

杨帆,望勇,骆海波,等. 13 种化学杀虫剂对草地贪夜蛾的室内杀卵活性和田间防效[J]. 江苏农业科学,2022,50(8):37-42.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.08.008

13 种化学杀虫剂对草地贪夜蛾的室内杀卵活性和田间防效

杨帆,望勇,骆海波,周利琳,王攀,司升云

(武汉市农业科学院蔬菜研究所,湖北武汉 430345)

摘要:比较 13 种化学杀虫剂对湖北省武汉地区草地贪夜蛾的室内杀卵活性和田间防效,为指导草地贪夜蛾应急化学防控提供科学依据。用浸卵法测定室内杀卵活性,药后 72 h 用体视解剖镜检查卵的孵化情况及初孵幼虫存活情况;采用常规喷雾法在玉米喇叭口期进行全株喷雾,于施药前及施药后 1、3、7 d 分别调查存活幼虫数。结果表明,在田间用药剂量下,乙基多杀菌素、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、虫螨腈和敌敌畏虽然对卵的孵化抑制率没有影响,但可以降低初孵幼虫的存活率,致死率达 98.44%~100.00%。13 种药剂对草地贪夜蛾幼虫的田间防效表现为乙基多杀菌素、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、虫螨腈、氯虫苯甲酰胺>四氯虫酰胺、茚虫威、溴氰虫酰胺>敌敌畏、甲氧虫酰胺、虱螨脲、啉虫脒>高效氯氰菊酯、溴氰菊酯,药后 3 d 分别在 99.24%~100%、93.98%~95.05%、71.69%~88.95%、44.04%~52.11% 之间,其中乙基多杀菌素、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐和虫螨腈表现出良好的速效性和持效性。乙基多杀菌素、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐和虫螨腈推荐作为湖北省草地贪夜蛾应急化学防控的首选药剂,氯虫苯甲酰胺、四氯虫酰胺、茚虫威和溴氰虫酰胺推荐作为轮换用药的备选药剂,不建议使用拟除虫菊酯类杀虫剂进行田间防控。

关键词:草地贪夜蛾;化学杀虫剂;药剂筛选;杀卵活性;田间防效;湖北省

中图分类号:S433.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)08-0037-05

草地贪夜蛾 [*Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith)] 别称秋黏虫,属鳞翅目 (Lepidoptera) 夜蛾科 (Noctuidae) 灰翅夜蛾属 (*Spodoptera*), 是世界粮农组织全球预警的重要害虫^[1]。自 2019 年 1 月我国首次在云南省江城县发现草地贪夜蛾幼虫危害玉米,该虫已迅速蔓延至全国各省,成为我国又一个南北往返、周年循环的重大迁飞性害虫^[2-4]。湖北省位于长江中游地区,是草地贪夜蛾在我国东半部地区南北往返迁飞的必经之地和重要中转区^[5],玉米年播种面积约 13.3 万 hm^2 。2019 年 5 月首次发现该虫入侵湖北省,短短几个月内已在全省迅速扩散蔓延,发生面积超过 333.3 hm^2 ,对玉米、小麦、水稻、大豆等农作物的生产构成了严重威胁。

化学农药的高效性、速效性和使用方法的便捷

性,使其成为针对暴发性和突发性作物病虫害应急防控的重要手段。有机磷类、氨基甲酸酯类和拟除虫菊酯类是国外最早用于防治草地贪夜蛾的杀虫剂,但长期不合理应用已使草地贪夜蛾对这类药剂产生了较高抗性^[6-8];更有研究报道,近年来美洲波多黎各及墨西哥等地的田间种群对双酰胺类杀虫剂产生 160~500 倍的高水平抗性,但对乙基多杀菌素和甲氨基阿维菌素苯甲酸盐仍处于中等和低水平抗性^[9-10]。草地贪夜蛾入侵我国后,国内学者随即在各地开展了应急化学和生物农药的田间药效筛选和室内生测试验,发现大环内酯类、双酰胺类等新型化学杀虫剂对草地贪夜蛾幼虫表现出较高的活性^[11-13]和很好的田间防效^[14-16];大多数生物农药效果较差,甘蓝夜蛾核型多角体病毒等少数药剂对初孵幼虫和低龄幼虫有一定的杀虫活性^[17-18];而传统有机磷和拟除虫菊酯类药剂的防治效果则表现出地区差异^[19],不过多地田间种群均检测到携带有机磷和氨基甲酸酯类杀虫剂的抗性基因^[20-22];原药稀释的拟除虫菊酯类和抗生素类在高浓度处理下具有一定的杀卵活性^[12,23-25],但是不同药剂在其田间推荐剂量下对草地贪夜蛾卵的孵化是否有抑制作用则鲜有报道。

收稿日期:2021-06-24

基金项目:武汉市农业科学院创新体系项目(编号:CXJSFW202101-7)。

作者简介:杨帆(1987—),女,山东淄博人,博士,农艺师,从事昆虫生态与蔬菜害虫综合防治技术研究。E-mail:sdzhyangfan@126.com。

通信作者:王攀,博士,农艺师,从事昆虫抗药性及蔬菜害虫综合防治技术研究,E-mail:wangpan1228@hotmail.com;司升云,研究员,硕士生导师,从事昆虫抗药性及蔬菜害虫综合防治技术研究,E-mail:sishengyun@126.com。

抗药性是杀虫剂使用留给害虫的遗传特征,尽管国外已报道草地贪夜蛾对有机磷类、氨基甲酸酯类和拟除虫菊酯类,甚至一些新型化学杀虫剂产生了不同程度的抗性,但是该虫自美洲通过非洲迁入亚洲,这期间接受了不同国家各种农药的选择作用,其远距离迁飞习性是否会造成抗药性谱的地区差异有待进一步研究。因此,在我国尚没有登记注册防治草地贪夜蛾药剂的背景下,亟需持续监测不同地区草地贪夜蛾种群的抗性动态,不断优化区域性防控技术方案。本研究拟测定 13 种主要防治鳞翅目害虫的不同类型杀虫剂对湖北省武汉地区草地贪夜蛾的室内杀卵活性和田间防治效果,研究结果可以为湖北省草地贪夜蛾的科学防控提供理论依据,对于实现草地贪夜蛾在全国范围内的分区治理、层层阻截和联防联控具有一定意义。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

于 2020 年 8 月在武汉市农业科学院蔬菜研究

所试验基地的夏玉米田采集草地贪夜蛾幼虫,带回室内用 4~5 叶期的新鲜幼嫩玉米叶饲养。成虫羽化后转移至 30 cm×30 cm×30 cm 的养虫笼内,饲喂 5% 紫云英蜂蜜水,每天提供新鲜玉米叶片供雌蛾产卵。以 F₁ 代成虫所产的 1 日龄卵作为供试虫源。饲养时的环境条件:温度为 26~28 ℃,相对湿度为 75%~85%,光—暗周期为 14 h—10 h。

田间药效试验用草地贪夜蛾为武汉市农业科学院蔬菜研究所试验基地玉米田的自然发生种群,试验期间多处于 3~5 龄幼虫期。

1.2 供试玉米

供试玉米品种为玉香金,栽培方式为深沟高畦,每畦 2 行。试验时玉米处于喇叭口期,植株长势均匀。试验前和试验期间未施用任何农药,施药后 7 d 内未见明显降雨。

1.3 供试药剂

供试 13 种杀虫剂的商品信息及试验浓度见表 1。药剂用量参照登记推荐剂量范围的平均值设置,用水量为 675 kg/hm²。

表 1 13 种杀虫剂的商品信息及试验用药浓度

药剂	药剂类型	生产厂家	有效成分用量 (g/hm ²)	浓度 (mg/L)
5% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐水分散粒剂(WG)	大环内酯类	浙江世佳科技股份有限公司	1.875	2.78
60 g/L 乙基多杀菌素悬浮剂(SC)	大环内酯类	美国陶氏益农公司	27.000	40.00
150 g/L 茚虫威乳油(EC)	噁二嗪类	美国富美实公司	36.000	53.33
200 g/L 氯虫苯甲酰胺 SC	双酰胺类	美国富美实公司	37.500	55.56
10% 溴氰虫酰胺可分散油悬浮剂(OD)	双酰胺类	美国富美实公司	33.000	48.89
10% 四氯虫酰胺 SC	双酰胺类	沈阳科创化学制品有限公司	45.000	66.67
5% 高效氯氟氰菊酯微乳剂(ME)	拟除虫菊酯类	四川国光农化股份有限公司	11.250	16.67
25 g/L 溴氰菊酯 EC	拟除虫菊酯类	拜耳作物科学(中国)有限公司	9.375	13.89
50 g/L 虱螨脲 EC	取代脲类	瑞士先正达作物保护有限公司	30.000	44.44
240 g/L 虫螨腈 SC	吡咯类	巴斯夫植物保护(江苏)有限公司	108.000	160.00
240 g/L 甲氧虫酰胺 SC	双酰胺类昆虫生长调节剂	美国陶氏益农公司	82.800	122.67
80% 敌敌畏 EC	有机磷类	重庆依尔双丰科技有限公司	600.000	888.89
5% 啉虫脲 EC	新烟碱类	山东省联合农药工业有限公司	15.000	22.22

1.4 室内杀卵活性

采用浸卵法^[26]测定药剂的杀卵活性。选取初产 24 h 内的淡绿色卵块,用软毛刷将卵块分散为单个卵粒,均匀地粘在双面胶带上制成卵卡。将卵卡在药液中浸渍 8 s 后用滤纸吸去多余药液,自然晾干后放入直径为 6 cm 的培养皿中。以清水为对照,每个处理 20~30 粒卵,4 次重复。处理后 72 h 使用体视解剖镜检查并记录孵化及未孵化卵的数量,以卵粒表面干瘪塌陷且处理后 72 h 仍未正常孵化判

定为卵被杀死,按照公式(1)和公式(2)计算卵孵化抑制率和校正孵化抑制率;同时检查并记录初孵幼虫存活和死亡的数量,以细毛笔轻触虫体全身不动视为死亡,按照公式(3)和公式(4)计算初孵幼虫死亡率和校正死亡率。

卵孵化抑制率 = $\frac{\text{未孵化卵数}}{\text{处理总卵数}} \times 100\%$; (1)

校正卵孵化抑制率 = (处理孵化抑制率 - 对照孵化抑制率) / (1 - 对照孵化抑制率) × 100%; (2)

$$\text{死亡率} = \frac{\text{死虫数}}{\text{处理总卵数}} \times 100\% ; \quad (3)$$

$$\text{校正死亡率} = \frac{\text{处理死亡数} - \text{对照死亡率}}{1 - \text{对照死亡率}} \times 100\% . \quad (4)$$

1.5 田间药效试验

共设 13 种药剂处理和 1 个清水对照,每种药剂设 1 个处理浓度,每个处理 3 次重复。小区采用随机区组排列,每个小区面积为 30 m²,种植玉米约 120 株,小区间设 1 m 宽保护行。于 2020 年 8 月 24 日进行施药处理,按照用水量 675 kg/hm² 将药剂稀释成所需浓度药液,用超绿 16 型背负式手动喷雾器进行全株均匀喷雾。

参考全国农技中心印发的《草地贪夜蛾测报调查方法》中的调查办法,采用“Z”字形六点取样法,每点调查 10 株,共计 60 株,于施药前及施药后 1、3、7 d 各调查 1 次。调查全株存活幼虫数量,如喇叭深口处有明显受害状(新鲜虫粪、伤口),则轻轻剥开受害部分调查。按照公式(5)、公式(6)计算虫口减退率和防治效果。

$$\text{虫口减退率} = \frac{\text{施药前活虫数} - \text{施药后活虫数}}{\text{施药前活虫数}} \times 100\% ; \quad (5)$$

$$\text{防治效果} = \frac{\text{处理区虫口减退率} - \text{对照区虫口减退率}}{1 - \text{对照区虫口减退率}} \times 100\% . \quad (6)$$

1.6 数据处理

所有数据经 Excel 处理后,采用 SAS 9.0 进行统计分析,对不同处理下的田间防治效果、孵化抑制率和初孵幼虫死亡率进行单因素方差分析,并用 LSD 法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同杀虫剂对草地贪夜蛾卵的生物活性

由表 2 可知,处理后 72 h,所有药剂的校正卵孵化抑制率均在 15% 以下,其中 60 g/L 乙基多杀菌素 SC、10% 溴氰虫酰胺 OD、80% 敌敌畏 EC、5% 啉虫脒 EC 和 5% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 WG 的校正卵孵化抑制率分别为 13.07%、11.78%、8.67%、7.01% 和 5.67%,其他药剂在 1.09%~4.81% 之间 ($P>0.05$)。但是,不同药剂处理卵粒后对初孵幼虫死亡率的影响差异显著,其中 60 g/L 乙基多杀菌素 SC、5% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 WG 和 80% 敌敌畏 EC 处理的初孵幼虫校正死亡率达到 100.00%,240 g/L 虫螨脲 SC 为 98.44%,显著高于其他药剂处

理;200 g/L 氯虫苯甲酰胺 SC 为 65.29%,其他药剂处理在 4.36%~39.02% 之间 ($P<0.0001$)。说明大环内酯类的乙基多杀菌素和甲维盐、有机磷类的敌敌畏以及吡咯类的虫螨脲等 4 种药剂在其田间用药剂量下,虽然对草地贪夜蛾卵的孵化抑制率影响小,但对初孵幼虫有较高的致死活性。

表 2 13 种杀虫剂对草地贪夜蛾卵的生物活性

药剂	处理卵数(粒)	校正卵孵化抑制率(%)	初孵幼虫校正死亡率(%)
60 g/L 乙基多杀菌素 SC	92	13.07±5.05a	100.00±0.00a
5% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 WG	94	5.67±3.60abc	100.00±0.00a
240 g/L 虫螨脲 SC	87	1.09±1.09c	98.44±1.56a
200 g/L 氯虫苯甲酰胺 SC	91	2.27±2.27c	65.29±13.36b
10% 四氯虫酰胺 SC	102	3.05±1.09c	16.59±10.85cd
150 g/L 茚虫威 EC	91	3.17±2.00c	19.74±3.12cd
10% 溴氰虫酰胺 OD	102	11.78±3.73ab	32.62±6.36c
80% 敌敌畏 EC	96	8.67±4.20abc	100.00±0.00a
240 g/L 甲氧虫酰肼 SC	87	1.25±1.25c	39.02±9.02c
50 g/L 虱螨脲 EC	84	3.69±2.38c	4.36±9.08d
5% 啉虫脒 EC	100	7.01±3.13abc	6.83±11.20d
5% 高效氯氟氰菊酯 ME	98	3.85±2.22bc	15.72±14.05cd
25 g/L 溴氰菊酯 EC	97	4.81±1.78bc	22.38±9.02cd

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下表同。

2.2 不同杀虫剂对草地贪夜蛾幼虫的田间防效

由表 3 可知,田间喷雾处理后 13 种药剂对草地贪夜蛾的防效差异显著(药后 1 d: $F_{12,26}=5.91, P<0.0001$;药后 3 d: $F_{12,26}=7.55, P<0.0001$;药后 7 d: $F_{12,26}=11.78, P<0.0001$)。药后 3 d,60 g/L 乙基多杀菌素 SC、5% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 WG、240 g/L 虫螨脲 SC 和 200 g/L 氯虫苯甲酰胺 SC 对草地贪夜蛾幼虫的防效均达到 99% 以上;其次为 10% 四氯虫酰胺 SC、150 g/L 茚虫威 EC 和 10% 溴氰虫酰胺 OD,其防效在 93.98%~95.05% 之间;80% 敌敌畏 EC、240 g/L 甲氧虫酰肼 SC、50 g/L 虱螨脲 EC 和 5% 啉虫脒 EC 的防效在 71.69%~88.95% 之间;5% 高效氯氟氰菊酯 ME 和 25 g/L 溴氰菊酯 EC 的防效仅为 44.04% 和 52.11%,效果最差。药后 1 d,乙基多杀菌素、甲维盐和虫螨脲表现出很好的速效性,防效达到 97.10%~100.00%;茚虫威、敌敌畏、四氯虫酰胺和氯虫苯甲酰胺速效性一般,防效为 72.54%~82.44%;甲氧虫酰肼、虱螨脲、高效氯氟菊酯和溴氰菊酯的速效性较差,防效为 37.75%~48.12%。药后 7 d,乙基多杀菌素、甲

表 3 13 种杀虫剂对玉米田草地贪夜蛾幼虫的田间防治效果

药剂	虫口基数 (头)	防治效果(%)		
		药后 1 d	药后 3 d	药后 7 d
60 g/L 乙基多杀菌素 SC	328	100.00 ± 0.00a	100.00 ± 0.00a	94.02 ± 1.77a
5% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 WG	345	97.97 ± 1.04ab	99.24 ± 0.76a	91.35 ± 2.04a
240 g/L 虫螨腈 SC	354	97.10 ± 2.11ab	100.00 ± 0.00a	90.05 ± 3.01a
200 g/L 氯虫苯甲酰胺 SC	305	72.54 ± 21.00bcd	99.56 ± 0.44a	90.29 ± 3.72a
10% 四氯虫酰胺 SC	271	73.45 ± 3.81abcd	94.62 ± 1.32ab	91.11 ± 5.13a
150 g/L 茚虫威 EC	339	82.44 ± 7.52abc	95.05 ± 1.55ab	71.40 ± 0.93abc
10% 溴氰虫酰胺 OD	257	68.86 ± 5.30cde	93.98 ± 1.70ab	79.48 ± 2.71ab
80% 敌敌畏 EC	272	79.21 ± 9.81abc	88.95 ± 3.69bc	56.28 ± 7.49bcd
240 g/L 甲氧虫酰胺 SC	301	48.12 ± 8.20def	85.73 ± 4.27bc	53.47 ± 2.63cd
50 g/L 虱螨脲 EC	312	37.75 ± 2.75f	78.59 ± 2.85bc	57.84 ± 15.46bcd
5% 啉虫脒 EC	297	63.87 ± 6.95cdef	71.69 ± 4.57cd	42.90 ± 4.12de
5% 高效氯氟氰菊酯 ME	343	40.54 ± 15.25f	44.04 ± 19.85e	26.23 ± 26.64e
25 g/L 溴氰菊酯 EC	292	45.87 ± 13.29ef	52.11 ± 7.00de	-5.87 ± 4.58f

维盐、虫螨腈、氯虫苯甲酰胺和四氯虫酰胺表现出很好的持效性,防效均在 90% 以上;其次为溴氰虫酰胺和茚虫威,防效分别为 79.48% 和 71.40%;其余 6 种药剂的持效性较差,防效为 -5.87% ~ 57.84%。

综上所述,乙基多杀菌素、甲维盐、虫螨腈、四氯虫酰胺、氯虫苯甲酰胺、茚虫威和溴氰虫酰胺这 7 种药剂对草地贪夜蛾幼虫具有很好的防治效果,最高防效均在 93% 以上。其中乙基多杀菌素、甲维盐和虫螨腈表现出很好的速效性和持效性;四氯虫酰胺和氯虫苯甲酰胺速效性一般,但持效性较好;茚虫威和溴氰虫酰胺的速效性和持效性均表现一般。

3 结论与讨论

本研究比较了 13 种化学杀虫剂对湖北省武汉地区草地贪夜蛾的田间防治效果,其中乙基多杀菌素、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐和虫螨腈表现出良好的速效性和持效性,施药后 1 ~ 7 d 防治效果均保持在 90% 以上,最高防效达到 100%;氯虫苯甲酰胺和四氯虫酰胺速效性一般,但持效性较好,药后 3 ~ 7 d 防效均在 90% 以上;茚虫威和溴氰虫酰胺速效性和持效性均表现一般,但药后 3 d 最高防效超过 90%;敌敌畏最高防效为 88.95%,且速效性和持效性较差;高效氯氟氰菊酯和溴氰菊酯的防治效果最低。

本研究结果表明,传统的有机磷和拟除虫菊酯类农药已难以有效控制本区草地贪夜蛾危害。郭志敏等测定了湖北省 4 个地区草地贪夜蛾田间种群的抗药性水平,监测到 4 个种群均携带有对有机磷类杀虫剂的抗性基因^[20];农业农村部也在 2020 年

发布的草地贪夜蛾应急防治用药推荐名单中去掉了 4 种拟除虫菊酯类和有机磷类单剂。因此,湖北省在进行草地贪夜蛾田间防治时,建议少用或不单独使用这 2 类药剂,避免更高水平抗性的产生。新烟碱类杀虫剂啉虫脒目前生产上主要用于防治半翅目害虫,对草地贪夜蛾幼虫的防效较差。相对而言,几种新型化学杀虫剂,如大环内酯类的甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、乙基多杀菌素以及新型芳基吡咯类杀虫杀螨剂虫螨腈均有较强的杀虫活性,特别是半合成抗生素类杀虫剂甲氨基阿维菌素苯甲酸盐以及刺糖多孢菌发酵的天然产物乙基多杀菌素,具有低毒和低残留的特点,对于偏好种植鲜食玉米的湖北地区,可优先考虑用于草地贪夜蛾幼虫的防治。这与赵胜园等的研究结果^[12,15,20]一致。

双酰胺类杀虫剂通过作用于昆虫体内的鱼尼汀受体,刺激肌肉组织持续收缩,使昆虫停止取食后呕吐、饥饿、僵缩而死,初上市时对鳞翅目幼虫效果非常突出,且持效期长、安全性高,但随着后期大量推广使用,抗药性问题日益突出。本研究中,四氯虫酰胺、氯虫苯甲酰胺等对草地贪夜蛾幼虫表现出较高的杀虫活性,而且目前国内监测到不同地理种群对该类药剂仍处于敏感抗性水平^[13,19-20]。但是,美洲和非洲地区草地贪夜蛾化学防治中出现的双酰胺类药剂区域性抗性值得我们思考和借鉴^[9-10],草地贪夜蛾入侵我国后面临不同地区对杀虫剂的依赖程度和使用频率的差异,我们在田间使用时应注意双酰胺类与不同类型杀虫剂的轮换使用,以避免田间种群对该类药剂快速产生抗药性。

根据草地贪夜蛾的危害特点和发生习性,卵块多直接暴露在寄主植物幼嫩叶片表面,初孵幼虫群集危害,3 龄以后逐渐钻进喇叭口、叶鞘以及生长点等部位分散取食。因此产卵盛期至低龄幼虫高峰期是最佳施药防治时期,筛选对草地贪夜蛾卵和幼虫同时具有较高活性的药剂是有效控制该虫的关键措施之一。同时,测定 13 种化学杀虫剂对武汉地区草地贪夜蛾的室内杀卵活性,结果表明,在与田间施药剂量相同的处理下,所有药剂对卵的孵化均没有抑制作用,但乙基多杀菌素、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、敌敌畏和虫螨腈 4 种药剂表现出一定的卵/幼活性,虽然对卵的孵化率没有影响,但可以大大降低初孵幼虫的存活率,药后 72 h 致死率为 98.44%~100.00%。这与赵胜园等的室内测定结果^[12,24-25]有一定差异,分析其原因可能有以下几点:第一,与药剂的作用方式有关,该类药剂主要通过胃毒和触杀作用使幼虫致死,无杀卵活性,但药剂可能通过渗透作用进入卵壳内触杀即将形成的幼虫,或者初孵幼虫咬破、吞食卵壳时胃毒致死;第二,与试验的药剂浓度有关,本研究中 60 g/L 乙基多杀菌素 SC 和 5% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 WG 对卵的处理浓度分别为 40.00、2.78 mg/L,其他几种双酰胺类和拟除虫菊酯类药剂的处理浓度也大多在 13~66 mg/L 之间,低于其他文献中 100~200 mg/L 的药剂浓度。不同浓度和作用时间下药剂对草地贪夜蛾卵孵化的抑制作用尚需进一步研究。

综上所述,乙基多杀菌素、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐和虫螨腈推荐作为湖北省草地贪夜蛾应急化学防控的首选药剂,氯虫苯甲酰胺、四氯虫酰胺、茚虫威和溴氰虫酰胺推荐作为轮换用药的备选药剂,不建议使用拟除虫菊酯类杀虫剂进行田间防控。应根据草地贪夜蛾不同龄期幼虫在作物不同生育期的危害特点,抓住产卵盛期至低龄幼虫高峰期的最佳防治时期,确定适合的施药方式和剂量。

参考文献:

- [1] Westbrook J K, Nagoshi R N, Meagher R L, et al. Modeling seasonal migration of fall armyworm moths [J]. International Journal of Biometeorology, 2016, 60(2): 255–267.
- [2] 江幸福, 张 蕾, 程云霞, 等. 草地贪夜蛾迁飞行为与监测技术研究进展[J]. 植物保护, 2019, 45(1): 12–18.
- [3] Li X J, Wu M F, Ma J, et al. Prediction of migratory routes of the invasive fall armyworm in eastern China using a trajectory analytical approach[J]. Pest Management Science, 2020, 76(2): 454–463.
- [4] 吴秋琳, 姜玉英, 吴孔明. 草地贪夜蛾缅甸虫源迁入中国的路径分析[J]. 植物保护, 2019, 45(2): 1–6, 18.
- [5] 吴秋琳, 姜玉英, 胡 高, 等. 中国热带和南亚热带地区草地贪夜蛾春夏两季迁飞轨迹的分析[J]. 植物保护, 2019, 45(3): 1–9.
- [6] 王芹芹, 崔 丽, 王 立, 等. 草地贪夜蛾对杀虫剂的抗性研究进展[J]. 农药学报, 2019, 21(4): 401–408.
- [7] Yu S J, Nguyen S N, Abo – Elghar G E. Biochemical characteristics of insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2003, 77(1): 1–11.
- [8] Yu S J, McCord E, Jr. Lack of cross – resistance to indoxacarb in insecticide – resistant *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae) [J]. Pest Management Science, 2007, 63(1): 63–67.
- [9] Gutiérrez – Moreno R, Mota – Sanchez D, Blanco C A, et al. Field – evolved resistance of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) to synthetic insecticides in Puerto Rico and Mexico [J]. Journal of Economic Entomology, 2018, 112(2): 792–802.
- [10] Bolzan A, Padovez F E, Nascimento A R, et al. Selection and characterization of the inheritance of resistance of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to chlorantraniliprole and cross – resistance to other diamide insecticides [J]. Pest Management Science, 2019, 75(10): 2682–2689.
- [11] 鲁艳辉, 田俊策, 郑许松, 等. 室内测定 6 种化学杀虫剂对草地贪夜蛾幼虫的毒力[J]. 环境昆虫学报, 2020, 42(2): 329–334.
- [12] 赵胜园, 孙小旭, 张浩文, 等. 常用化学杀虫剂对草地贪夜蛾防效的室内测定[J]. 植物保护, 2019, 45(3): 10–14, 20.
- [13] 尹艳琼, 张红梅, 李永川, 等. 8 种杀虫剂对云南不同区域草地贪夜蛾种群的室内毒力测定[J]. 植物保护, 2019, 45(6): 70–74.
- [14] 闫文娟, 杨 帅, 王勇庆, 等. 草地贪夜蛾应急防控药剂田间药效筛选[J]. 应用昆虫学报, 2019, 56(4): 788–792.
- [15] 赵胜园, 杨现明, 杨学礼, 等. 8 种农药对草地贪夜蛾的田间防治效果[J]. 植物保护, 2019, 45(4): 74–78.
- [16] 邱良妙, 黄晓燕, 杨秀娟, 等. 福建省草地贪夜蛾入侵动态监测与药剂防治技术研究[J]. 福建农业学报, 2019, 34(12): 1426–1432.
- [17] 陈利民, 黄 俊, 吴全聪, 等. 绿色杀虫剂对草地贪夜蛾杀虫活性比较测定[J]. 环境昆虫学报, 2019, 41(4): 775–781.
- [18] 赵胜园, 杨现明, 孙小旭, 等. 常用生物农药对草地贪夜蛾的室内防效[J]. 植物保护, 2019, 45(3): 21–26.
- [19] 鲁艳辉, 田俊策, 郑许松, 等. 二十六种杀虫剂对不同龄期草地贪夜蛾幼虫的室内毒力[J]. 浙江农业学报, 2019, 31(12): 2049–2056.
- [20] 郭志敏, 邓晓倩, 李 静, 等. 湖北四个地区草地贪夜蛾田间种群的杀虫剂敏感性及靶标突变检测[J]. 昆虫学报, 2020, 63(5): 582–589.
- [21] Zhang L, Liu B, Zheng W G, et al. High – depth resequencing reveals hybrid population and insecticide resistance characteristics of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) invading China [J/OL]. BioRxiv, 2019 [2021 – 05 – 24]. [http://dx. doi. org/10.1101/813154](http://dx.doi.org/10.1101/813154).

侯慧云,高峰,高同国,等. 施氮对大豆结瘤、固氮及产量影响的研究进展[J]. 江苏农业科学,2022,50(8):42-48.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.08.009

施氮对大豆结瘤、固氮及产量影响的研究进展

侯慧云,高峰,高同国,朱宝成

(河北农业大学生命科学学院/农业废弃物资源化利用河北省工程研究中心,河北保定 071000)

摘要:氮是大豆 [*Glycine max* (L.) Merrill] 生长的必需元素,大豆生长所需氮量的 50% ~ 60% 来自于共生固氮,少量施氮对大豆结瘤、固氮效率及产量有促进作用,施氮量过高则表现为抑制作用。本文着重从施氮的氮素形态、氮素施用量和施氮时期 3 个方面阐述了氮素对大豆根瘤数量、固氮酶活性和产量的影响。探讨了高氮抑制结瘤和固氮效率的作用机理即 AON (autoregulation of nodulation) 系统负反馈调节机理、激素调节作用、碳饥饿假说、硝酸盐毒性假说,并据此为大豆种植提供合理的施氮方案,为提高大豆固氮能力和产量提供科学依据。

关键词:氮素;大豆;结瘤;固氮效率

中图分类号:S565.106 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)08-0042-07

氮素是构成植物体内蛋白质、核酸、叶绿素及激素等重要组分的必需元素,可直接或间接参与植物体内不同时期各种生理过程,是限制植物生长发育和判断农产品蛋白质含量的关键要素之一。施用适量氮肥可改善植物体内营养状况,满足植物生长发育对氮的需要,促进光合作用的进行和产物的积累。大豆中蛋白质含量高达 40%,因此对氮需求量更高,氮素不仅调控大豆生长发育,还会调控其根瘤形成及固氮效率,在根瘤形成关键时期,科学施用氮肥能促进植株生长,利于氮素及光合产物向根瘤转运,促进有效根瘤形成,保障生长后期氮素供应,使大豆达到高产^[1]。

大豆利用氮素的主要来源为土壤氮、施肥氮以及根瘤固氮。根瘤固氮是大豆氮素的主要来源,大豆一生所需氮量的 50% ~ 60% 来源于共生固氮体

系固定的氮素,剩余部分则来源于土壤氮和施肥氮^[2]。土壤氮是大豆生长发育初期所需的基础来源,而我国大部分地方的土壤都存在含氮量偏低的问题,因此通过施肥保持土壤氮水平对大豆生长发育至关重要^[3]。3 种氮素之间既相互利用又相互制约。大豆生长初期,少量的土壤氮和施肥氮可促进植株生长、干物质积累和根瘤形成;氮素缺乏时植物需要消耗大量能量来适应环境,用于生长的能量被消耗,生长受到抑制,根瘤不能形成^[4];施氮过量则会抑制根瘤形成及固氮作用。大豆生育中后期,尤其是生殖器官生长阶段,根瘤固定的氮大部分会转向生殖器官,而施肥氮和土壤氮能保持植株生长需要。大豆在不同发育时期对氮素需求存在差异,协调好土壤氮、施肥氮和根瘤固氮三者之间的互利关系,制定科学的施氮方案,才能减少化学肥料施用,使大豆生长、根瘤形成及固氮作用达到最佳,从而提高大豆产量^[3]。因此本文从氮素形态、氮素施用量及施氮时期 3 个方面总结了氮素对大豆结瘤和固氮能力的影响,提出科学有效的施氮方案,为高效合理利用氮肥,减少化肥使用量,提高大豆产量等方面提供理论依据。

收稿日期:2021-08-01

基金项目:国家自然科学基金(编号:41807037,31770541)。

作者简介:侯慧云(1990—),女,河北石家庄人,硕士,从事生物共生固氮研究。E-mail:houthuiyun210@163.com。

通信作者:高同国,博士,副教授,从事微生物植物互作研究。E-mail:gtgrxf@163.com。

[22] Herrera-Mayorga E V, Bello-Ruiz D G, Paredes-Sánchez F A, et al. Identification of snp's in the *ace-1* gene of *Spodoptera frugiperda* associated with resistance to organophosphorus insecticides [J]. Southwestern Entomologist, 2018, 43(4): 855-865.

[23] 林玉英,金涛,马光昌,等. 15 种杀虫剂对草地贪夜蛾卵的毒力测定[J]. 植物保护, 2020, 46(1): 82-86.

[24] 王芹芹,崔丽,王立,等. 14 种杀虫剂对草地贪夜蛾的杀卵活性[J]. 植物保护, 2019, 45(6): 80-83, 113.

[25] 王芹芹,崔丽,王立,等. 20 种杀虫剂对草地贪夜蛾的杀卵活性[J]. 植物保护, 2020, 46(4): 264-269.

[26] 农药室内生物测定试验准则 杀虫剂 第 5 部分: 杀卵活性试验 浸渍法: NY/T 1154.5—2006[S].