

红绶曲霉 ACB1042 与四唑虫酰胺混配对亚洲玉米螟的田间防效及玉米产量影响

袁梓涵^{1,2}, 王小武¹, 付开赞¹, 贾尊尊¹, 吐尔逊·阿合买提¹,
郭文超¹, 丁新华¹

(1. 新疆农业科学院植物保护研究所/新疆农业生物安全重点实验室, 乌鲁木齐 830091; 2. 新疆农业大学, 乌鲁木齐 830052)

摘要: 通过在玉米田利用植保无人机喷施 20% 四唑虫酰胺 SC 和 1×10^8 孢子/mL 红绶曲霉 ACB1042 孢子悬浮液及其 4:1 比例混配液, 比较 20% 四唑虫酰胺 SC 与红绶曲霉 ACB1042 混配对亚洲玉米螟的田间防效及玉米产量影响。结果表明, 20% 四唑虫酰胺 SC 与红绶曲霉 ACB1042 混配的防效优于单一使用 20% 四唑虫酰胺 SC 或红绶曲霉 ACB1042, 混配药剂对亚洲玉米螟的防效最好, 与在 20% 四唑虫酰胺 SC 推荐量 (150 mL/hm^2) 下的防效无显著差异, 与在 20% 四唑虫酰胺 SC 减量 20% (120 mL/hm^2) 处理的防效有显著差异, 其在药后 15、30、45 d 校正防效分别为 90.04%、72.28%、62.85%。系统评价施药后玉米的产量和经济效益, 混配药剂最高, 其可挽回产量、纯增效益和投入产出比分别达 $2\,253.13 \text{ kg/hm}^2$ 、 $5\,358.73 \text{ 元/hm}^2$ 和 1:19.20。

关键词: 玉米; 亚洲玉米螟; 红绶曲霉; 杀虫剂混配; 田间防效; 产量

中图分类号: S435.131

文献标识码: A

Field Efficacy of *Aspergillus nomius* ACB1042 Mixed with Tetrazolamide on *Ostrinia furnacali* Control and Its Effect on Maize Yield

YUAN Zi-han^{1,2}, WANG Xiao-wu¹, FU Kai-yun¹, JIA Zun-zun¹,
TURSUN·Ahemaiti¹, GUO Wen-chao¹, DING Xin-hua¹

(1. Institute of Plant Protection, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences,
Xinjiang Key Laboratory of Agricultural Biosafety, Urumqi 830091;

2. College of Agriculture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: The efficacy of tetrazolium SC mixed with *Aspergillus nomius* ACB1042 against *Ostrinia furnacali* and its effect on maize yield and economy were compared by spraying 20% tetrazolium SC and 1×10^8 spores/mL *Aspergillus nomius* ACB1042 suspension with a plant protection drone in a maize field. The results showed that the efficacy of the mixture of tetrazolium and *Aspergillus nomius* ACB1042 was better than that of the single use of tetrazolium or *Aspergillus nomius* ACB1042, and the mixture had the best efficacy against the *Ostrinia furnacali*, which was non-significantly different from that of the recommended amount of tetrazolium (150 mL/ha), and significantly different from that of the treatment of tetrazolium with a reduced amount of 20% (120 mL/ha). The corrected efficacy at 15, 30 and 45 d post-dose was 90.04%, 72.28% and 62.85%, respectively. The yield and economic benefits of maize were systematically evaluated by yield recovery loss, net benefit increase and input-output ratio as indicators, in which the mixture was the highest, with yield recovery, net benefit increase and input-output ratio of $2\,253.13 \text{ kg/ha}$, $5\,358.73 \text{ yuan/ha}$ and 1:19.20, respectively.

Key words: Maize; *Ostrinia furnacali*; *Aspergillus nomius*; Pesticide mixing; Field control efficiency; Yield

录用日期: 2024-03-28

基金项目: 新疆维吾尔自治区重大科技专项“新疆优势特色农作物重大有害生物绿色防控关键技术研发”(2023A02009)

作者简介: 袁梓涵(1998-), 女, 硕士, 研究方向为农业昆虫与害虫防治。E-mail: 3187203383@qq.com

王小武为本文共同第一作者。

郭文超和丁新华为本文通信作者。E-mail: gwc1966@163.com E-mail: dingxinhua1984@163.com

亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacali* 属鳞翅目 Lepidoptera, 螟蛾科 Pyralidae, 秆野螟属 *Ostrinia*, 是新疆玉米生产的主要害虫之一^[1-4]。目前, 酰胺类杀虫剂是防治亚洲玉米螟的主要化学药剂, 随着该类杀虫剂大量、频繁施用, 亚洲玉米螟已经对其产生了中等抗性^[5-6]。昆虫病原真菌的微生物防治有助于减轻化学农药对人、畜和天敌昆虫的毒害。同其他昆虫病原真菌一样, 红绶曲霉 *Aspergillus nomius* 相较于化学杀虫剂存在杀虫缓慢、易受环境因素影响等缺点而制约其在田间的应用^[7-8]。为弥补两者的缺陷, 将昆虫病原真菌与化学杀虫剂混用是解决真菌杀虫缓慢的有效途径之一, 也可减缓害虫抗药性以及减少化学杀虫剂的使用量^[9-15]。毛刚等^[16]发现, 白僵菌 *Beauveria bassiana* 与苏云金芽胞杆菌 *Bacillus thuringiensis* 水悬浮剂混配田间防治玉米螟效果优于单一使用白僵菌或阿维菌素。高书晶等^[17]研究发现, 植物源农药印楝素和苦参碱与金龟子绿僵菌 *Metarhizium anisopliae* 混用对亚洲小车蝗 *Oedaleus asiaticus* 的防效可达 90.00% 以上, LT_{50} 分别缩短约 3.17 d 和 1.81 d。刘爱萍等^[18]利用白僵菌与印楝素复配防治亚洲小车蝗, 田间防效能达 64.20%, 远高于单独使用一种药剂的防效。谢婷等^[19]研究表明, 球孢白僵菌与稀释 10 倍浓度下的杀虫剂混用防治烟粉虱 *Aleyrodes tabaci* 效果最好, 且在参试的 8 种杀虫剂中, 苦参碱与球孢白僵菌的协同促进作用最显著。吴学三^[20]利用球孢白僵菌与 10 倍稀释浓度植物提取物复配剂防治白星花金龟 *Protaetia brevitarsis* 幼虫, 可起到增效作用。目前, 对于红绶曲霉对亚洲玉米螟的田间防效未见报道。

本课题组前期研究发现, 20% 四唑虫酰胺 SC 与红绶曲霉 ACB1042 在 4:1 混用后协同增效作用最好, LC_{50} 为 2.359 mg/L, CTC 高达 365, 表现出极大的生防潜力。关于二者混配后对亚洲玉米螟的田间防治效果以及对玉米产量和经济效益评价还不明确。因此, 本研究采用无人机喷雾法测定 20% 四唑虫酰胺 SC 与红绶曲霉 ACB1042 及其 4:1 比例混配对亚洲玉米螟的田间防效, 以防效、产量挽回损失、投入成本、纯增效益、投入产出比为指标, 系统评价防治后玉米的产量和经济效益, 为筛选科学高效的、符合新疆生产实际的玉米螟防控方法提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试菌株: 供试红绶曲霉菌株分离自亚洲玉米螟虫尸, 菌株经亚洲玉米螟复壮后, 接种到 PDA 培

养基, 在 28℃、16 h 光照时间/8 h 黑暗时间(16 Light/8 Dark)智能人工气候箱中培养 7 d 备用。

供试药剂: 20% 四唑虫酰胺 SC, 拜耳作物科学(中国)有限公司; 迈诺安飞防专用助剂, 中禾天呈农业发展(武汉)有限公司。

供试作物: 玉米品种为农禾 518, 酒泉金禾源农业发展有限公司。

1.2 方法

1.2.1 20% 四唑虫酰胺 SC 与药剂菌株 ACB1042 混配对亚洲玉米螟的田间防效

试验设 5 个处理: 20% 四唑虫酰胺 SC 推荐量 (150 mL/hm²)、20% 四唑虫酰胺 SC 减量 20% (120 mL/hm²)、 1×10^8 孢子/mL 红绶曲霉 ACB1042 孢子悬浮液 (9 000 mL/hm²)、20% 四唑虫酰胺 SC 减量 20% (480 mL/hm²) + 红绶曲霉 ACB1042 (9 000 mL/hm²) 4:1 混配及清水对照 5 个处理, 各处理 3 个重复, 共设 15 个小区, 每个小区面积为 0.01 hm², 共 0.15 hm²。对照组 (CK) 施用含 150 mL 0.05% 吐温 80 的清水, 按照随机区组排列。利用大疆 T30 无人机对每个小区进行喷施, 喷施稀释后的药液 2 L (喷施前加入 6 mL 迈诺安), 其中, 混配药剂的 2 L 药液体积中的各成分含量为 20% 四唑虫酰胺 SC 减量 20% (101.2 mL/hm²) + 红绶曲霉 ACB1042 (1 898.8 mL/hm²)。施药地处伊犁州察布查尔县龙沟村, 施药当日天气晴, 东南风, 气温 29 ~ 35℃, 相对湿度 37%。

调查和统计方法: 以亚洲玉米螟卵孵高峰期为试验主要时期。施药前 1 d 调查亚洲玉米螟虫口基数, 药后 15、30、45 d 调查活虫数, 调查小区时采用 5 点取样法, 每点标定 20 株, 剥查受害株活虫数, 计算虫防效。

活虫率 = 活幼虫数 / 调查总虫数 × 100%;

虫口减退率 = (对照区活虫率 - 处理区活虫率) / 对照区活虫率 × 100%;

校正防效 = (处理区虫口减退率 - 对照区虫口减退率) / (1 - 对照区虫口减退率) × 100%。

1.2.2 玉米产量调查

测产时间为 2023 年 9 月 17 日, 每个小区定点收获 50 株玉米植株, 将各小区收获的玉米果穗分别进行称重记录, 计算单位面积产量、增产率、百粒重、果穗长度和秃尖长度, 比较处理区域和空白对照区域公顷产量和其他指标, 计算增产率。

增产率 = (处理区玉米平均产量 - 对照区玉米平均产量) / 对照区玉米平均产量 × 100%

1.2.3 玉米经济效益评价

从产量挽回损失、投入成本、纯增效益、投入产

出比等,分别对防效后的玉米经济效应进行系统评价,以综合分析其推广应用前景。

具体在玉米收获前对各处理区进行测产分析,药剂处理区和空白对照区均各自按棋盘式5点取样法进行取样,每点5 m²,3次重复。经济效益评价应考虑每种药剂处理的实际投入成本(包括药剂成本、

肥料费、人工费、水费、无人机作业费等),察布查尔县不同灌区粮食作物种植成本效益统计数据由察布查尔县农业农村局提供(表1)。增加效益按2023年玉米市场价收购价2.5元/kg测算,并计算投入产出比。

表1 2023年察布查尔县玉米种植成本效益统计表
Table 1 Statistical table of cost and benefit of maize planting in Qapqal County in 2023元/hm²

成本总计 Total cost	犁耙播 Colter sowing	中耕 Ploughing	收割 Harvested	植保机械 Plant protection machinery	种子 Seed	肥料 Fertilizer		农药 Pesticide	滴灌带 Drip irrigation belt	人工费 Labor cost	水费 Water charge
						尿素 Urea	二铵 Phosham				
16 369.95	1 125.00	150.00	855.00	240.00	1 455.00	1 050.00	2 085.00	600.00	600.00	1 110.00	1 099.95

1.3 数据处理与分析

利用Excel 2010整理原始数据,利用SPSS 26.0软件对数据采用单因素方差分析法(one-way ANOVA)中的Duncan氏新复极差法进行多重分析。

2 结果与分析

2.1 菌株ACB1042与20%四唑虫酰胺SC及其混配

对亚洲玉米螟的田间防效
在进行田间防效实验前,小区未使用任何化学药剂防治。由表2可知,第15天时,20%四唑虫酰胺SC与红绶曲霉ACB1042以4:1混配下(以下简称混

配药剂)对亚洲玉米螟幼虫的防治效果与在20%四唑虫酰胺SC推荐量下的防治效果无显著差异($P>0.05$),与在20%四唑虫酰胺SC减量20%和单独使用红绶曲霉ACB1042处理的防治效果有显著差异($P<0.05$),其在药后15、30、45 d校正防效分别为90.04%、72.28%、62.85%。在20%四唑虫酰胺SC推荐量下的防治效果与20%四唑虫酰胺SC减量20%的防治效果次之,在药后15、30、45 d校正防效分别为86.50%、63.15%、54.98%和78.34%、58.74%、52.93%。单独使用红绶曲霉ACB1042的田间防治效果较差,在药后15、30、45 d对亚洲玉米螟幼虫的校正防效分别

表2 红绶曲霉ACB1042与20%四唑虫酰胺SC混配对亚洲玉米螟的田间防效
Table 2 Field control effect of *Aspergillus nomius* ACB1042 strain mixed with 20% tetrazolamide SC on *O. furnacalis*

处 理 Treatment	虫口基数(个) Insect base number	用药后 15 d 15 day after application		用药后 30 d 30 day after application		用药后 45 d 45 day after application	
		虫口减退率(%) Reducing rates	校正防效 Control efficacy	虫口减退率(%) Reducing rates	校正防效 Control efficacy	虫口减退率(%) Reducing rates	校正防效 Control efficacy
		for the pest	(%)	for the pest	(%)	for the pest	(%)
1	44	39.82±4.08 C a	45.71±2.99 C a	34.68±2.37 D a	41.11±1.44 D a	37.62±2.61 C a	44.73±2.30 C a
2	35	84.92±4.51 A a	86.50±3.94 A a	59.30±2.25 B b	63.15±3.77 B b	49.23±2.79 B b	54.98±2.81 B b
3	39	75.90±3.73 B a	78.34±3.07 B a	54.38±2.34 C b	58.74±2.96 C b	46.91±2.45 B b	52.93±2.50 B b
4	45	89.00±4.97 A a	90.04±4.45 A a	69.27±4.28 A b	72.28±3.75 A b	58.13±3.34 A b	62.85±3.25 A b
5	43	-10.74±2.15 D a	-	-10.86±2.11 E a	-	-12.87±1.00 D a	-

注:表中数据为平均值±标准差;同列数据后不同大写字母和小写字母分别表示不同药剂同一时间和同一药剂不同时间的差异显著性($P<0.05$,Duncan氏新复极差法)。1为红绶曲霉ACB1042孢子悬浮液;2为20%四唑虫酰胺SC推荐量;3为20%四唑虫酰胺SC减量20%;4为红绶曲霉ACB1042孢子悬浮液+20%四唑虫酰胺SC推荐量;5为清水对照。下表同。
Note: Data in the table are mean ±SD. Different uppercase and lowercase letters after the same column of data indicate the difference significance of the same time for different agents and the same agent at different times respectively($P<0.05$, Duncan’s new multiple range test). 1, Spore suspension of *Aspergillus nomius* ACB1042; 2, recommended amount of tetrazolamide; 3, Reduction of tetrazolamide by 20%; 4, Spore suspension of *Aspergillus nomius* ACB1042 + recommended amount of tetrazolamide; 5, water control. The same below.

为45.71%、41.11%、44.73%。在整个防治过程中,混配药剂的防效一直较高并能维持在60%以上,持效性优于单独使用一种药剂或一种菌液。

2.2 菌株ACB1042与20%四唑虫酰胺SC及其混配对玉米产量的影响

由表3可以看出,混配药剂处理的产量最高,为17202.87 kg/hm²,显著高于其余处理组量($P<0.05$);20%四唑虫酰胺SC推荐量的产量和20%四唑虫酰胺SC减量20%处理后的产量之间无显著差异($P>$

0.05),分别为16 328.26、16 150.13 kg/hm²;单独使用红绶曲霉ACB1042的产量最低,为15 437.60 kg/hm²,与对照组无显著差异($P>0.05$)。其中,混配药剂和20%四唑虫酰胺SC推荐量的增产率均在10%以上,单独使用红绶曲霉ACB1042的增产率为4.14%。所有处理组的百粒重均显著高于对照组;雌穗长度除单独使用红绶曲霉ACB1042与对照无显著差异外,其余处理均显著高于对照;所有处理组的秃尖长度均小于对照组。

表3 红绶曲霉ACB1042与20%四唑虫酰胺SC混配对玉米产量的影响
Table 3 Effects of ACB1042 strain mixed with 20% tetrazolamide SC on maize yield

处 理 Treatment	产量(kg/hm ²) Yield	增产率(%) Increase or decrease rate	百粒重(g) 100-grain weight	雌穗长度(cm) Cob length	秃尖长度(cm) Bald length
1	15 437.60±70.99 c	4.10	35.65±2.77 a	16.92±1.02 ab	1.50±0.38 b
2	16 328.26±237.60 b	10.11	37.68±0.76 a	17.83±1.20 a	0.75±0.14 b
3	16 150.13±175.93 b	8.91	38.37±0.68 a	18.05±0.55 a	1.43±0.31 b
4	17 202.87±264.03 a	16.01	39.05±1.04 a	18.33±0.58 a	1.42±0.30 b
5	14 829.05±249.49 c	—	25.41±1.86 b	14.25±0.80 b	2.92±0.30 a

2.3 防治后的玉米经济效益评价

根据当年市场零售价格,20%四唑虫酰胺SC(国腾)950.00元/L,迈诺安飞防专用助剂100元/L,飞防作业费150.00元/hm²,计算出不同药剂处理的单产投入成本(包括药剂成本、飞防助剂成本、飞防作业费),结合实际产量、挽回产量损失情况等对各处理的纯增效益以及投入产出比进行评价。从由表4可

以看出,在纯增效益方面,混配药剂最高,达5 358.73元/hm²;其次为单独使用20%四唑虫酰胺SC推荐量和20%四唑虫酰胺SC减量20%,分别为3 314.53元/hm²和2 906.46元/hm²。在投入产出比方面,混配药剂最高,达1:19.20;其次为单独使用20%四唑虫酰胺SC推荐量和20%四唑虫酰胺SC减量20%,分别为1:13.47和1:12.58。

表4 防治亚洲玉米螟经济效益对比(2023年,伊犁)
Table 4 Comparison of economic benefits of *O. furnacalis* control(2023, Yili, Xinjiang)

处 理 Treatment	实际产量(kg/hm ²) Production	挽回产量(kg/hm ²) Retrieved production	增加总效益(元/hm ²) Increased total benefits	纯增效益(元/hm ²) Net increased benefits	投入产出比 Input/output ratio
1	14 665.72 c	578.12 b	1 445.31 b	1 173.74 b	1:4.32 b
2	15 511.85 b	1 424.25 ab	3 560.62 ab	3 314.53 ab	1:13.47 ab
3	15 342.62 b	1 255.02 ab	3 137.56 ab	2 906.46 ab	1:12.58 ab
4	16 342.72 a	2 255.13 a	5 637.82 a	5 358.73 a	1:19.20 a
5	14 087.60 c	—	—	—	—

3 结论与讨论

在国家提倡“农药、肥料”双减的大背景下,多种防治方法的综合利用对亚洲玉米螟进行防控显得尤为重要。其中,杀虫剂与昆虫病原真菌联合使用是一种综合生物防治与化学防治的有效手段^[21]。本研究将红绶曲霉ACB1042和20%四唑虫酰胺SC结合施用,综合20%四唑虫酰胺SC杀虫周期短、红绶曲霉持效期长的特点,探究20%四唑虫酰胺SC与红绶

曲霉以体积比4:1混合对亚洲玉米螟的田间防效,评估后期昆虫病原真菌与杀虫剂在田间联合防效亚洲玉米螟的适用性及效果,进一步评价联合防治后玉米的产量和经济效益。结果表明,单独使用红绶曲霉ACB1042的田间防治效果不理想,在施用第15天的校正防效仅为45.71%,其防治效果可能与天气、田间温度和湿度等有关^[22]。第15天时,在20%四唑虫酰胺SC与红绶曲霉ACB1042以体积比4:1混配下的防治效果较20%四唑虫酰胺SC减量20%和

单独使用红绶曲霉 ACB1042 的防治效果显著升高 ($P < 0.05$), 校正防效高达 90.04%, 但与 20% 四唑虫酰胺 SC 推荐量的校正防效无显著差异 ($P > 0.05$)。在整个防治过程中, 混配药剂的防效一直较高并能维持在 60% 以上, 持效性和速效性优于单独使用一种杀虫剂或一种昆虫病原真菌^[23-25]。20% 四唑虫酰胺 SC 与红绶曲霉 ACB1042 混配对亚洲玉米螟的田间防效具有减药增效作用, 为今后开展生物防治与化学防治联合使用、降低化学杀虫剂使用量以及延缓亚洲玉米螟的抗性提供理论依据。

通过开展 20% 四唑虫酰胺 SC 与红绶曲霉 ACB1042 混配田间防治亚洲玉米螟后对玉米的经济效益评价, 综合考虑挽回产量损失、成本投入、纯增效益以及投入产出比等因素, 混配药剂最高, 其可挽回产量、纯增效益和投入产出比, 分别达 2 255.13 kg/hm²、5 358.73 元/hm² 和 1:19.20; 其次是 20% 四唑虫酰胺 SC 推荐量, 其可挽回产量、纯增效益及投入产出比, 分别达 1 424.25 kg/hm²、3 314.53 元/hm² 和 1:13.47; 再次是 20% 四唑虫酰胺 SC 减量 20%, 其可挽回产量、纯增效益和投入产出比, 分别达 1 255.02 kg/hm²、2 906.46 元/hm² 和 1:12.58。

本研究中, 单独施用红绶曲霉 ACB1042 对亚洲玉米螟的防效较差, 难以实现对亚洲玉米螟种群的有效控制, 真菌剂量和环境湿度都是真菌在田间应用时影响防治效果的因子, 昆虫病原真菌对害虫的较高致病性依赖于这些非生物因素^[26-27]。接种阶段田间相对湿度的高低以及孢子黏附在虫体上时间长短在很大程度上决定昆虫病原真菌的侵染力。高湿度的田间条件, 利于真菌孢子在虫体表面的附着、萌发与生长, 也利于侵染虫体菌丝穿透寄主长出气生菌丝并形成新的分生孢子。因此, 在应用红绶曲霉 ACB1042 田间防控亚洲玉米螟时, 应考虑调整真菌剂量和寻找环境温度与湿度等非生物因素利于真菌发育的时期。李妍颖等人研究报道玉米螟虫口密度与产量损失率呈正相关^[28]。本试验期间对照组(含 0.05% 吐温 80 的清水 30 L/hm²) 在防效后的虫量平均为 58.33±7.85 头/百秆; 混配药剂(480+9 000) mL/hm²、20% 四唑虫酰胺 SC 推荐量(150 mL/hm²)、20% 四唑虫酰胺 SC 减量 20%(120 mL/hm²) 和 1×10⁸ 孢子/mL 红绶曲霉 ACB1042 9 000 mL/hm² 的平均百秆虫量分别为 4.38±2.00、6.03±1.81、9.40±1.46 和 23.89±1.34 头/百秆, 相较于对照组, 施药处理后玉米螟的虫口密度分别降低了 92.50%、89.66%、83.88% 和 59.04%。新疆伊犁察布查尔县玉米种植密度是 105 000 ~ 120 000 株/hm², 株距是 16 ~ 18 cm, 宽窄行

平均行距 40 cm+60 cm, 与内地如陕西玉米种植方式(密度 67 500 ~ 75 000 株/hm², 株距 20 ~ 25 cm, 宽窄行平均行距 50 cm+70 cm) 相比, 密度高出 35.71% ~ 37.50%, 进而提高了产量和经济效益。本研究发现, 4 个处理组玉米增产率为 4.10% ~ 16.01%。刘菲等人表明, 5 种杀虫剂防治新疆伊犁河谷地区的玉米螟后玉米产量明显提高, 玉米增产率为 4.15% ~ 12.87%^[29], 后续课题组将通过重复试验进一步对其验证。

参考文献:

- [1] 吐尔逊. 新疆亚洲玉米螟生物防治技术[J]. 中国农村科技, 2005(12): 26-27.
TURSUN. Biological control technology of *Ostrinia furnacalis* in Xinjiang[J]. China Rural Science and Technology, 2005(12): 26-27. (in Chinese)
- [2] 孙志远. 玉米螟综合防治技术研究进展[J]. 现代农业科技, 2012(8): 190-191.
SUN Z Y. Progress of research on integrated control technology of *Ostrinia nubilalis*[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2012(8): 190-191. (in Chinese)
- [3] 刘芳慧, 丁新华, 解玉梅, 等. 不同施药期防治玉米螟田间药效研究及经济效益评价[J]. 新疆农业科学, 2016, 53(12): 2258-2264.
LIU F H, DING X H, XIE Y M, et al. Field efficacy of different application periods for *Ostrinia nubilalis* control and evaluation of economic benefits[J]. Xinjiang Agricultural Science, 2016, 53(12): 2258-2264. (in Chinese)
- [4] 王振营, 王晓鸣. 我国玉米病虫害发生现状、趋势与防控对策[J]. 植物保护, 2019, 45(1): 1-11.
WANG Z Y, WANG X M. Current status, trend and countermeasures for prevention and control of maize pests and diseases in China[J]. Plant Protection, 2019, 45(1): 1-11. (in Chinese)
- [5] 慕立义, 王开运. 杀虫剂室内选育亚洲玉米螟抗药性及交互抗性的研究[J]. 植物保护学报, 1988, 15(3): 209-214.
MU L Y, WANG K Y. Indoor selection of insecticides for resistance and interactive resistance in *Ostrinia furnacalis*[J]. Journal of Plant Protection, 1988, 15(3): 209-214. (in Chinese)
- [6] 支昊宇, 王智慧, 王兴仔, 等. 亚洲玉米螟的抗药性监测及双酰胺类药剂抗性靶标分子检测[J]. 新疆农业科学, 2021, 58(4): 690-699.
ZHI H Y, WANG Z H, WANG X Z, et al. Resistance monitoring of *Ostrinia furnacalis* and molecular detection of bis-amide resistance targets[J]. Xinjiang Agricultural Science, 2021, 58(4): 690-699. (in Chinese)
- [7] WANG X W, DING X H, FU F Y, et al. Molecular identification and efficacy of entomopathogenic fungi isolates against larvae of the Asian corn borer *Ostrinia furnacalis* (Lepidoptera: Crambidae) in Xinjiang, China[J]. Journal of Applied Microbiology, 2022, 133(5): 2979-2992.
- [8] SANA J, ALEX M, KHOUZAMA K, et al. Isolation of fungi from dead arthropods and identification of a new mosquito natural pathogen[J]. Parasites & Vectors, 2016, 9(1): 491.

- [9] PURWAR J P, SACHAN G C. Synergistic effect of entomogenous fungi on some insecticides against Bihar hairy caterpillar *Spilarctia obliqua*(Lepidoptera: Arctiidae)[J]. Microbiological Research, 2006, 161(1): 38–42.
- [10] ALFINA T, HANEDA N F. Entomopathogenic fungi as biological agents in forest plant pest control: A systematic review[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2022, 959(1): 012013–012024.
- [11] 王 峰, 郑鹏飞, 农向群, 等. 球孢白僵菌与三种农药对萝卜蚜的协同防治效果[J]. 中国生物防治学报, 2017, 33(6): 752–759.
WANG F, ZHENG P F, NONG X Q, et al. Synergistic effects of *Beauveria bassiana* and three pesticides against *Mustard aphid*[J]. Chinese Journal of Biological Control, 2017, 33(6): 752–759. (in Chinese)
- [12] 杨普云, 王 凯, 厉建萌, 等. 以农药减量控害助力农业绿色发展[J]. 植物保护, 2018, 44(5): 95–100.
YANG P Y, WANG K, LI J M, et al. Contributing to the green development of agriculture by pesticide reduction and pest control[J]. Plant Protection, 2018, 44(5): 95–100. (in Chinese)
- [13] 郭卓琼, 弓奇田, 张建珍, 等. 金龟子绿僵菌破坏素 A 与 5 种杀虫剂混配苹果黄蚜的联合毒力[J]. 植物保护, 2019, 45(5): 275–279.
GUO Z Q, QIU Q T, ZHANG J Z, et al. Combined virulence of *Metarhizium anisopliae* destructor A and five insecticides mixtures against *Aphis citricola*[J]. Plant Protection, 2019, 45(5): 275–279. (in Chinese)
- [14] 张志春, 张 怡, 沈迎春, 等. 杀虫真菌爪哇棒束孢对非洲菊烟粉虱作用特点和控害效果[J]. 江苏农业学报, 2020, 36(6): 1398–1402.
ZHANG Z C, ZHANG Y, SHEN Y C, et al. Characteristics of the insecticidal fungus *Isaria javanica* on *Gerbera jamesonii* Bemisia tabaci and its control effect[J]. Jiangsu Agricultural Journal, 2020, 36(6): 1398–1402. (in Chinese)
- [15] 关朝阳. 白僵菌与无公害药剂对降香黄檀食叶害虫的协同增效作用[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2022.
- [16] 毛 刚, 赵 宇, 徐文静, 等. 白僵菌与苏云金芽胞杆菌水悬浮剂研制及田间防治玉米螟研究[J]. 玉米科学, 2018, 26(5): 157–161.
MAO G, ZHAO Y, XU W J, et al. Development of a water suspension of *Bacillus thuringiensis* and *Beauveria bassiana* and field control of *Ostrinia nubilalis*[J]. Journal of Maize Sciences, 2018, 26(5): 157–161. (in Chinese)
- [17] 高书晶, 刘爱萍, 徐林波, 等. 杀蝗绿僵菌与植物源农药混用对亚洲小车蝗的杀虫效果[J]. 农药, 2010, 49(10): 757–759.
GAO S J, LIU A P, XU L B, et al. Insecticidal efficacy of *Metarhizium anisopliae* mixed with plant-derived pesticides against *Oedaleus asiaticus*[J]. Pesticides, 2010, 49(10): 757–759. (in Chinese)
- [18] 刘爱萍, 黄海广, 高书晶, 等. 白僵菌与生物农药混用对亚洲小车蝗的生物活性研究[J]. 现代农药, 2012, 11(2): 50–53.
LIU A P, HUANG H G, GAO S J, et al. Bioactivity of *Beauveria bassiana* mixed with biopesticides against *Oedaleus decorus asiaticus*[J]. Modern Pesticides, 2012, 11(2): 50–53. (in Chinese)
- [19] 谢 婷, 姜 灵, 洪 波, 等. 球孢白僵菌与苦参碱混配烟草蚜虱的毒力与田间防效[J]. 西北农业学报, 2019, 28(5): 830–836.
XIE T, JIANG L, HONG B, et al. Toxicity and field efficacy of a mixture of *Beauveria bassiana* and Picrasinine against *Bemisia tabaci*[J]. Northwest Journal of Agriculture, 2019, 28(5): 830–836. (in Chinese)
- [20] 吴学三. 9 种植物提取物与球孢白僵菌对白星花金龟幼虫的协同防控[D]. 贵阳: 贵州大学, 2024.
- [21] MICHAEL J F, ELEANOR G. Evaluation of synergistic interactions between the Colorado potato beetle(Coleoptera: Chrysomelidae) Pathogen *Beauveria bassiana* and the Insecticides, Imidacloprid and Cyromazine[J]. Journal of Economic Entomology, 2001, 94(2): 344–356.
- [22] 太一梅, 李志敏, 朱晓明, 等. 生物农药对草地贪夜蛾的田间防治效果[J]. 中国植保导刊, 2021, 41(3): 66–68, 77.
TAI Y M, LI Z M, ZHU X M, et al. Effectiveness of biopesticides on the field control of the *Spodoptera frugiperda*[J]. Chinese Journal of Plant Protection, 2021, 41(3): 66–68, 77. (in Chinese)
- [23] 吴晋华, 刘爱萍, 高书晶, 等. 球孢白僵菌与印楝素复配草地螟的增效作用[J]. 世界农药, 2012, 34(3): 40–43.
WU J H, LIU A P, GAO S J, et al. Synergistic effect of *Beauveria bassiana* combined with neem on *Loxostege sticticalis*[J]. World Pesticides, 2012, 34(3): 40–43. (in Chinese)
- [24] 王雅卉, 郑长英, 王俊平. 球孢白僵菌对西花蓟马成虫的毒力及体表侵染的扫描电镜观察[J]. 中国生物防治学报, 2011, 27(3): 324–330.
WANG Y H, ZHENG C Y, WANG J P. Scanning electron microscopic observations on the virulence and body surface infestation of *Beauveria bassiana* on adult *Frankliniella occidentalis*[J]. Chinese Journal of Biological Control, 2011, 27(3): 324–330. (in Chinese)
- [25] 张秀霞, 赵忠范, 毛晓红, 等. 金龟子绿僵菌 CQMa421 与 3 种杀虫剂对瓜蚜的联合毒力[J]. 农药, 2020, 59(1): 74–78.
ZHANG X X, ZHAO Z F, MAO X H, et al. Combined virulence of *Metarhizium anisopliae* CQMa421 and three insecticides against *Aphis gossypii*[J]. Pesticides, 2020, 59(1): 74–78. (in Chinese)
- [26] JEONG J K, DONALD W R. The relationship between conidial dose, moulting and insect developmental stage on the susceptibility of cotton aphid, *Aphis gossypii*, to conidia of *Lecanicillium attenuatum*, an entomopathogenic fungus[J]. Biocontrol Science and Technology, 2012, 22(3), 319–331.
- [27] ZAMAN S, AHMAD F, JAVED N. Pathogenicity of entomopathogenic fungi against *Sitophilus granarius*(L.)(Coleoptera: Curculionidae) under abiotic factors[J]. Pakistan Journal of Agricultural Sciences, 2020, 57(1): 30–38.
- [28] 李妍颖, 李梅梅, 杨 琪, 等. 亚洲玉米螟为害对玉米产量的影响与防治指标研究[J]. 植物保护, 2022, 48(1): 82–89.
LI Y Y, LI M M, YANG Q, et al. Research on the effect of *Ostrinia furnacalis* infestation on maize yield and control indicators[J]. Plant Protection, 2022, 48(1): 82–89. (in Chinese)
- [29] 刘 菲, 郭启平, 关丽菊, 等. 5 种杀虫剂对玉米螟幼虫的田间防效[J]. 中国农技推广, 2024, 40(7): 93–95.
LIU F, GUO Q P, GUAN L J, et al. Field efficacy of five insecticides against corn borer *Ostrinia furnacalis* larvae[J]. China Agricultural Extension, 2024, 40(7): 93–95. (in Chinese)

(责任编辑:姜媛媛)