

不同寄主受绿盲蝽危害后生理代谢指标的变化

魏书艳¹ 肖留斌² 谭永安² 赵洪霞¹ 柏立新^{2*}

(1. 南京农业大学植物保护学院, 南京 210095; 2. 江苏省农业科学院植物保护研究所, 南京 210014)

摘要: 以绿盲蝽偏好程度不同的 5 种寄主植物为材料, 利用生物化学方法分析了受绿盲蝽危害后各寄主体内生理代谢指标的变化。结果表明, 受害后各寄主植物体内叶绿素与蛋白质含量均有不同程度的下降, 下降率在 10%~40% 之间。可溶性糖含量的变化较大, 绿盲蝽偏好程度较高的苜蓿与绿豆, 糖含量较未受害对照分别高 62.10% 和 31.90%, 差异达显著水平。受害后除 Bt 棉体内游离脯氨酸含量明显下降外, 其它寄主脯氨酸含量均增加, 以大豆增加最显著(53.47%)。受害后寄主植物体内 3 种保护酶活性有增有减, 但活性变化与偏好程度呈正相关性, 5 种寄主植物体内 POD 活性均增加, 其中苜蓿增加最多(133.00%), 仅大豆体内 SOD 活性下降(3.17%), 苜蓿、大豆、甜叶菊体内 CAT 活性均下降。

关键词: 绿盲蝽; 危害; 寄主植物; 生理指标

Changes of physiological indices of host plants infested by *Lygus lucorum* Meyer-Dür (Hemiptera: Miridae)

Wei Shuyan¹ Xiao Liubin² Tan Yong'an² Zhao Hongxia¹ Bai Lixin^{2*}

(1. College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, Jiangsu Province, China; 2. Institute of Plant Protection, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, Jiangsu Province, China)

Abstract: Using biochemical analysis method, the changes of physiological indices of five different host plants which *Lygus lucorum* prefers differently were studied. After the host plants were infested by *L. lucorum*, both the chlorophyll and protein contents decreased 10%–40%. Soluble sugar contents in alfalfa and mung bean increased 62.10% and 31.90%, respectively. Proline contents increased in all host plants except for Bt cotton, especially the soybean increased 53.47%. The POD activities in all host plants increased, as well as the SOD activities except soybean, which decreased 3.17%, the CAT activities, however, decreased in the host plants of alfalfa, soybean and stevia.

Key words: *Lygus lucorum*; damage; host plants; physiological index

绿盲蝽 *Lygus lucorum* Meyer-Dür 属半翅目 Hemiptera 盲蝽科 Miridae, 是一种多食性害虫, 寄主种类多达 38 科 147 种, 主要涉及棉花、枣树、苜蓿、绿豆、向日葵、茼蒿等^[1]。该虫不同于蚜虫、粉虱等汁液取食者(vascular feeder), 其主要取食植物细胞的细胞质和细胞核, 属细胞取食者(mesophyll feeder),

多聚集在植株的嫩头、生长点或幼嫩果等部位刺吸危害, 可造成植株破头破叶、枝叶丛生和蕾铃大量脱落^[2-3]。近年来, 随着农业产业结构调整, 大幅度增加果树和蔬菜的种植面积, 为绿盲蝽提供了丰富的寄主植物和适宜的越冬场所^[4], 同时化学农药长期大量使用, 使盲蝽对多种农药(如氨基甲酸酯类)

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划(2006BAD08A07), 国家农业公益性行业专项(00803011-7), 现代农业产业技术体系建设专项

作者简介: 魏书艳, 女, 1983 年生, 硕士研究生, 研究方向为昆虫生态与生理生化, email: shuyan9love@163.com

* 通讯作者(Author for correspondence), email: jaasblx@jaas.ac.cn, Tel: 025-84390392

收稿日期: 2009-10-31

产生了抗性^[5-7],加之高毒有机磷杀虫剂禁用等原因,绿盲蝽种群数量急剧上升,危害增强,并呈严重灾变趋势,在我国许多地区已经成为危害果树、棉花、蔬菜生产的重要害虫^[8-9]。

目前,对盲蝽的研究多集中在生物学特性、寄主适合度、发生规律、防控技术等方面^[7, 10-11],而关于不同寄主受盲蝽危害后体内生理代谢指标的变化及受害后寄主植物的耐性和生理补偿能力的研究较少。害虫与寄主互作关系的研究一直是植物抗虫性研究的热点。已有研究表明,棉花的高绒毛、无苞叶、高油腺、无蜜腺、高单宁等性状对盲蝽有抗性作用;而源自青豆中的胰蛋白酶抑制剂对美国牧草盲蝽 *Lygus lineolaris* Palisot de Beauvois 和豆荚草盲蝽 *Lygus hesperus* Knight 胰蛋白酶具有很强的抑制作用^[12];豆荚 *Phaseolus vulgaris* 中叶绿素 A 和 B、粗蛋白、单糖、低聚糖的含量影响盲蝽的取食,表现出抗虫性。植物在逆境胁迫下,体内与抗逆性相关的生理指标往往会有所变化,不同寄主受盲蝽危害后体内各种生理生化指标变化规律亦可能存在差异,加强这方面的研究,可进一步了解受害植株自身的生理反应机制。为此,本试验以绿盲蝽偏好度不同的 5 种寄主为材料^[13-14],对被害后植株叶片叶绿素、可溶性糖含量等进行初步研究,以探讨植株体内碳氮含量及保护酶活性变化与绿盲蝽对其偏好度之间的关系。

1 材料与方法

1.1 材料

供试寄主植物:紫花苜蓿 *Medicago sativa* (以下简称苜蓿)、绿豆 *Phaseolus radiatus*、转 Bt 基因杂交棉鄂杂棉 10 号 *Gossypium hirsutum* (以下简称 Bt 棉)、大豆 *Glycine max*、甜叶菊 *Stevia rebaudiana*。

供试虫源:绿盲蝽采自大丰及东台蚕豆田,在光照培养箱中 $27 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 、RH(70 ± 5)%、L:D = 14 h:10 h 的条件下,用四季豆连续饲养,得到虫龄基本一致的若虫,以 3~4 龄若虫供试。

试验仪器及主要试剂:Unic UV2000 型分光光度计,北京赛百奥科技有限公司;湘仪 TGL-16M 高速台式离心机,长沙湘仪离心机仪器有限公司;水浴锅 HH-6,国华电器有限公司。磺基水杨酸(AR)、茚三酮(AR),天津市科密欧化学试剂有限公司;蛋氨酸 Met(AR),南京创鑫生物技术有限公司;氮蓝四唑 NBT(AR)、聚乙烯吡咯烷酮 K₃₀(PVP),上海蓝季

科技发展有限公司;核黄素(AR),惠兴生化试剂有限公司;乙二胺四乙酸二钠 EDTA-Na₂(AR)、H₂O₂(AR),广东汕头市西陇化工厂;愈创木酚(CP),国药集团化学试剂有限公司。

1.2 方法

1.2.1 试验设计

将已催芽的大豆、绿豆、Bt 棉、苜蓿种子放入塑料盆钵中,每盆 6 粒(甜叶菊为移栽),每供试寄主种植 9 盆,罩笼培养,给予充足的水肥管理。50 天后,每供试寄主选取 6 盆,每盆保留 3 株,除去下部衰老叶片,其中 3 盆各接入 20 头绿盲蝽,另 3 盆为不接虫对照。接虫 8 天后植株叶片出现受害症状时,测定各处理植株生理代谢指标。

1.2.2 测定方法

叶绿素含量测定,采用分光光度计法^[15];可溶性糖含量测定,采用蒽酮比色法^[16];游离脯氨酸含量测定,采用酸性茚三酮显色法^[17];蛋白质含量测定,采用凯基 Lowry 法蛋白质检测试剂盒测定;保护酶、超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性测定,采用氮蓝四唑法^[6];过氧化物酶(peroxidase, POD)活性测定,采用愈创木酚法^[18];过氧化氢酶(catalase, CAT)活性测定,采用紫外吸光法^[18]。

1.3 数据统计分析

采用 DPS v8.01 数据处理软件^[19]的 Duncan 氏新复极差测验法进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 绿盲蝽危害后寄主体内叶绿素含量的变化

绿盲蝽危害后,不同寄主植物叶片内叶绿素含量均有不同程度的下降,变化率由高到低依次为:绿豆 > 苜蓿 > 甜叶菊 > 大豆 > Bt 棉,其中绿豆叶片内叶绿素含量的下降率达 30.46%,与对照间差异达极显著水平,且下降率明显高于其它 4 种寄主植物。甜叶菊叶绿素含量下降率为 12.10%,与苜蓿(12.29%)极为相近,但与对照间未形成显著差异(表 1)。

2.2 绿盲蝽危害后寄主体内可溶性糖含量的变化

在相同处理时间内,不同寄主植物叶片受绿盲蝽危害后体内可溶性糖含量变化各异。绿盲蝽偏好程度较高的苜蓿与绿豆体内的糖含量迅速增加,增长率分别高达 62.10% 和 31.90%;大豆、甜叶菊、Bt 棉体内糖含量有不同程度的降低,其中甜叶菊与 Bt 棉下降率均达 37.20%,而大豆的下降率较低,仅为 7.40%,且与对照间无显著差异(表 2)。

表 1 绿盲蝽危害后寄主植物体内叶绿素含量的变化

Table 1 Changes of chlorophyll content in different host plants infested by *Lygus lucorum*

寄主 Host plant	总叶绿素含量 Chlorophyll (mg/g)		变化率 Changes rate (%)	寄主 Host plant	总叶绿素含量 Chlorophyll (mg/g)		变化率 Changes rate (%)
	受害株	未受害株(CK)			受害株	未受害株(CK)	
	Injured plant	Uninjured plant			Injured plant	Uninjured plant	
苜蓿 Alfalfa	6.03 ± 0.08 b	6.88 ± 0.19 a	- 12.29	大豆 Soybean	5.52 ± 0.33 b	6.19 ± 0.07 a	- 10.82
绿豆 Mung bean	2.91 ± 0.03 B	4.19 ± 0.07 A	- 30.46	甜叶菊 Stevia	4.94 ± 0.26 a	5.62 ± 0.09 a	- 12.10
Bt 棉 Bt cotton	5.45 ± 0.06 B	6.08 ± 0.06 A	- 10.43				

注:表中数据表示平均数 ± 标准误;经 Duncan 氏新复极差测验,同行数据后不同大小写字母分别表示差异极显著或显著($P_{0.01}$ 或 $P_{0.05}$)。Note: Data in the table means average ± SE, data followed by the same uppercase letters or lowercase letters in the same line indicated no significant difference at $P_{0.01}$ or $P_{0.05}$ by Duncan's multiple range test, respectively.

表 2 绿盲蝽危害后寄主植物体内可溶性糖含量的变化

Table 2 Changes of soluble sugar content in different host plants infested by *Lygus lucorum*

寄主 Host plant	可溶性糖含量(%)		变化率 Changes rate (%)	寄主 Host plant	可溶性糖含量(%)		变化率 Changes rate (%)
	受害株	未受害株(CK)			受害株	未受害株(CK)	
	Injured plant	Uninjured plant			Injured plant	Uninjured plant	
苜蓿 Alfalfa	0.60 ± 0.08 a	0.37 ± 0.02 b	62.10	大豆 Soybean	1.33 ± 0.05 a	1.43 ± 0.02 a	- 7.40
绿豆 Mung bean	0.46 ± 0.02 A	0.35 ± 0.02 B	31.90	甜叶菊 Stevia	1.98 ± 0.04 b	3.15 ± 0.46 a	- 37.20
Bt 棉 Bt cotton	0.31 ± 0.02 b	0.49 ± 0.06 a	- 37.20				

注:表中数据表示平均数 ± 标准误;经 Duncan 氏新复极差测验,同行数据后不同大小写字母分别表示差异极显著或显著($P_{0.01}$ 或 $P_{0.05}$)。Note: Data in the table means average ± SE, data followed by the same uppercase letters or lowercase letters in the same line indicated no significant difference at $P_{0.01}$ or $P_{0.05}$ by Duncan's multiple range test, respectively.

2.3 绿盲蝽危害后寄主体内蛋白质含量的变化

寄主受害后,各处理与对照间蛋白质含量存在显著差异,寄主植物体内蛋白质含量均有不同程度的降低,下降率依次为:绿豆 > Bt 棉 > 甜叶菊 > 苜蓿 > 大豆,其中,绿盲蝽偏好程度相对较低的大豆蛋

白质含量下降率最低,为 11.44%;而绿盲蝽偏好程度相对较高的绿豆、Bt 棉及苜蓿下降率有一定差异,但均高于大豆,其中绿豆与 Bt 棉的下降率达 30% 以上(表 3)。表明受害后绿盲蝽偏好程度较高的寄主蛋白质含量下降更显著。

表 3 绿盲蝽危害后寄主植物体内蛋白质含量的变化

Table 3 Changes of protein content in different host plants infested by *Lygus lucorum*

寄主 Host plant	蛋白质含量 Protein content (%)		变化率 Changes rate (%)	寄主 Host plant	蛋白质含量 Protein content (%)		变化率 Changes rate (%)
	受害株	未受害株(CK)			受害株	未受害株(CK)	
	Injured plant	Uninjured plant			Injured plant	Uninjured plant	
苜蓿 Alfalfa	5.24 ± 0.36 b	6.06 ± 0.04 a	- 13.66	大豆 Soybean	6.58 ± 0.20 b	7.44 ± 0.38 a	- 11.44
绿豆 Mung bean	0.65 ± 0.09 b	1.06 ± 0.04 a	- 38.20	甜叶菊 Stevia	4.75 ± 0.24 b	5.63 ± 0.10 a	- 15.67
Bt 棉 Bt cotton	2.78 ± 0.16 B	4.15 ± 0.09 A	- 33.15				

注:表中数据表示平均数 ± 标准误;经 Duncan 氏新复极差测验,同行数据后不同大小写字母分别表示差异极显著或显著($P_{0.01}$ 或 $P_{0.05}$)。Note: Data in the table means average ± SE, data followed by the same uppercase letters or lowercase letters in the same line indicated no significant difference at $P_{0.01}$ or $P_{0.05}$ by Duncan's multiple range test, respectively.

2.4 绿盲蝽危害后寄主体内游离脯氨酸含量的变化

绿盲蝽危害后除 Bt 棉体内游离脯氨酸含量降低了 28.79%,显著低于未受害对照外,其它 4 种寄

主植物体内游离脯氨酸含量均有不同程度的升高,增长趋势由高到低依次为:大豆 > 绿豆 > 苜蓿 > 甜叶菊。其中,受害大豆体内的游离脯氨酸含量增加率

高达 53.47%, 极显著高于未受害对照; 绿豆与苜蓿变化相近, 分别较未受害对照高 19.29% 和 17.15%; 甜叶菊体内游离脯氨酸含量仅较对照高 5.60%, 且与

未受害对照间无显著差异(表 4)。表明绿盲蝽的危害在一定程度上加快了寄主体内游离脯氨酸的积累, 以抵抗不良环境的影响和提高逆境生存的能力。

表 4 绿盲蝽危害后寄主植物体内游离脯氨酸含量的变化

Table 4 Changes of proline content in different host plants infested by *Lygus lucorum*

寄主 Host plant	游离脯氨酸 Proline content ($\mu\text{g/g}$)		变化率 Changes rate (%)	寄主 Host plant	游离脯氨酸 Proline content ($\mu\text{g/g}$)		变化率 Changes rate (%)
	受害株 Injured plant	未受害株(CK) Uninjured plant			受害株 Injured plant	未受害株(CK) Uninjured plant	
苜蓿 Alfalfa	48.64 $\pm$ 0.57 A	41.52 $\pm$ 0.49 B	17.15	大豆 Soybean	14.56 $\pm$ 0.73 A	9.49 $\pm$ 0.63 B	53.47
绿豆 Mung bean	19.98 $\pm$ 0.76 a	16.76 $\pm$ 0.51 b	19.29	甜叶菊 Stevia	14.74 $\pm$ 0.24 a	13.96 $\pm$ 0.78 a	5.60
Bt 棉 Bt cotton	6.80 $\pm$ 0.58 b	9.55 $\pm$ 0.69 a	-28.79				

注: 表中数据表示平均数 $\pm$ 标准误; 经 Duncan 氏新复极差测验, 同行数据后不同大小写字母分别表示差异极显著或显著 ($P_{0.01}$ 或 $P_{0.05}$)。Note: Data in the table means average $\pm$ SE, data followed by the same uppercase letters or lowercase letters in the same line indicated no significant difference at $P_{0.01}$ or $P_{0.05}$ by Duncan's multiple range test, respectively.

2.5 绿盲蝽危害后寄主体内保护酶活性的变化

绿盲蝽危害后, 仅大豆体内 SOD 活性有所降低, 且与未受害对照相比, 差异达显著水平; 其它 4 种寄主 SOD 活性的增长率为: Bt 棉 > 苜蓿 > 绿豆 > 甜叶菊, 其中以 Bt 棉的增长幅度最大, 为 7.32%, 并且与未受害对照间差异达显著水平。

POD 活性在受害后均呈增强趋势, 绿盲蝽偏好程度较高的苜蓿、Bt 棉和绿豆体内 POD 活性明显升高, 增长率分别高达 133.00%、81.24% 和 65.21%, 差异达显著甚至极显著水平; 大豆与甜叶菊的变化率相对较小, 且与未受害对照相比无显著差异。

受害后不同寄主间 CAT 活性变化差异较大, Bt 棉与绿豆 CAT 活性明显增加, 其中 Bt 棉增幅达 162.30%, 极显著高于未受害对照; 而苜蓿、大豆、甜叶菊受害后 CAT 活性有不同程度的下降, 以苜蓿和甜叶菊下降率较大, 差异达显著水平, 大豆的变化率最小, 无显著差异(图 1)。

以上结果表明, 5 种寄主植物受害后保护酶活性与对照间存在显著差异。绿盲蝽偏好程度较高的苜蓿、绿豆、Bt 棉体内 3 种保护酶活性增长率明显高于偏好程度相对较低的大豆, 其中绿豆与 Bt 棉体内 3 种保护酶活性均增强, 苜蓿与甜叶菊体内除 CAT 活性下降外, SOD、POD 活性均显著增强, 而大豆体内仅 POD 活性增强。

3 讨论

逆境胁迫(如病虫害等)影响植物的生长、光合作用、蛋白质合成、保护酶活性等重要生命过程。植物通过光合作用为自身生长提供物质能量, 而害

虫胁迫往往会对叶片造成损伤, 影响叶面积扩展速度, 减少植物光合作用面积, 从而造成植物碳同化物减少^[20], 进而引起植物提前衰老。本试验结果表明, 受害后各寄主叶绿素含量均有不同程度下降, 绿盲蝽偏好程度较低的大豆下降率最小, 这可能与不同寄主间抗逆性差异有关, 陈建明等^[21]曾报道, 水稻抗虫品种受褐飞虱危害后叶绿素含量下降显著低于感虫品种。

碳素代谢是植物体代谢的重要内容, 其含量代表作物碳素营养状况, 与作物的抗虫性有关^[22]。不同植物对逆境胁迫的抵抗力及表现形式各不相同, 杨德松等^[22]在研究土耳其斯坦叶螨 *Tetranychus turkestanii* Ugarov & Nikolski 对棉花的影响时发现, 随着受害时间的延长及虫口密度的增加糖含量明显增加。本试验结果表明, 受害后绿盲蝽偏好程度较高的苜蓿、绿豆体内可溶性糖含量显著增加, Bt 棉、大豆和甜叶菊体内可溶性糖含量却有所降低。

蛋白质代谢在植物抗逆生理过程中具有重要的作用。供试的 5 种植物体内蛋白质含量在受害后均下降, 而游离脯氨酸含量仅 Bt 棉下降明显。贺文婷和彭德良^[23]研究表明, 在逆境条件下蛋白酶的活性增加, 能加速蛋白质降解, 增加游离氨基酸的含量, 汤章城^[24]和 Hare 等^[25]认为, 逆境下植物体内游离脯氨酸含量往往会有所升高。

生物体内氧被视为电子传递的受体。正常状态下, 生物细胞代谢产生的活性氧并不对其造成危害, 但在逆境条件下可对生物体造成危害。而活性氧清除系统的 3 个主要酶(SOD、POD、CAT)能有效抑制活性氧自由基对机体的伤害, 提高生物体抗逆能

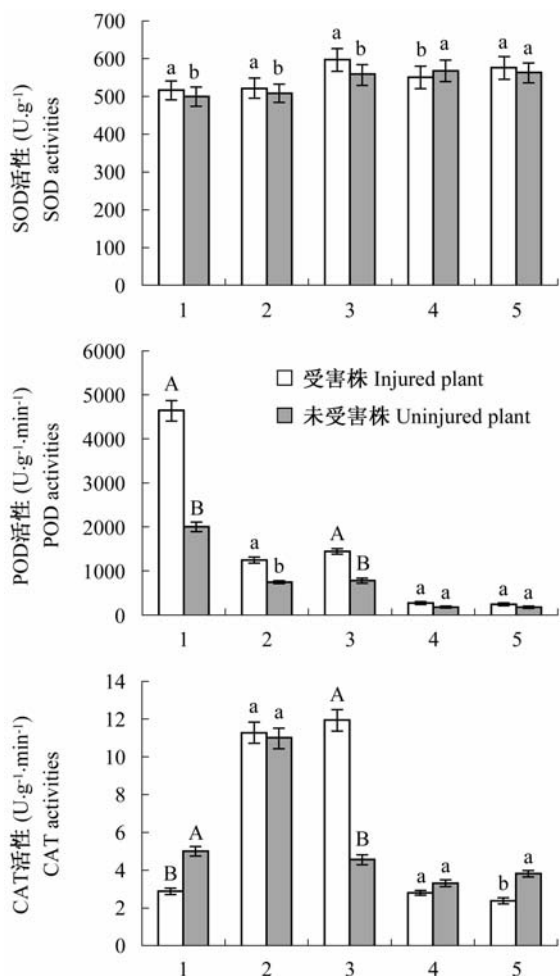


图1 绿盲蝽危害后寄主体内 SOD、POD 和 CAT 活性变化
Fig. 1 Changes of SOD, POD or CAT activities in different host plants infested by *Lygus lucorum*

注:1. 苜蓿;2. 绿豆;3. Bt 棉;4. 大豆;5. 甜叶菊。经 Duncan 氏新复极差测验,同种寄主不同大小写字母分别表示差异极显著或显著 ($P_{0.01}$ 或 $P_{0.05}$)。Note: 1. Alfalfa; 2. mung bean; 3. Bt cotton; 4. soybean; 5. stevia. The same uppercase letters or lower-case letters in the same host plant indicated no significant difference at $P_{0.01}$ or $P_{0.05}$ by Duncan's multiple range test, respectively.

力^[26]。其中 SOD 的底物能清除 O_2^- , POD 和 CAT 能降解不同浓度 H_2O_2 ^[23, 27]。陈建明等^[21]和许秀淡等^[28]研究表明,不同植物受不同害虫危害后体内保护酶活性变化存在一定差异。本试验结果显示,绿盲蝽危害后 3 种保护酶中 POD 活性显著增加,而 SOD 活性增减率相对较小, CAT 活性仅在 Bt 棉中增长显著,这可能与酶的功能差异、植株受害程度及自身耐性有关。植物在遭受逆境胁迫时,产生的活性氧数量增多,为了抵抗逆境对植物体造成的伤害,各保护酶间协调作用,从而保护植物膜系统。

长期的自然选择使植物与害虫间形成了一系列适应与被适应的关系,植物与害虫互作亦已成为研究的热点。Rodriguez-Saona 等^[29]和 Williams 等^[30]研究表明,豆荚草盲蝽取食可诱导寄主植物产生挥发物,该挥发物的散失有机地把植物、害虫与天敌三者联系起来;不同寄主种类对盲蝽的个体生长发育和种群增殖有明显影响^[31]。本试验发现,受绿盲蝽危害后,苜蓿、绿豆及 Bt 棉体内叶绿素、蛋白质、糖含量变化及 3 种保护酶活性变化率较大,而大豆的变化率较低,即变化率与盲蝽偏好度呈正相关;游离脯氨酸含量变化趋势却相反,以大豆的增加幅度最大,即与偏好度呈负相关。表明大豆受绿盲蝽危害后的耐性及自我补偿功能较强。郭小奇等^[13]报道,大豆不适合中黑盲蝽种群的生长发育,因其嫩荚表面的钩状叶毛可阻碍若虫取食与活动。

此外,甜叶菊受害后生理代谢指标的变化趋势与苜蓿和 Bt 棉相似,但仅从受害后各生理代谢指标变化难以判定绿盲蝽对甜叶菊的偏好程度,需室内与田间试验相结合,进一步研究绿盲蝽在甜叶菊上的生命表参数及选择偏好程度等。

参 考 文 献 (References)

- [1] 陆宴辉,吴孔明. 棉花盲蝽象及其防治. 北京: 金盾出版社, 2008: 29-31
- [2] 张慧珍. 自然条件下冀南棉区 Bt 抗虫棉田棉盲蝽发生为害现状调查研究简报. // 成卓敏. 农业生物灾害预防与控制研究. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2005: 952-953
- [3] Russell J S, Leonard B R, Gore J, et al. Cotton boll abscission influenced by tarnished plant bug feeding. Proceedings Beltwide Cotton Production Research Conferences, Orlando, Florida, USA, 1999, 2: 1046-1048
- [4] 张龙娃,柏立新,韩召军,等. 转 Bt 基因棉田害虫和天敌组成及优势类群时序动态. 棉花学报, 2005, 17(4): 222-226
- [5] Fleury D, Bostanian N J, Mauffette Y, et al. Residual toxicity of two insecticides on three field populations of *Lygus lineolaris* (Hemiptera: Miridae) collected along the St Lawrence valley in eastern Canada. Pest Management Science, 2007, 63(5): 495-499
- [6] Zhu Y C, Snodgrass G L, Chen M S. Enhanced esterase gene expression and activity in a malathion-resistant strain of the tarnished plant bug, *Lygus lineolaris*. Insect Biochemistry and Molecular Biology, 2004, 34: 1175-1186
- [7] 刘仰青,吴孔明,薛芳森. 盲蝽象抗药性治理的研究进展. 华东昆虫学报, 2007, 16(2): 141-148

- [8] Men X, Ge F, Edwards C A, et al. The influence of pesticide applications on *Helioverpa armigera* Hubner and sucking pests in transgenic Bt cotton and non-transgenic cotton in China. *Crop Protection*, 2005, 24(4): 319–324
- [9] 张秀梅, 刘小京, 杨艳敏, 等. 绿盲蝽在 Bt 转基因棉及枣树上的发生规律. *华东昆虫学报*, 2005, 14(1): 28–32
- [10] 王碧霞, 尚振青. 棉盲蝽的发生与防治对策. *现代农业科技*, 2008(12): 135
- [11] 徐文华, 王瑞明, 林付根, 等. 棉盲蝽的寄主种类、转移规律、生态分布与寄主的适合度. *江西农业学报*, 2007, 19(12): 45–50, 56
- [12] 曾凡荣, 毕新平. 昆虫消化酶抑制剂与害虫防治. *生物技术通报*, 2005(5): 39–42
- [13] 郭小奇, 付晓伟, 封洪强, 等. 不同寄主对中黑盲蝽 (*Adelphocoris suturalis*) 生长发育和繁殖的影响. *生态学报*, 2008, 28(4): 1514–1520
- [14] 陈永明, 李瑛, 刘海南. 沿海农业有害生物监控技术研究新进展. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2009: 133–136
- [15] 崔勤, 李新丽, 翟淑芝. 小麦叶片叶绿素含量测定的分光光度计法. *安徽农业科学*, 2006, 34(10): 2063
- [16] 陈克克. 地瓜儿可溶性糖和还原糖的含量测定. *西安文理学院学报(自然科学版)*, 2009, 12(1): 39–42
- [17] 张殿忠, 汪沛洪, 赵慧贤. 测定小麦叶片游离脯氨酸含量的方法. *植物生理学通讯*, 1990(4): 32, 62–65
- [18] 宋月芹, 孙会忠, 仵均祥, 等. 不同温度对甜菜夜蛾保护酶活性的影响. *西北农业学报*, 2009, 18(3): 285–288
- [19] 唐启义, 冯明光. DPS 数据处理系统: 试验设计、统计分析 & 数据挖掘. 北京: 科学出版社, 2007
- [20] 谷艳芳, 丁圣彦, 李婷婷, 等. 盐胁迫对冬小麦幼苗干物质分配和生理生态特性的影响. *生态学报*, 2009, 29(2): 840–845
- [21] 陈建明, 俞晓平, 程家安, 等. 不同水稻品种受褐飞虱危害后体内生理指标的变化. *植物保护学报*, 2003, 30(3): 225–231
- [22] 杨德松, 贺福德, 张利, 等. 土耳其斯坦叶螨危害对棉花叶片叶绿素、可溶性蛋白质、可溶性糖影响的研究. *新疆农业科学*, 2005, 42(2): 107–110
- [23] 贺文婷, 彭德良. 植物对线虫胁迫的生理生化响应机制. *植物保护*, 2007, 33(2): 11–15
- [24] 汤章城. 逆境条件下植物脯氨酸的积累及其可能的意义. *植物生理学通讯*, 1984, 17(1): 15–21
- [25] Hare P D, Cress W A, Staden J. Proline synthesis and degradation: a model system for elucidating stress-related signal transduction. *Journal of Experimental Botany*, 1999, 50(22): 413–434
- [26] 黄伟, 贾志宽, 韩清芳. 蚜虫 (*Aphis medicaginis* Koch) 危害胁迫对不同苜蓿品种体内丙二醛含量及防御性酶活性的影响. *生态学报*, 2007, 27(6): 2177–2183
- [27] Tester M, Davenport R. Na⁺-tolerance and Na⁺-transport in higher plants. *Annals of Botany*, 2003, 91(5): 503–527
- [28] 许秀淡, 郑少泉, 黄金松, 等. 角颊木虱为害对龙眼叶片活性氧代谢的影响. *福建农业学报*, 2000, 15(3): 60–63
- [29] Rodriguez-Saona C, Crafts-Brandner S J, Williams L III, et al. *Lygus hesperus* feeding and salivary gland extracts induce volatile emissions in plants. *Journal of Chemical Ecology*, 2002, 28(9): 1733–1747
- [30] Williams L III, Rodriguez-Saona C, Paré P W, et al. The piercing-sucking herbivores *Lygus hesperus* and *Nezara viridula* induce volatile emissions in plants. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 2005, 58: 84–96
- [31] Wheeler A G Jr. *Biology of the plant bugs*. Ithaca, NY: Cornell University Press, 2001