物菌剂对大棚油桃植株特性的影响研究[J]. 东北农业科学,2019,44(2):52-56.

(上接第 146 页)

- [75] SCHMIDT J H, JUNGE S, FINCKH M R. Cover crops and compost prevent weed seed bank buildup in herbicide-free wheat-potato rotations under conservation tillage[J]. Ecol Evol, 2019, 9(5):2715-2724.
- [76] WALSH M J, POWLES S B. Management of herbicide resistance in wheat

- [11] 胡雪菡,耿元波,梁涛. 缓控释肥在茶园中应用的研究进展[J]. 中国土壤与肥料,2018(1):1-8.
- [12] 纪耀坤,郭振升,田伟,等. 不同种类缓/控释肥料对麦套花生产量和品质的影响[J]. 河南农业科学,2021,50(11):47-54.
- [13] 席旭东,李效文,姬丽君. 缓控释肥不同施用量和施用方式对旱作区全膜马铃薯生长及产量的影响[J]. 干旱地区农业研究,2016,34(5):193-197.
- [14] 张迪,吕思琪,徐文越,等. 侧深施控释肥下寒地粳稻产量形成及氮素利用特性[J]. 中国土壤与肥料,2021(2):213-220.
- [15] 徐峰,钟文,胡昕,等. 不同品种缓控释肥对玉米产量性状·养分吸收及籽粒品质的影响[J]. 安徽农业科学,2021,49(24):172-174.
- [16] 黄思怡,周旋,田昌,等. 控释尿素减施对双季稻光合特性和经济效益的影响[J]. 土壤,2020,52(4):736-742.
- [17] 王永军,孙其专,杨今胜,等. 不同地力水平下控释尿素对玉米物质生产及光合特性的影响[J]. 作物学报,2011,37(12):2233-2240.
- [18] 杨吉顺,李尚霞,吴菊香,等. 控释肥对花生产量及干物质积累的影响[J]. 山东农业科学,2013,45(10):98-100,107.
- [19] 刘威,周剑雄,谢媛圆,等. 氮肥一次性基施对夏播鲜食甜玉米产量、品质和氮素利用效率的影响[J]. 作物杂志,2021(5):134-139.
- [20] 曾建华,潘孝忠,吉清妹,等. 控释掺混肥不同施用量对水稻产量的影响[J]. 广东农业科学,2014,41(24):72-75.
- [21] 王西芝,张娟,李洪梅,等. 不同控释肥种类和施用量对夏玉米产量的影响[J]. 农业科技通讯,2016(7):63-66.
- [22] NI B L, LIU M Z, LÜ S Y, et al. Novel slow-release multielement compound fertilizer with hydroscopicity and moisture preservation[J]. Industrial & engineering chemistry research, 2010, 49(10):4546-4552.
- [23] 闫东良,何灵芝,李欢,等. 控释尿素和普通尿素配比对不同氮效率玉米叶片衰老特性和土壤酶活性的影响[J]. 生态学报,2021,41(23):9410-9421.
- [24] 蒋丽萍,李国芳,苗中芹,等. 控释尿素与普通尿素不同掺混比例对夏玉米产量和氮素利用效率的影响[J]. 山东农业科学,2021,53(2):64-70.
- [25] 朱宝国,张春峰,于忠和,等. 控释尿素和普通尿素配施对土壤氮含量及大豆产量和品质影响[J]. 中国农学通报,2012,28(18):140-143.
- [26] 魏海燕,李宏亮,程金秋,等. 缓释肥类型与运筹对不同穗型水稻产量的影响[J]. 作物学报,2017,43(5):730-740.

- [3] 王志强,牛良,刘淑娥. 桃、油桃设施栽培研究现状与展望[J]. 果树科学,1998,15(4):340-346.
- [4] SUÁREZ-MORENO Z R, VINCHIRA-VILLARRAGA D M, VERGARA-MORALES D I, et al. Plant-growth promotion and biocontrol properties of few *Streptomyces* spp. isolates to control bacterial rice pathogens[J]. Frontiers in microbiology, 2019, 10:1-17.
- [5] 王芊. 木霉菌在生物防治上的应用及拮抗机制[J]. 黑龙江农业科学, 2001(1):41-43.
- [6] ZHAO X, KUIPERS O P. Identification and classification of known and putative antimicrobial compounds produced by a wide variety of Bacillales species[J]. BMC genomics, 2016, 17(1):1-18.
- [7] 戴以周,韦青侠. 几种生防菌剂对番茄的促生作用[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(18):121-122, 127.
- [8] 曲芝友,杨艳萍,张秀芳. 提高保护地油桃坐果率综合措施[J]. 新农业, 1997(4):37.
- [9] 黄丽丹,陈玉惠. 生防菌及相关生物技术在植物病害防治中的应用[J]. 西南林学院学报, 2006, 26(1):85-89.
- [10] 赵国其,林福呈,陈卫良,等. 绿色木霉对西瓜枯萎病苗期的控制作用[J]. 浙江农业学报, 1998, 10(4):206-209.
- [11] 张晓梦. 复合生防菌对洋葱根腐病害的防治与机理研究[D]. 兰州:兰州交通大学, 2021.
- [12] METWALLY R A, AL-AMRI S M. Individual and interactive role of *Trichoderma viride* and arbuscular mycorrhizal fungi on growth and pigment content of onion plants[J]. Letters in applied microbiology, 2020, 70(2):79-86.

- [77] PEROTTI V E, LARRAN A S, PALMIERI V E, et al. Herbicide resistant weeds: A call to integrate conventional agricultural practices, molecular biology knowledge and new technologies [J/OL]. Plant Sci, 2020, 290 [2022-05-25]. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110255>.