

摘要

草地贪夜蛾*Spodoptera frugiperda*属鳞翅目夜蛾科，是一种重要的入侵性农业害虫。目前，防治草地贪夜蛾的方法以化学防治为主。为明确氰氟虫腓、茚虫威和乙基多杀菌素三种靶向昆虫神经系统的杀虫剂对草地贪夜蛾种群的影响，本论文应用两性生命表方法，研究了亚致死浓度 LC_{10} 、 LC_{30} 对草地贪夜蛾 F_0 代、 F_1 代生长发育和繁殖能力的影响，然后测定了三种增效剂处理草地贪夜蛾3龄幼虫后对氰氟虫腓、茚虫威和乙基多杀菌素的增效作用，最后测定了亚致死浓度处理下草地贪夜蛾体内羧酸酯酶(Carboxylesterase, CarE)、谷胱甘肽S-转移酶(Glutathione S-transferase, GST)、多功能氧化酶(Multifunctional oxidase, MFO)活性变化。主要研究结果如下：

1. 三种杀虫剂亚致死剂量的确定及对草地贪夜蛾 F_0 和 F_1 代生长和繁殖的影响

采用人工饲料混毒法，测定了氰氟虫腓、茚虫威和乙基多杀菌素对草地贪夜蛾3龄幼虫72 h的毒力水平，并研究了亚致死浓度(LC_{10} 和 LC_{30})的氰氟虫腓、茚虫威和乙基多杀菌素对草地贪夜蛾存活、生长发育和繁殖能力的影响。根据毒力测定的结果，氰氟虫腓、茚虫威和乙基多杀菌素对草地贪夜蛾的 LC_{10} 分别为0.733 mg/kg、5.989 mg/kg和0.031 mg/kg， LC_{30} 分别为1.489 mg/kg、10.163 mg/kg和0.066 mg/kg。与对照组相比，三种杀虫剂 LC_{10} 和 LC_{30} 浓度处理下草地贪夜蛾 F_0 代、 F_1 代蛹期显著延长，雌成虫寿命、产卵期显著缩短，产卵量显著减少，孵化率降低。 F_0 代化蛹率、雌雄蛹重、羽化率均降低，但羽化率与对照组之间均无显著差异。 F_1 代幼虫期显著延长，且随着药剂浓度的升高而升高。其中在氰氟虫腓和乙基多杀菌素 LC_{10} 、 LC_{30} 浓度处理下 F_0 代5龄和6龄幼虫期与对照组相比均缩短，而茚虫威在 LC_{10} 、 LC_{30} 浓度处理下 F_0 代4龄、5龄和6龄幼虫期较对照组延长。三种杀虫剂亚致死浓度处理后，内禀增长率(r_m)、周限增长率(λ)、净增殖率(R_0)均显著降低，平均世代周期(T)显著延长，且随着药剂浓度的升高而增大。结果表明亚致死浓度的氰氟虫腓、茚虫威和乙基多杀菌素影响草地贪夜蛾的生长发育和繁殖，对种群的增长具有一定的抑制作用。

2. 增效剂处理草地贪夜蛾3龄幼虫后对三种杀虫剂的增效作用

首先在毒力测定前12 h，将浓度为100 mg/kg的磷酸三苯酯(Triphenyl phosphate, TPP)、顺丁烯二酸二乙酯(Diethyl maleate, DEM)、胡椒基丁醚(Piperonyl butoxide, PBO)浸渍玉米叶，饲喂草地贪夜蛾三龄幼虫12 h后采用人工饲料混毒法进行毒力测定，对照组取食用无增效剂浸渍的玉米叶片，测定了TPP、DEM、PBO三种增效剂处理草地贪夜蛾3龄幼虫后对氰氟虫腓、茚虫威和乙基多杀菌素的增效作用。结果表明，TPP、DEM、PBO三种增效剂处理草地贪夜蛾3龄幼虫后，对氰氟虫腓的增效倍

数均小于1.20倍， LC_{50} 值也与对照组无显著差异，可能是由于本研究所测定的草地贪夜蛾为氰氟虫腓敏感品系，对氰氟虫腓解毒代谢能力较弱，因此增效剂的增效作用很难达到显著增效效果；DEM、PBO对茚虫威的增效倍数均大于1.5倍，具有显著的增效作用；PBO对乙基多杀菌素的增效倍数达1.78倍，而TPP、DEM对乙基多杀菌素的增效倍数均低于1.3倍。结果初步表明草地贪夜蛾对茚虫威的解毒代谢可能与GST和MFO有关，草地贪夜蛾对乙基多杀菌素的解毒代谢可能与MFO有关。

3. 亚致死剂量氰氟虫腓和茚虫威对草地贪夜蛾体内三种解毒代谢酶活性的影响

采用酶联免疫吸附法测定了氰氟虫腓、茚虫威亚致死浓度(LC_{10} 和 LC_{30})处理草地贪夜蛾3龄幼虫后，CarE、GST、MFO三种解毒代谢酶在12、24、48和72 h的活性变化。结果表明，亚致死浓度的氰氟虫腓处理草地贪夜蛾3龄幼虫后，在72 h内，MFO活力表现为先诱导后抑制，GST活性表现为诱导，CarE活性变化与对照组相比无显著差异；亚致死浓度的茚虫威处理草地贪夜蛾3龄幼虫后，在72 h内，MFO和GST的活性均表现为亚致死浓度的茚虫威诱导后活性增强，而CarE活性变化与对照组相比无显著差异。因此，推测GST在草地贪夜蛾对氰氟虫腓的解毒代谢过程中起重要作用，MFO和GST可能在草地贪夜蛾对茚虫威的解毒代谢过程中起重要作用。

关键词：草地贪夜蛾；氰氟虫腓；茚虫威；乙基多杀菌素；亚致死效应

ABSTRACT

The fall armyworm (FAW), *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) is an important invasive agricultural pest. At present, the main method to control FAW is chemical control. In order to determine the effects of metaflumizone, indoxacarb and spinetoram on the population of FAW, the effects of sublethal concentrations of LC₁₀ and LC₃₀ on the growth and reproduction of F₀ and F₁ generations of FAW were studied by the amphoditic life table method. The synergies of enzyme inhibitors on the third instar larvae of FAW were measured. In addition, the activity of carboxylesterase(CarE), glutathione S-transferase(GST) and mixed-function oxidases(MFO) were measured under the sublethal concentration. The main research results are as follows:

1. Determination of sublethal doses of three insecticides and their effects on development and reproduction of F₀ and F₁ generations of *S. frugiperda*

The toxicity levels of metaflumizone, indoxacarb and spinetoram against the third instar larvae of FAW were determined by artificial feed toxicity mixing method, and the effects of sublethal concentrations (LC₁₀ and LC₃₀) of metaflumizone, indoxacarb and spinetoram on survival, growth and reproduction ability of FAW were studied. The results showed that the effects of sublethal concentrations of metaflumizone, indoxacarb and spinetoram on survival, growth and reproduction of FAW. According to the toxicity test results, the LC₁₀ values of metaflumizone, indoxacarb and spinetoram against FAW were 0.733 mg/kg, 5.989 mg/kg and 0.031 mg/kg, respectively, and the LC₃₀ values were 1.489 mg/kg, 10.163 mg/kg and 0.066 mg/kg, respectively. The study revealed that the pupal stages of FAW in both F₀ and F₁ generations had a prolonged developmental duration after being treated with LC₁₀ and LC₃₀ concentrations. Meanwhile, the lifespan and spawning period of female adults of F₀ and F₁ generations shortened significantly compared with the control. During the F₀ and F₁ generations, there was a notable decrease in both the number of eggs laid and the hatching rate. The pupation rate, pupa weight and emergence rate of F₀ generation were all decreased, but there was no significant difference in emergence rate between treatment group and control group. The larval stage of F₁ generation was prolonged significantly and increased with the increase of the concentration of the insecticides. Compared with the control group, the 5th and 6th instar larvae stages of F₀ generation were shortened at the concentrations of metaflumizone and indoxacarb LC₁₀ and LC₃₀, while the 4th, 5th and 6th instar larvae stages of F₀ generation were prolonged at the concentrations of indoxacarb and LC₃₀. The intrinsic

growth rate (r_m), the peripheral growth rate (λ) and the net growth rate (R_0) were significantly decreased after the treatment of sublethal concentrations of the three insecticides, and the average generation period (T) was significantly prolonged, and increased with the increase of the concentration of the three insecticides. Sublethal concentrations of metaflumizone, indoxacarb and spinetoram affected the growth, development and reproduction of FAW and inhibited its population growth.

2. Synergistic effects of synergists on three insecticides treated with third instar larvae of *S. frugiperda*

Before conducting the toxicity test, corn leaves were impregnated with 100 mg/kg of triphenyl phosphate (TPP), diethyl maleate (DEM), and piperonyl butoxide (PBO) for phenyl phosphate. After 12 hours of feeding the third instar larvae of FAW, toxicity was determined using the artificial feed poisoning method. The control group was fed corn leaves without synergistic impregnation. The study aimed to determine the synergistic effects of TPP, DEM, and PBO on metaflumizone, indoxacarb and spinetoram. According to the study, the synergistic effect of TPP, DEM, and PBO on metaflumizone was found to be less than 1.20 times when applied to third instar larvae. Additionally, the LC_{50} value was not significantly different from that of the control group. This could be due to the fact that the metaflumizone strain used in the study was sensitive and had a weak detoxification ability. The findings revealed that the combination of DEM and PBO had a synergistic effect on indoxacarb toxicity, with synergistic multiples greater than 1.5 times. However, the synergistic multiples of TPP and DEM to spinetoram were lower than 1.3 times, while the synergistic multiples of PBO to spinetoram were 1.78 times. The results indicate that the detoxification metabolism of FAW to indoxacarb is associated with increased activity of GST and MFO, while the detoxification metabolism to spinetoram is related to increased activity of MFO.

3. Effects of sublethal doses of metaflumizone and indoxacarb on the activities of three detoxification metabolizing enzymes in *S. frugiperda*

The objective of this study was to examine the impact of metaflumizone and indoxacarb at sublethal concentrations (LC_{10} and LC_{30}) on three detoxification metabolizing enzymes, namely CarE, GST, and MFO. Third instar larvae of FAW were treated with the chemicals and enzyme-linked immunosorbent assay was conducted at 12, 24, 48, and 72 hours after treatment to determine changes in enzyme activity. The study found that after treatment with a sublethal concentration of metaflumizone, the activity of MFO was initially induced and

then inhibited, while the activity of GST was induced. The change in CarE activity was not significantly different from the control group within 72 hours. Similarly, sublethal indoxacarb treatment enhanced the activities of MFO and GST within 72 hours, but there was no significant difference in CarE activity compared to the control group. There is speculation that GST could have a significant impact on the detoxification metabolism of metaflumizone, MFO and GST may play an important role in the detoxification metabolism of indoxacarb by FAW.

KEYWORDS: *Spodoptera frugiperda*; metaflumizone; indoxacarb; spinetoram; sublethal effect

目 录

致 谢	I
摘 要	II
ABSTRACT	IV
插图清单	IX
表格清单	X
第一章 绪论	1
1.1 文献综述	1
1.1.1 草地贪夜蛾的生物学特征与危害	1
1.1.2 氰氟虫腓、茚虫威及以及乙基多杀菌素的研究进展	4
1.1.3 杀虫剂对昆虫的亚致死效应	6
1.1.4 亚致死剂量杀虫剂对昆虫解毒酶的影响	9
1.2 研究背景和意义	11
第二章 材料与方 法	13
2.1 试验材料	13
2.1.1 供试昆虫	13
2.1.2 供试试剂	13
2.1.3 主要仪器设备	13
2.2 试验方法	14
2.2.1 草地贪夜蛾人工饲料的配制	14
2.2.2 室内生物测定法	15
2.2.3 3 种杀虫剂亚致死浓度对草地贪夜蛾 F ₀ 代的影响	15
2.2.4 3 种杀虫剂亚致死浓度对草地贪夜蛾 F ₁ 代的影响	16
2.2.5 酶活性测定	16
2.3 数据处理	19
第三章 结果与分析	20
3.1 3 种杀虫剂对草地贪夜蛾的毒力测定及亚致死剂量的确定	20
3.2 3 种杀虫剂亚致死剂量对 F ₀ 代草地贪夜蛾生长发育和繁殖的影响	20
3.2.1 3 种杀虫剂亚致死剂量对 F ₀ 代草地贪夜蛾生长发育的影响	20
3.2.2 3 种杀虫剂亚致死剂量对 F ₀ 代草地贪夜蛾繁殖能力的影响	24
3.3 3 种杀虫剂亚致死剂量对 F ₁ 代草地贪夜蛾生长发育和繁殖的影响	26
3.3.1 3 种杀虫剂亚致死剂量对 F ₁ 代草地贪夜蛾生长发育的影响	26

3.3.2 3 种杀虫剂亚致死剂量对 F ₁ 代草地贪夜蛾繁殖能力的影响	30
3.3.3 3 种杀虫剂亚致死剂量对 F ₁ 代草地贪夜蛾生命表参数的影响	32
3.4 增效剂处理草地贪夜蛾 3 龄幼虫后对 3 种杀虫剂的增效作用	34
3.4.1 氰氟虫腓对草地贪夜蛾的毒力及增效剂的增效作用	34
3.4.2 茚虫威对草地贪夜蛾的毒力及增效剂的增效作用	34
3.4.3 乙基多杀菌素对草地贪夜蛾的毒力及增效剂的增效作用	35
3.5 杀虫剂亚致死剂量对草地贪夜蛾体内 3 种解毒代谢酶活性的影响	36
3.5.1 氰氟虫腓亚致死剂量对三种解毒酶的活性影响	36
3.5.2 茚虫威亚致死剂量对三种解毒酶的活性影响	39
第四章 讨论	42
4.1 三种杀虫剂亚致死剂量处理对草地贪夜蛾生长发育和繁殖力的影响	42
4.2 增效剂处理草地贪夜蛾对三种杀虫剂的增效作用	43
4.3 氰氟虫腓、茚虫威亚致死剂量对解毒酶活力影响	43
第五章 结论	45
5.1 明确了三种杀虫剂亚致死剂量处理对草地贪夜蛾生长发育和繁殖力的影响	45
5.2 测定了增效剂处理草地贪夜蛾对三种杀虫剂的增效作用	45
5.3 测定了氰氟虫腓、茚虫威亚致死剂量对解毒酶活性影响	45
参考文献	46
作者简介	58

插图清单

图 3-1 牛血清蛋白标准曲线.....	36
图 3-2 MFO 标准曲线	37
图 3-3 氰氟虫腙处理后草地贪夜蛾体内羧酸酯酶 (CarE) 的活性.....	37
图 3-4 氰氟虫腙处理后草地贪夜蛾体内谷胱甘肽 S-转移酶 (GST) 的活性.....	38
图 3-5 氰氟虫腙处理后草地贪夜蛾体内多功能氧化酶 (MFO) 的活性	39
图 3-6 茚虫威处理后草地贪夜蛾体内羧酸酯酶 (CarE) 的活性.....	39
图 3-7 茚虫威处理后草地贪夜蛾体内谷胱甘肽 S-转移酶 (GST) 的活性.....	40
图 3-8 茚虫威处理后草地贪夜蛾体内多功能氧化酶 (MFO) 的活性	41

表格清单

表 2-1 实验所需主要试剂	13
表 2-2 实验所需主要仪器设备	13
表 2-3 草地贪夜蛾人工饲料配方	14
表 2-4 牛血清蛋白标准曲线	17
表 3-1 3 种杀虫剂对草地贪夜蛾 3 龄幼虫的毒力效果	20
表 3-2 三种杀虫剂亚致死浓度处理对草地贪夜蛾 F ₀ 代的生长发育的影响	22
表 3-3 三种杀虫剂亚致死浓度处理对草地贪夜蛾 F ₀ 代的繁殖能力的影响	25
表 3-4 三种杀虫剂亚致死浓度处理对草地贪夜蛾 F ₁ 代的生长发育的影响	28
表 3-5 三种杀虫剂亚致死浓度处理对草地贪夜蛾 F ₁ 代的繁殖能力的影响	31
表 3-6 三种杀虫剂亚致死浓度处理对草地贪夜蛾 F ₁ 代生命表参数影响	33
表 3-7 氰氟虫腓对草地贪夜蛾的毒力及 DEM, PBO 和 TPP 对氰氟虫腓的增效作用	34
表 3-8 茚虫威对草地贪夜蛾的毒力及 DEM, PBO 和 TPP 对茚虫威的增效作用	35

第一章 绪论

1.1 文献综述

1.1.1 草地贪夜蛾的生物学特征与危害

1.1.1.1 草地贪夜蛾形态及生物学特征

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda*, 属于鳞翅目夜蛾科^[1], 是一种完全变态昆虫, 生命周期包括由卵、幼虫、蛹、成虫四个阶段^[2]。卵: 卵的形状为椭圆, 卵底部平坦, 在顶端形成一个圆形的点, 每个卵块大约有100~200粒卵, 在夏季这些卵孵化的时间为2~3天^[3]。幼虫: 草地贪夜蛾有6个龄期。1龄幼虫为绿色, 头部为黑色; 2龄幼虫头部为橙色; 3龄幼虫身体的背面呈褐色, 侧面有白色的线条。3龄时, 其体色由绿色变为褐色, 出现侧白线, 表皮比较粗糙。此期幼虫的背部开始慢慢形成4个附着有刚毛的黑色斑点, 同时也可初步看到头部呈现的“V”形状条纹和前胸中央的一条条纹组合在一起显现微黄色呈倒“Y”形状的纹路。4龄到6龄幼虫, 头部呈红褐色, 幼虫身体的背侧有突出的斑点, 4~6龄期该种的头部颜色一般呈深棕, 该时期身体呈现出的倒“Y”形状的条纹也更加突出, 腹部的最后一节显现出4个大黑斑, 6龄后, 有一个短暂的预蛹期, 待化蛹^[4]。蛹: 在夏季, 蛹期为8~9 d, 蛹呈椭圆形, 红褐色。成虫: 雄性呈灰棕色, 在翅边缘有三角形的白色斑点; 雌性呈灰褐色, 翅边缘无白色大斑点^[5]。

外来入侵物种与非入侵物种相比, 外来入侵物种在行为、生理和遗传等方面具有一定的优势^[6]。草地贪夜蛾强大的入侵性与其生物学特征密切相关, 其生物学特征主要包括寄主范围广、繁殖能力强、迁飞距离远、防控难度大、危害严重等。(1) 寄主范围广。草地贪夜蛾寄主范围比较广泛, 寄主植物的种类超过300种, 包括玉米、水稻、大麦、高粱等^[7]。(2) 繁殖能力强。由于不同地区的湿度、温度不同, 草地贪夜蛾的单雌产卵量存在一定差异^[8, 9]。据报道, 在非洲每只雌性草地贪夜蛾能产1500~2000粒卵。在广州草地贪夜蛾的单雌产卵量为162~763粒^[10]。在海南草地贪夜蛾的单雌产卵量最高可达1382粒^[11]。(3) 迁飞距离远。在高空中, 草地贪夜蛾能够进行远距离的迁飞^[12], 每晚飞行距离达100 km, 而在成虫产卵前最多可飞行500 km^[13]。据报道, 草地贪夜蛾能够在30 h内从美国密西西比州飞行到加拿大1600公里的范围^[14]。(4) 防控难度大。在11~30℃, 草地贪夜蛾繁殖能力强, 迁飞距离远, 并且高龄幼虫对许多农药具有很强的抗药性^[15], 导致对草地贪夜蛾的防控产生了巨大挑战。(5) 危害严重。特别在经济条件落后的地区, 由于防治水平不高, 草地贪夜蛾危害更为严重。据报道, 在中美洲的洪都拉斯, 由于草地贪夜蛾的侵入, 使得

玉米产量减少40%^[16]；而在南美，阿根廷的产量更是减少了72%^[17]；据报道，2017年9月，草地贪夜蛾入侵非洲国家，造成了我国每年830~2060万吨的粮食减产，使得经济损失高达24.8~61.9亿美元^[18]。

1.1.1.2 草地贪夜蛾的分布与危害

草地贪夜蛾原产于热带和亚热带地区的美洲地区，于2016年初传播到非洲地区^[19]。2018年5月进入印度，随后进入泰国、缅甸^[20]。在2018年底至2019年初入侵我国云南^[21]，截至到当年5月份，草地贪夜蛾迅速入侵到我国26个省份的华南、华北、西南、西北、长江中下游、黄淮地区，内蒙古、北京、河北、山东、河南、安徽、江苏等省份的80个县，危害我国玉米、水稻、小麦等农作物，其中玉米发生面积为106.5 hm²^[22]。自2020年起，在春、夏两季向北逐代迁移进入黄河流域、中国长江流域和东北玉米、小麦等重要农作物主产区发生危害^[23]。

草地贪夜蛾寄主达42科186种植物^[24]，有两种生物型，分别为玉米型和水稻型^[25]。玉米型对禾谷类作物造成很大为害，例如玉米型草地贪夜蛾导致作物产量减少70%以上，平均减产为20%-40%^[26]，水稻型危害程度的增加导致水稻落叶增加，使得植株和穗密度降低，水稻产量降低，造成水稻减产20%左右^[27]。2020年，草地贪夜蛾侵入我国27个省份1426个县，危害面积达1333.33万hm²以上，同比增长了17.6%。2021年，全国为害面积267万hm²，危害区域主要集中在我国黄淮海和长江以南的玉米种植区，占总量的80%。其中，华南和西南地区的危害较为严重，发生次数比较频繁，江南以南和长江中下游地区危害程度相对较轻^[28]。据统计数据显示，草地贪夜蛾在巴西能够导致玉米产量减少39%以上，造成一年5亿美元的经济损失^[29]。

1.1.1.3 草地贪夜蛾的抗药性研究进展

草地贪夜蛾的防治主要以化学农药为主，常见的化学农药为拟除虫菊酯、有机磷和氨基甲酸酯等，农药的长期使用导致草地贪夜蛾田间种群产生抗性^[30]。进入21世纪以后，防治草地贪夜蛾的主要措施是种植Bt抗虫玉米。但是，在2007年波多黎各发现这种害虫对Bt抗虫玉米具有抗性，这降低了Bt抗虫玉米防治的有效性^[31]。在南美洲大部分地区，由于草地贪夜蛾的Bt抗性问题的，不得不使用大量的杀虫剂进行防控^[32]。1981年，Wood等^[33]报道了草地贪夜蛾对甲基对硫磷(Parathion methyl)的抗性倍数可高达113倍，对敌百虫的抗性倍数可达31倍。1991年，Yu等^[34]报道，草地贪夜蛾对常用有机磷类杀虫剂产生的抗性在不同的环境下表现出明显的差异，其中，对马拉硫磷(Malathion)、毒死蜱(Chlorpyrifos)、敌敌畏(Dichlorvos)、甲丙硫磷(Sulprofos)、甲基对硫磷及二嗪磷(Diazinon)的抗性倍数在12~271之间；2003年，Yu等^[35]发现，在佛罗里达州斯特拉地区发现了草地贪夜蛾对甲基对硫磷产生的抗性倍数高达354倍。在2007年，Yu等^[36]发现，与敏感品系相比，在斯特拉和佛罗里达州

北部城市采集的草地贪夜蛾对甲基对硫磷产生的抗性倍数分别为39倍和30倍，抗性有所降低。在2019年，Gutierrez-Moreno等^[37]研究发现波多黎各和墨西哥索诺拉省的草地贪夜蛾对毒死蜱产生的抗性倍数分别为47和20倍，其中波多黎各的抗性水平更高。

氨基甲酸酯类杀虫剂通过抑制乙酰胆碱酯酶活性，导致神经传导介质乙酰胆碱的积累，进而在一定程度上对乙酰胆碱信号的正常传导造成影响，从而导致昆虫中毒而死亡^[38]。1981年，Wood等^[33]报道了美国哈蒙德地区的草地贪夜蛾对甲萘威(Carbaryl)产生了41倍的抗性。1991年，Yu等^[34]研究发现，在佛罗里达州盖恩斯维尔地区，草地贪夜蛾对氨基甲酸酯类杀虫剂产生的抗性倍数在14~192倍之间，其中对灭多威(Methomyl)、甲萘威、硫双威(Thiodicarb)的抗性倍数分别为14.4倍、192倍和26.1倍；2003年，Yu等^[35]的研究发现，佛罗里达州西特拉地区的草地贪夜蛾对甲萘威产生的抗性倍数达562倍；2007年，Yu等^[36]研究发现，佛罗里达州北部西特拉和盖恩斯维尔地区的草地贪夜蛾对甲萘威产生的抗性倍数分别达到626和1159倍。2019年，Gutierrez-Moreno等^[37]研究发现，美国波多黎各地区的草地贪夜蛾对硫双威产生了124倍的抗性，对灭多威产生的抗性倍数分别为223倍。

20世纪80年代初，拟除虫菊酯类农药的出现对草地贪夜蛾的防治起着重要的作用，具有高防效、低毒和杀虫范围广等特点^[39]，然而长期使用拟除虫菊酯类杀虫剂，导致草地贪夜蛾对其抗药性问题越来越突出。1981年，Wood等^[33]研究发现美国哈蒙德地区草地贪夜蛾对氯菊酯类产生了17倍的抗性。1991年，Yu等^[34]研究发现，佛罗里达州北部田间种群草地贪夜蛾对氟氯氰菊酯(Cyhalothrin)、四溴氰菊酯(Tralomethrin)、氟胺氰菊酯(τ -Fluvalinate)、联苯菊酯(Bifenthrin)、氯菊酯(Permethrin)、氰戊菊酯(Fenvalerate)、氯氰菊酯(Cypermethrin)和胺菊酯(Tetramethrin)产生的抗性倍数分别为12.5、41.2、216、29.4、13.9、1.7、5.6和4.6倍。Diez-Rodriguez等^[40]发现，在巴西玉米种植密集地区，草地贪夜蛾对高效氯氟氰菊酯(β -Cyfluthrin)杀虫剂也产生的抗性倍数达73.3倍。2019年，Gutierrez-Moreno等^[37]测定了墨西哥和波多黎各的草地贪夜蛾田间种群对杀虫剂的抗性水平，研究发现墨西哥田间种群草地贪夜蛾对氯菊酯产生的抗性倍数为19倍，波多黎各地区的草地贪夜蛾对溴氰菊酯(Deltamethrin)、氯菊酯、氯氰菊酯的抗性倍数分别为25倍、48倍、35倍。

2012年，Belay等^[41]报道，在美国波多黎各圣伊莎贝尔地区，乙基多杀菌素、茚虫威、多杀菌素(Spinosad)、氯虫苯甲酰胺(Chlorantraniliprole)、氟苯虫酰胺(Flubendiamide)和甲氧虫酰肼(Methoxyfenozide)对草地贪夜蛾有很好的防治效果。2018年，Gutierrez-Moreno等^[37]研究发现美国波多黎各地区的草地贪夜蛾田间种群对杀虫剂产生的抗性种类繁多，例如对乙基多杀菌素、氯虫苯甲酰胺和氟苯虫酰胺产生

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/186221022002010143>