

杨 眉,褚 晋,田春晖,等. 二化螟抗药性研究进展[J]. 江苏农业科学,2023,51(20):15-20.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.20.003

# 二化螟抗药性研究进展

杨 眉<sup>1</sup>,褚 晋<sup>1</sup>,田春晖<sup>1</sup>,李佳宁<sup>2</sup>,刘欣宇<sup>3</sup>,于凤泉<sup>1</sup>

[1. 辽宁省农业科学院植物保护研究所,辽宁沈阳 110161; 2. 中国农业大学资源与环境学院,北京 100083;

3. 中国农业大学有机循环研究院(苏州),江苏苏州 215100]

**摘要:**本文综述近 20 年二化螟抗药性研究进展,包括二化螟抗药性现状、抗药性监测方法、抗药性机制和抗药性治理策略与途径,展望二化螟抗药性研究与应用。二化螟对常用登记农药均产生了不同程度的抗药性,对双酰胺类的氯虫苯甲酰胺及大环内酯类的阿维菌素和甲氨基阿维菌素苯甲酸盐的抗药性水平最高。抗药性监测方法有传统的生物检测法、区分剂量法、生物化学检测法。其中,生物化学检测法较精确,与传统检测法结合最为科学。在抗药性机制方面,主要有传统的代谢抗性和分子生物学方面的靶标抗性。后者进展迅速,钠离子通道、 $\gamma$ -氨基丁酸受体和乙酰胆碱酯酶等变异及其基因变异 3 个方面的机制研究较深。加强抗药性监测,对产生抗药性的区域采用轮换使用农药、避免应用具有交互抗性的农药等农药合理应用技术,以综合防控技术其他措施替代杀虫剂应用等,是二化螟抗药性治理的主要对策。未来在深入研究其抗药性产生机制的基础上,有针对地科学应用农药防治二化螟,可避免、延缓抗药性产生,延伸农药应用的周期,是抗药性治理的主要方向。

**关键词:**二化螟;抗药性;监测方法;抗性机制

**中图分类号:**S433.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)20-0015-05

二化螟(*Chilo suppressalis*)是世界水稻主产区东南亚与印度的主要害虫,钻蛀危害水稻、茭白等作物<sup>[1]</sup>。在各代卵孵化至 2 龄幼虫钻蛀入茎秆前的高峰期施用农药是防治二化螟见效最快和最为有效的方法。防治二化螟的主要农药是化学农药,涉及各类农药数十种<sup>[2]</sup>。据中国农药信息网所刊载的数据,截至 2022 年,防治二化螟的登记农药品种近 900 个,其中绝大多数为复配农药,化学农药单剂只有 30 种左右。一般长期使用同一种农药,通过自然选择,害虫适应性提高,即会产生抗药性<sup>[3-5]</sup>。昆虫经过 20~30 代农药选择,就会发生靶标基因突变,产生抗药性群体。二化螟 1 年从北到南发生 1~5 代不等,在数年到十数年即会产生抗药性群体从而产生抗药性。事实上,二化螟对各类农药的抗药性产生极迅速,相关研究报道颇多。本文综述报道二化螟抗药性近 20 年的研究进展,并展望其研究

与应用方向。

## 1 二化螟的抗药性现状

近年来,随着化学农药大量投入田间使用,二化螟已逐渐对杀虫剂产生抗药性。我国目前(2022 年)获得农药登记许可证的防治二化螟的杀虫剂有效成分共有 28 种,其中大部分均已出现了不同程度的抗性(表 1)。不同地区二化螟抗药性的强度存在一定差异,这与不同地区化学药剂的施用量和使用频率有着直接的联系<sup>[6-7]</sup>。二化螟对常用化学杀虫剂均产生了不同程度的抗性。其中,对双酰胺类的氯虫苯甲酰胺及大环内酯类的阿维菌素和甲氨基类阿维菌素苯甲酸盐的抗药性水平最高。不同地理群的高抗药性杀虫剂种类不同,对同一杀虫剂的抗药水平差异较大。

## 2 二化螟抗药性的监测方法

长期以来,对二化螟等农业害虫的抗药性监测一直采用基于敏感度的生物测定检测方法。随着分子生物学的快速发展,一系列新的监测方法逐步在昆虫抗药性领域进行了应用,极大地丰富了抗药性监测的途径和方法。

收稿日期:2023-02-10

基金项目:辽宁省农业科学院学科建设项目(编号:2022DD082613);

国家重点研发计划(编号:2018YFD0200208-A02)。

作者简介:杨 眉(1982—),女,辽宁沈阳人,硕士,助理研究员,从事水稻虫害研究。E-mail:yangmei6@163.com。

通信作者:于凤泉,研究员,从事水稻虫害综合防控技术研究工作。

E-mail:yfq69@aliyun.com。

表 1 二化螟对常用登记农药的抗药性水平<sup>[8-11]</sup>

类型	杀虫剂	监测地点	监测年份	抗药性水平
双酰胺类	氯虫苯甲酰胺	浙江象山	2017	高水平抗性
唑类	三唑磷	江苏里下河	2018	中等水平抗性
氨基甲酸酯类	甲氧虫酰肼	浙江余姚	2018	中等水平抗性
烟碱类	呋虫胺	江西南昌	2017	中等水平抗性
吡唑杂环类	四唑虫酰胺	江西南昌	2019	低水平抗性
沙蚕毒类	杀虫双	湖北武汉	2014	低水平抗性
沙蚕毒类	杀虫单	四川富顺	2018	低水平抗性
大环内酯类	阿维菌素	湖南攸县	2018	高水平抗性
大环内酯类	甲氨基阿维菌素苯甲酸盐	浙江苍南	2018	高水平抗性
有机氮类	杀螟丹	安徽宣州	2006	低水平抗性
有机氯类	多杀菌素	江西南昌	2018	中等水平抗性
有机氯类	乙基多杀菌素	安徽潜山	2018	中等水平抗性
有机氯类	丁虫脒	江西南昌	2014	低水平抗性
有机磷类	毒死蜱	浙江余姚	2018	中等水平抗性
有机磷类	丙溴磷	江西南昌	2014	高水平抗性
有机磷类	稻丰散	江西南昌	2011	低水平抗性
有机磷类	啶硫磷	广东清远	2017	低水平抗性
有机磷类	杀螟硫磷	日本冈山	1987	高水平抗性
有机磷类	乐果	中国台湾	1991	中等水平抗性
有机磷类	二嗪磷	江苏南京	2012	低水平抗性
有机磷类	敌百虫	日本冈山	1992	中等水平抗性

2.1 生物检测法

当前共有 3 种传统方法适用于二化螟抗药性的监测,分别为毛细管点滴法、稻苗浸渍法、人工饲料药膜法。毛细管点滴法相对于稻苗浸渍法具有供试虫体受药量准确、测定误差小、重复性好等优点,主要适用于在室内进行的抗药性测定,也是应用最广泛的一种方法。但该方法也存在着一定的问题缺陷,比如毛细管点滴法较为适用于反映杀虫剂的触杀毒力,对于胃毒作用则不能很好地体现。稻苗浸渍法能够较好地还原田间二化螟受药情况,操作相对简单,通常适用于处理 6 d 后进行二化螟死亡情况的调查。以上 2 种方法在农业行业标准 NY/T 2058—2014《水稻二化螟抗药性监测技术规程》中均有所应用<sup>[12]</sup>。另有人工饲料药膜法,已有学者将其与毛细管点滴法进行了比较试验,认为人工饲料药膜法能够弥补毛细管点滴法只反映触杀与供试幼虫高龄的缺点<sup>[13]</sup>。

2.2 区分剂量法

区分剂量法是昆虫抗药性监测中的一种重要方法,其基本步骤包括:首先,选择适当的杀虫剂,通过先前的研究确定该杀虫剂的致死剂量(LD)和

最小抑制剂量(RD),然后在这 2 个剂量之间加入适当的剂量,称为区分剂量(DD)。接着,将一定数量的昆虫暴露在不同剂量的杀虫剂上,记录昆虫的存活率。最后,利用存活率数据,通过一系列的计算和分析,判断昆虫种群是否存在抗药性。区分剂量法的优点在于其快速、简便、精准,可以在实验室或田间进行。同时,该方法还能够区分昆虫种群中的敏感个体和抗药个体,可以评估抗药性的程度和类型。不过,该方法也存在一定的局限性,如需要先前的研究确定杀虫剂的 LD 和 RD 值,而这些值可能因不同地区、不同昆虫种类而存在差异。此外,昆虫种群中抗药性的机制也可能会影响区分剂量法的结果,需要进行进一步研究和验证。

2.3 生物化学检测法

生物化学检测法是一种通过测量昆虫体内代谢产物来检测抗药性的方法。该方法的核心原理是比较对照组和处理组的代谢产物含量差异,从而判断昆虫对某种农药的抗性水平。该方法通常使用色谱质谱技术、气相色谱-质谱联用技术等,来检测代谢产物的含量。例如,在对抗性菜青虫进行生物化学分析时,可以检测其体内的解毒酶含量,

如谷胱甘肽-S-转移酶(GST)、酯酶等。这些解毒酶可以帮助昆虫代谢和解毒农药分子,从而减轻其毒害作用,是昆虫抗药性的一个主要机制。生物化学分析法的优点在于可以提供有关昆虫抗药性机制的深入了解,同时也可以用于检测一些新型农药在昆虫体内的代谢和解毒情况。然而,该方法也存在一些限制,例如需要对代谢产物进行分离和鉴定,且在实验过程中需要严格控制实验条件以确保可靠性和重复性。此外,该方法通常需要对不同种类的昆虫进行研究,因为昆虫的抗药性机制和代谢产物可能存在差异。

### 3 二化螟抗药性的机制

目前已有的报道,同大部分昆虫产生抗药性的机理一样,二化螟抗药性产生的主要原因是杀虫剂种类的增加及广泛和高剂量使用,使昆虫的基因组发生了相应的变化<sup>[14-15]</sup>。根据抗药性产生的机理,最主要的是代谢抗性和靶标抗性。

#### 3.1 代谢抗性

代谢抗性指的是在昆虫长期进化过程中,通过增强或改变自身的代谢能力,将农药转化成无毒代谢产物或者快速排出体外,从而减少农药对其的毒性作用<sup>[16]</sup>。该过程涉及多种酶,而酶活性的变化往往是由基因改变引发的。其中与二化螟代谢抗性密切相关的解毒酶系主要有3种:多功能氧化酶、谷胱甘肽-S-转移酶和非专一性酯酶。

**3.1.1 多功能氧化酶** 多功能氧化酶系(MFOs)包含细胞色素 P450、NADPH-细胞色素 P450 还原酶等多种酶。MFOs 活性升高是许多昆虫对杀虫剂产生抗性的重要机理<sup>[17]</sup>。在二化螟体内,MFOs 主要分布于中肠、脂肪体和马氏管,其中以中肠的活力最高,这种分布使其最大限度地发挥作用,杀虫剂在其体内尚未达到靶标之前便被酶解<sup>[18]</sup>。

**3.1.2 谷胱甘肽-S-转移酶** 谷胱甘肽-S-转移酶(GSTs)是一种催化还原型谷胱甘肽与各种亲电性毒性物质进行反应的酶,可以与杀虫剂、醌类化合物及过氧化物等进行结合,从而降低上述物质在昆虫体内的有效浓度,进而保护生物体免受其危害,起到解毒作用<sup>[19]</sup>。昆虫体内含有2种类型的GST,分别为胞质型和微粒体型,其中胞质型GST在种类上要远多于微粒体型。对于二化螟,已有学者在其体内中鉴定得到了23个GST基因,这些GST基因在不同组织中的表达模式存在着较大的差异,并且

对于不同杀虫剂的表达模式也有很大的不同<sup>[20]</sup>。对于氯虫苯甲酰胺,二化螟体内的 *CsGSTd1* 等10个GST基因可能参与了解毒代谢;而对于阿维菌素,则有16个GST基因在药剂处理后呈现上调表达。

**3.1.3 非专一性酯酶** 酯酶(EST)是一种广泛存在于昆虫中的酶类,能够水解酯类化合物<sup>[21]</sup>。在昆虫体内中,酯酶经常被用来代谢许多农药的酯基,包括氨基甲酸酯、有机磷和卡巴胺等。因此,昆虫体内酯酶活性的增加或突变往往会导致农药的代谢抗性。具体来说,酯酶抗药性的机制包括2种类型:数量性状遗传和突变遗传。数量性状遗传表现为昆虫体内酯酶活性的增加,这种抗药性具有较高的遗传可塑性,通常是由多基因底物控制的复杂性状。而突变遗传则表现为酯酶基因的突变,导致酶活性的增加或升高酶的亲和力,这种抗药性具有较强的遗传稳定性,通常由单个基因控制。此外,一些研究还表明,酯酶抗药性还可能与其他因素相互作用,如昆虫的生长发育、代谢途径和内分泌调节等。在笔者近期关于二化螟抗药性的研究中发现,相对于GST与AChE,羧酸酯酶与二化螟对阿维菌素抗药性水平的关联度最低。而在二化螟对氟虫腈的抗性研究中却发现其体内的羧酸酯酶活性与抗药性水平呈现正相关关系,与GST的活性相关性则并不显著。由此可见,相同的酶系对于不同的杀虫剂未必能起到相同水平的解毒作用<sup>[22]</sup>。

#### 3.2 靶标抗性

昆虫的靶标抗性是指昆虫通过突变或基因表达调节等方式,使得它们体内所含的靶标分子对杀虫剂的敏感性降低,从而表现出对该类杀虫剂的抗性<sup>[23]</sup>。靶标抗性是昆虫抗药性的重要机制之一。昆虫的靶标通常是神经系统的化学传递物质,例如钠离子通道、 $\gamma$ -氨基丁酸受体(GABA)和乙酰胆碱酯酶(AChE)等。

**3.2.1 钠离子通道** 钠离子通道在昆虫的神经和肌肉系统中发挥重要作用,是许多杀虫剂的主要作用靶标<sup>[24]</sup>。昆虫的钠离子通道可以分为2类:神经型和肌肉型。神经型钠离子通道在昆虫神经系统中发挥重要作用,主要负责神经传递过程中的钠离子进出。神经型钠离子通道是多种杀虫剂的主要作用靶标,包括拟除虫菊酯、氯化氰菊酯等。一些昆虫通过突变或表达不同的钠离子通道亚型来产生对这些杀虫剂的抗性。肌肉型钠离子通道在昆虫肌肉系统中发挥作用,主要参与肌肉收缩和运动

调节。肌肉型钠离子通道是一些芳香族化合物类杀虫剂的主要作用靶标,例如氯氟苯菊酯等。一些昆虫通过突变或表达不同的钠离子通道亚型来产生对这些杀虫剂的抗性。总体来说,钠离子通道的抗性突变主要通过 2 种方式产生:一是改变杀虫剂与钠离子通道结合的亲和力,从而降低杀虫剂的有效浓度;二是改变钠离子通道自身的功能,使得钠离子的通透性降低,从而减少杀虫剂对昆虫神经和肌肉系统的影响<sup>[25]</sup>。

**3.2.2  $\gamma$ -氨基丁酸受体**  $\gamma$ -氨基丁酸(GABA)是一种重要的神经递质,在昆虫神经系统中发挥着重要的调节作用<sup>[26]</sup>。GABA 受体是一种离子通道受体,它的功能是接受 GABA 的信号并在神经元膜上形成离子通道,导致氯离子进入神经元从而抑制神经元的兴奋性。因此,GABA 受体在昆虫的神经递质传递过程中扮演着重要的角色。一些研究表明,GABA 能够增强某些杀虫剂的杀虫效果,从而抑制昆虫抗药性的发生。例如,GABA 能够增强某些类杀虫剂类药物的杀虫效果,对一些类杀虫剂抗性的昆虫也具有杀灭作用。一些研究发现,昆虫在经历了某些杀虫剂的选择压力后,其 GABA 受体可能会发生变化,导致昆虫对 GABA 类杀虫剂的抗性增强。这是因为 GABA 受体是一种靶标抗性的机制,昆虫经过多次暴露于 GABA 类杀虫剂后,可能会导致其 GABA 受体的变异或表达量的改变,从而降低杀虫剂对昆虫的杀伤效果<sup>[27]</sup>。

**3.2.3 乙酰胆碱酯酶** 乙酰胆碱酯酶(AChE)活性的增强被认为是导致昆虫对氨基甲酸酯类农药产生抗性的重要机制,在面对杀虫剂的胁迫时,乙酰胆碱酯酶的活性通常被用来作为评价昆虫抗药性的典型指标<sup>[28-30]</sup>,在关于对白纹伊蚊等卫生害虫以及二化螟等农业害虫的抗药性研究中均发现了乙酰胆碱酯酶活性与昆虫的抗药性存在着明显的正相关关系<sup>[31-32]</sup>。从分子生物学的角度来看,乙酰胆碱酯酶的基因突变往往会对昆虫的抗药性产生明显的影响,尤其会使其对有机磷及氨基甲酸酯类农药的敏感性降低<sup>[33]</sup>。在国外,已有学者证明了包括二化螟在内的 9 种对有机磷存在抗性的鳞翅目昆虫的体内均出现了乙酰胆碱酯酶基因的突变<sup>[34]</sup>。

## 4 二化螟抗药性的治理

对二化螟的抗药性进行治理的目的在于保持二化螟对化学药剂的敏感性,进而达到以低剂量控

制虫害的目的<sup>[35]</sup>。当前,对于害虫抗药性的治理有着多种方案,其中具有代表性的是适度治理和多项进攻治理<sup>[36]</sup>。适度治理主要通过降低施药频率、减少杀虫剂施用量使得害虫对杀虫剂仍保持一定的敏感性。多项进攻治理主要通过多种具有不同作用机制的杀虫剂进行交互使用或混合使用的方式,使害虫体内的靶标位点不会因产生突变而形成抗药性。二化螟的抗药性不断上升,对我国水稻产量造成了极大的威胁,结合上述害虫抗性的治理方案以及相关的研究报道,当前对二化螟抗药性的治理共有如下几种方式。

### 4.1 加强二化螟抗药性的监测

抗药性监测是二化螟抗药性治理的重要技术基础,明确不同地区二化螟对杀虫剂的抗药性水平可以为合理制定抗性治理方案提供科学依据<sup>[37]</sup>。对于新研发的杀虫剂,在进行田间应用的同时,开展监测能够及时掌握二化螟对其抗药性的变化动态。

### 4.2 合理使用杀虫剂

当前导致二化螟抗药性不断上升的重要原因之一是化学药剂的不合理使用,使用频率过高、施用量过大等现象时常发生。当前关于二化螟对化学药剂交互抗性的研究较少,据报道二化螟对双酰胺类杀虫剂产生了交互抗性,在浙江地区对氯虫苯甲酰胺和氟苯虫酰胺已产生高水平抗性的二化螟田间种群展开研究,发现溴氰虫酰胺、四氯虫酰胺、氯氟虫酰胺、氯虫苯甲酰胺和氟苯虫酰胺之间存在着交互抗性<sup>[38]</sup>。对于已产生抗药性的化学药剂和具有交互抗性的药剂进行限制使用,以不同作用机制的药剂进行替代使用,能够有效降低二化螟的抗药性水平。另外,将不同作用机制的化学药剂进行合理地混用可以作用到二化螟的多个靶标位点,进而避免单一药剂的使用导致二化螟体内抗药性相关基因发生突变。

### 4.3 其他措施

采取多种防治手段综合防治水稻二化螟可以延缓其抗药性产生,包括农业防治、生物防治以及物理防治等。由于二化螟是钻蛀性害虫,蛀入水稻茎秆之后,难以有效防治,故精准把握防治时间尤为重要,需在二化螟孵卵高峰期进行防治才能够取得良好的防治效果<sup>[39]</sup>。在农业防治方面,首先要选育抗虫品种,另外在农事操作方面,水稻带药移栽、灌水杀蛹、收获时低割茎秆、焚烧稻茬等能够有效降低二化螟的越冬存活率<sup>[40]</sup>。此外,在田间生产中捻

埂种植大豆,涵养天敌,可一定程度上降低二化螟的发生。在生物防治方面选择效果良好的生物防治药剂,如使用苏云金芽孢杆菌、球孢白僵菌、短稳杆菌等均可以对二化螟起到较好的防治作用。在物理防治方面,松毛虫赤眼蜂和稻螟赤眼蜂等二化螟的寄生性天敌可以对其长期有效地控制<sup>[41]</sup>,性诱剂和杀虫灯已成为一种较成熟的防治二化螟的途径<sup>[42]</sup>。

## 5 展望

未来的研究应该着重于以下几个方面:(1)深入探究二化螟抗药性的机制。研究二化螟抗药性的机制可以更好地了解二化螟如何适应农药压力,从而制定更有效的防治措施。例如,可以进一步研究二化螟的代谢途径、靶标位点和蛋白质结构等,以更全面地了解其抗药性的机制。(2)探寻新型防治策略。目前已经有一些延缓二化螟抗药性的方法,如轮换使用农药、使用生物农药等,但是这些方法仍然存在不足之处。因此,未来的研究重点应为寻找新型的防治策略,如利用 RNA 干扰技术、基因编辑技术等,以降低对农药的依赖程度。(3)提高农户的绿色防治意识,加强宣传教育,使其能够正确理解和使用农药,提升其操作技能,延缓水稻二化螟抗药性产生。

## 参考文献:

- [1] 杨 眉,孙富余,邵凌云,等. 水稻及茭白二化螟不同龄期幼虫耐寒性比较[J]. 中国植保导刊,2023,43(2):11-16.
- [2] 戴长庚,李鸿波,魏 琪,等. 5 种杀虫剂对二化螟不同龄期幼虫的毒力和防效[J]. 杂交水稻,2022,37(3):25-28.
- [3] 张 帅,舒宽义,黄向阳,等. 水稻二化螟抗药性治理的田间试验研究[J]. 中国植保导刊,2017,37(8):61-64.
- [4] 徐 鹿,罗光华,金瑜剑,等. 转录组测序分析毒死蜱与醚菊酯混配对二化螟毒杀的增效机制[J]. 江苏农业学报,2021,37(2):317-325.
- [5] 张珏锋,张 琴,李 芳,等. 氯虫苯甲酰胺胁迫下二化螟中肠细菌类微生物的多样性[J]. 中国水稻科学,2020,34(6):586-594.
- [6] 徐丽娜,周子燕,胡 飞,等. 安徽省二化螟不同地理种群对主要杀虫剂的敏感性[J]. 安徽农业大学学报,2018,45(4):740-744.
- [7] 黄孝龙,吴珍平,杨 晨,等. 江西省部分地区水稻二化螟抗药性检测[J]. 生物灾害科学,2018,41(1):25-28.
- [8] 赵思琪. 水稻二化螟的抗药性监测及对氯虫苯甲酰胺的抗性遗传特性[D]. 南京:南京农业大学,2019:1-33.
- [9] 薛钊鸿. 浙江省二化螟不同地理种群的抗药性监测及室内复配配方筛选[D]. 南京:南京农业大学,2019:6-12.
- [10] 杨 进,陆明星. 扬州市水稻二化螟对不同杀虫剂抗性水平的监测[J]. 乡村科技,2020,11(28):101-103.
- [11] 张 帅. 2020 年全国农业有害生物抗药性监测结果及科学用药建议[J]. 中国植保导刊,2021,41(2):71-78.
- [12] 中华人民共和国农业部. 水稻二化螟抗药性监测技术规程 毛细管点滴法:NY/T 2058—2011[S]. 北京:中国农业出版社,2011.
- [13] 张 扬,王保菊,韩 平,等. 二化螟抗药性检测方法比较和抗药性监测[J]. 南京农业大学学报,2014,37(6):37-43.
- [14] 吴有刚,金 京,杨胜祥,等. 昆虫抗药性产生机制[J]. 生物安全学报,2019,28(3):159-169.
- [15] 姜卫华. 二化螟的抗药性及综合防治研究[D]. 南京:南京农业大学,2011.
- [16] 裴新国,张 帅,张彦超,等. 褐飞虱对氟啶虫胺腈的抗性监测与生化抗性机制[J]. 植物保护,2022,48(3):39-46.
- [17] 吕栋标,张战利,冷春蒙,等. 梨小食心虫幼虫中肠中高表达消化酶和解毒酶基因的筛选[J]. 昆虫学报,2022,65(11):1411-1425.
- [18] Shi H X, Pei L H, Gu S S, et al. Glutathione S-transferase (GST) genes in the red flour beetle, *Tribolium castaneum*, and comparative analysis with five additional insects[J]. Genomics, 2012, 100(5): 327-335.
- [19] Meng X K, Wu Z L, Jiang C Y, et al. Identification and characterization of glutathione S-transferases and their potential roles in detoxification of abamectin in the rice stem borer, *Chilo suppressalis* [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2022, 182:105050.
- [20] Xu Y L, He P, Zhang L, et al. Large-scale identification of odorant-binding proteins and chemosensory proteins from expressed sequence tags in insects[J]. BMC Genomics, 2009, 10:632.
- [21] 杨 眉,褚 晋,邵凌云,等. 辽宁省不同地区水稻二化螟对阿维菌素的抗药性研究[J]. 中国稻米,2022,28(6):94-97.
- [22] 秦梦真,高正辉,徐义流,等. 草地贪夜蛾对农药主要抗性机制的概述[J]. 植物保护学报,2020,47(4):692-697.
- [23] Huang Y Z, Wu X Z, Zhang P, et al. Peptide-rich venom from the spider *Heteropoda venatoria* potently inhibits insect voltage-gated sodium channels[J]. Toxicon, 2017, 125:44-49.
- [24] 罗 吉. 敏钊缨毛蛛毒素与电压门控钠离子通道作用机制研究[D]. 长沙:湖南师范大学,2014:39-62.
- [25] Qiao Z, Ji Y F, Zhang Y C, et al. Azobenzene-Isoxazoline as photopharmacological ligand for optical control of insect GABA receptor and behavior [J]. Pest Management Science, 2021, 78(2):467-474.
- [26] 王 京,何秉青,华登科,等. 西花蓟马 GABA 受体基因鉴定及 FoRDL 在多杀霉素抗性中的作用[J]. 昆虫学报,2021,64(8):943-955.
- [27] Yang Y J, Dong B Q, Xu H X, et al. Decrease of insecticide resistance over generations without exposure to insecticides in *Nilaparvata lugens* (Hemipteran: Delphacidae) [J]. Journal of Economic Entomology, 2014, 107(4):1618-1625.
- [28] 黄 磊,彭英传,韩召军. 大螟乙酰胆碱酯酶基因的克隆及其多态性分析[J]. 南京农业大学学报,2019,42(6):1050-1058.
- [29] 徐继伟,张 祥,王文倩,等. 云南省不同烟区烟田烟蚜解毒酶和保护酶的活性分析[J]. 南方农业学报,2018,49(12):2440-2446.

沙 琴,陈 新,薛晨晨,等. 江苏省主要经济作物种业现状分析与发展对策[J]. 江苏农业科学,2023,51(20):20-27.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.20.004

# 江苏省主要经济作物种业现状分析与发展对策

沙 琴<sup>1</sup>, 陈 新<sup>1</sup>, 薛晨晨<sup>1</sup>, 沈 一<sup>1</sup>, 许乃银<sup>1</sup>, 付三雄<sup>1</sup>, 亢志华<sup>2</sup>, 张洁夫<sup>1</sup>, 李 健<sup>1</sup>

(1. 江苏省农业科学院经济作物研究所, 江苏南京 210014; 2. 江苏省农业科学院农业经济与发展研究所, 江苏南京 210014)

**摘要:**大豆、油菜等主要经济作物为江苏省传统优势农业产业,是江苏省农作物多元轮作、深化供给侧改革和实施“乡村振兴”的重要抓手。以大豆、油菜为研究对象,从科研育种力量、品种审定、品种登记、品种推广、知识产权以及相关种子企业分布等方面调查分析江苏省主要经济作物的种业现状,剖析当前大豆、油菜种业创新发展面临的自主创新能力弱、育繁推环节割裂、突破性品种缺乏等“卡脖子”问题,从打好差异化聚焦战略、打造品种选用共同体、加强推广体系建设、扶持种业龙头企业、推进“走出去”战略等方面提出针对性举措,探索种业双循环发展新路径,以适应江苏省经济作物产业实际,促进江苏省种业高质量发展。

**关键词:**种业现状;大豆;油菜;经济作物;企业;江苏省;发展对策

**中图分类号:**F326.12 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)20-0020-08

种业是扛稳国家粮食安全重任的基础“芯片”产业,提高良种化水平、解决种子“卡脖子”问题、打好种业“翻身仗”是十九届五中全会和 2020 年中央经济工作会议对今后种业发展提出的目标要求。2021 年 7 月 9 日,中央全面深化改革委员会第二十

次会议审议通过《种业振兴行动方案》,国家发展和改革委员会、农业农村部随后联合印发了《“十四五”现代种业提升工程建设规划》,为我国种业发展进行全面的谋篇布局。近年来,我国大豆、油菜等经济作物种业发展面临严峻的挑战,预计未来较长时期内,仍将面临供给严重不足、进口压力增加的局面,食用油安全保供压力巨大。大豆、油菜等经济作物作为江苏省农业发展的传统优势产业和农民增收致富的特色产业,是江苏省农作物多元轮作、深化供给侧改革和实施“乡村振兴”的重要抓手,提升大豆、油菜等主要经济作物种业的核

收稿日期:2022-11-23

基金项目:中国共产党江苏省委员会农村工作领导小组办公室、江苏省农业农村厅乡村振兴软科学研究课题(编号:21ASS041)。

作者简介:沙 琴(1983—),女,江苏泰兴人,硕士研究生,副研究员,主要从事农业科技管理研究。E-mail:582954084@qq.com。

通信作者:陈 新,博士,研究员,主要从事作物遗传育种研究。E-mail:cx@jaas.ac.cn。

[30]熊进峰,黎彩霞,艾 辉,等. 武汉市登革热媒介白纹伊蚊对常用杀虫剂的敏感性研究[J]. 中国热带医学,2021,21(11):1089-1092.

[31]黄诚华,方 琦,叶恭银,等. 二化螟幼虫抗药性相关酶系的组织及亚细胞分布特征[J]. 广西农业科学,2009,40(2):153-158.

[32]刘 芳,孙作洋,赵士熙,等. 乙酰胆碱酯酶性质改变与昆虫抗药性的关系[J]. 华东昆虫学报,2006,15(3):187-191.

[33]Reyes-Espinosa F, Méndez-Álvarez D, Pérez-Rodríguez M A, et al. In silico study of the resistance to organophosphorus pesticides associated with point mutations in acetylcholinesterase of Lepidoptera; *B. mandarina*, *B. mori*, *C. auricilius*, *C. suppressalis*, *C. pomonella*, *H. armigera*, *P. xylostella*, *S. frugiperda*, and *S. litura* [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2019, 20(10):2404.

[34]刘成社,周群芳,张立良,等. 安徽沿江稻区二化螟抗药性动态及治理对策[J]. 中国植保导刊,2011,31(4):43-45.

[35]张 凯,曹凯歌,周长勇,等. 稻田二化螟综合防治研究进展

[J]. 浙江农业科学,2022,63(3):564-568,572.

[36]Meng H R, Huang R, Wan H, et al. Insecticide resistance monitoring in field populations of *Chilo suppressalis* Walker (Lepidoptera: Crambidae) from central China [J]. Frontiers in Physiology, 2022, 13:1029319.

[37]赵丹丹,周丽琪,张 帅,等. 二化螟对双酰胺类杀虫剂的抗药性监测和交互抗性研究[J]. 中国水稻科学,2017,31(3):307-314.

[38]吴树业,郑晓微,范仰东,等. 乙多·甲氧虫防治抗性二化螟效果及技术探讨[J]. 浙江农业科学,2018,59(9):1555-1557.

[39]孙秀娟,李 妍,朱利群,等. 秸秆集中掩埋还田深度对二化螟幼虫越冬存活率和出土规律的影响[J]. 江苏农业学报,2012,28(4):743-747.

[40]刘万才,张政兵,贺平均,等. 植保无人机释放赤眼蜂球防治二化螟的效果[J]. 中国植保导刊,2022,42(4):44-47.

[41]陈 雁,杨俊杰,贺 军,等. 灯诱和性诱在水稻二化螟测报上的应用研究[J]. 湖北植保,2018(2):40-42,58.