

3 种寄主植物饲养的草地贪夜蛾种群生命表

吴正伟¹, 师沛琼¹, 曾永辉¹, 黄炜锋¹, 黄勤知², 马新华³, 郭良珍^{1*}

(1. 广东海洋大学农学院, 湛江 524088; 2. 广东省湛江市植物保护总站, 湛江 524047;

3. 中华人民共和国湛江海关技术中心, 湛江 524022)

摘要 入侵我国的草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) 经研究目前均认为主要是玉米型, 而该虫能否在甘蔗、水稻上完成其生活史并对我国甘蔗、水稻的种植构成威胁值得探讨。本研究对来自玉米上的草地贪夜蛾自然种群用 3 种不同寄主植物饲养, 并分别构建草地贪夜蛾两性生命表, 比较不同寄主植物对其种群参数的影响。结果表明: 取食甘蔗、水稻的草地贪夜蛾低龄幼虫存活率明显低于取食玉米的幼虫; 取食水稻的成虫前期最长 (27.75 ± 0.50 d), 且雄蛹体重最轻 ($153.3 \text{ mg} \pm 9.1 \text{ mg}$); 草地贪夜蛾取食甘蔗、水稻、玉米后其产卵量无显著差异, 平均世代周期依次为 31.46 d、33.92 d 和 29.53 d, 种群内禀增长率 (r) 分别为 0.19、0.14 和 0.16, 周限增长率 (λ) 分别为 1.21、1.16 和 1.17, 净增殖率 (R_0) 分别为 367.01、135.44 和 101.25。总体而言, 来自玉米的草地贪夜蛾在水稻上的适合度低于甘蔗和玉米上, 但在甘蔗、水稻上该虫能够完成其生活史实现种群繁衍, 本研究为草地贪夜蛾的预测预报和防治提供了理论依据。

关键词 草地贪夜蛾; 生命表; 甘蔗; 水稻; 玉米

中图分类号: S 435.132 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2019466

Population life tables of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) fed on three host plants

WU Zhengwei¹, SHI Peiqiong¹, ZENG Yonghui¹, HUANG Weifeng¹,
HUANG Qinzhi², MA Xinhua³, GUO Liangzhen¹

(1. College of Agriculture, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China;

2. Zhanjiang Plant Protection Station, Guangdong Province, Zhanjiang 524047, China;

3. Zhanjiang Customs Technology Center, P. R. China, Zhanjiang 524022, China)

Abstract *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera, Noctuidae) is an invasive pest, which occurred in our country was mainly corn type. It is worth to explore whether this pest can complete its life history on sugarcane and rice plants, and pose a threat to the planting of sugarcane and rice. In this study, the *S. frugiperda* collected from corn was fed on three different host plants and their population parameters were compared using the age-stage two-sex life table method. The results showed that the survival rates of larvae fed on sugarcane and rice were significantly lower than that fed on corn; the pre-adult period (27.75 ± 0.50 d) and the body weight of male pupa ($153.3 \text{ mg} \pm 9.1 \text{ mg}$) of *S. frugiperda* fed on rice was the longest and the lightest, respectively. The number of eggs laid by the *S. frugiperda* fed on three host plants showed no significant differences. The average generation period of *S. frugiperda* fed on sugarcane, rice and corn were 31.46 d, 33.92 d, and 29.53 d, respectively; the intrinsic rate of increase (r) were 0.19, 0.14 and 0.16, respectively; the finite rate of increase (λ) were 1.21, 1.16 and 1.17, respectively; the net reproductive rate (R_0) were 367.01, 135.44 and 101.25, respectively. Overall, although the fitness of *S. frugiperda* on rice was significantly lower than those on sugarcane and corn, *S. frugiperda* can complete its life history on both rice and sugarcane. The results provide a theoretical foundation on forecast and prevention of *S. frugiperda*.

Key words *Spodoptera frugiperda*; life table; sugarcane; rice; corn

收稿日期: 2019-09-06 修订日期: 2019-09-16

基金项目: 国家自然科学基金(40871132); 广东省教育厅“创新强校工程”青年创新人才类项目(2016KQNCX063); 广东海洋大学科研启动经费(R17028, R19025)

* 通信作者 E-mail: 314146245@qq.com

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), 又名秋黏虫, 属于鳞翅目夜蛾科, 原产于美洲热带和亚热带地区, 是美洲重大迁飞性害虫^[1]。2016年1月该虫入侵非洲, 造成玉米每年减产830万~2 060万 t^[2-3]。随后其进一步扩散, 于2019年1月侵入我国云南普洱市^[4], 并在短短半年时间内侵入我国20余个省(区)。该虫具有适生区域广、迁飞能力强、寄主广、为害重、防控难度大等特点。

草地贪夜蛾寄主植物达353种, 包括玉米、水稻、甘蔗、高粱、小麦、棉花、甜菜、甘蓝、甜椒、香蕉、番茄等多种作物^[5]。

草地贪夜蛾由于偏好寄主不同而逐渐分化形成了玉米型(主要取食玉米、棉花和高粱)和水稻型(主要取食水稻和杂草)^[6], 二者在形态学上无显著差异, 但表现出一定的生殖隔离, 如性信息素差异等^[7]。侵入我国云南的草地贪夜蛾经分子鉴定已确认为玉米型^[8]。而学者对重庆地区采集的样本进行遗传特征比较发现其CO I基因的亚型全为水稻型, 而*Tpi*基因的亚型既有水稻型又有玉米型, 说明入侵到重庆地区的草地贪夜蛾来源可能并不单一, 暗示了重庆地区的草地贪夜蛾存在分化为水稻型的风险^[9]。另外, 对入侵广州的草地贪夜蛾进行分子鉴定, CO I-A、CO I-B和CO I-C标记鉴定到水稻型, *Tpi*基因的标记鉴定到玉米型, 而实际采集的寄主全为玉米^[10]。同样地, 基于CO I基因分析, 安徽省草地贪夜蛾样本中86.23%是水稻型, 13.77%是玉米型; 基于*Tpi*基因序列的10个差异单倍型位点分析表明70.66%为玉米型, 11.98%为水稻型, 剩下的为杂合型^[11]。由此可见, 侵入我国的草地贪夜蛾存在一定的杂合型。而对于玉米型和水稻型的区分, 仅靠单个基因的片段进行评估尚不全面, 基于微卫星标记的分子指纹分析可以较全面地了解草地贪夜蛾的遗传结构动态变化规律^[12]。

广东湛江地处大陆最南端的雷州半岛, 属于热带和亚热带季风气候, 非常适合草地贪夜蛾周年繁殖。另外, 当地作物种类繁多, 水稻、甘蔗、香蕉、玉米等常年种植, 给草地贪夜蛾提供了周年繁殖的寄主条件。然而, 对入侵我国的草地贪夜蛾, 目前认为主要是玉米型, 研究采自玉米寄主的草地贪夜蛾是否能转移至甘蔗、水稻上完成其生活史, 对评估该虫

对甘蔗、水稻是否构成威胁具有重要意义, 也将为该虫的监测和防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

草地贪夜蛾幼虫于2019年4月、5月采自广东省湛江市玉米地。

1.2 试验方法

田间采集的草地贪夜蛾幼虫以新鲜玉米叶(喇叭口期)在室内饲养, 以室内饲养繁育的F₁代虫卵为试虫, 待其孵化后分别以新鲜玉米嫩叶、甘蔗心叶或幼嫩茎、水稻心叶或幼嫩茎等3种寄主植物为食料, 置于30℃±1℃恒温培养箱(JIDI-250)中饲养。各处理均从卵期开始观察记录, 每处理130粒卵(同一雌虫当日所产)。孵化的幼虫用25 mL的塑料杯(底径3 cm, 口径4 cm, 高3 cm)单头饲养并逐日记录幼虫存活、虫龄、化蛹、羽化等情况。4龄后幼虫食量增大, 改用70 mL塑料杯饲养。化蛹后第2天称量蛹重。羽化的成虫饲喂10%的蜂蜜水, 成对放于1 L的塑料盒里并辅以新鲜玉米叶诱集产卵。记录成虫寿命、产卵量、产卵前期等参数。

1.3 数据分析

参照Chi等^[13]的方法进行两性生命表组建及分析。 $l_x = \sum_{j=1}^k s_{xj}$, 其中 l_x (种群年龄—特征存活率)指从卵发育到年龄 x 的概率, k 为草地贪夜蛾龄期, s_{xj} 指个体从卵发育到 x 年龄 j 龄期的概率; $m_x = \sum_{j=1}^k s_{xj} f_{xj} / \sum_{j=1}^k s_{xj}$, m_x (种群年龄—特征繁殖力)指整个种群在年龄 x 的平均产卵量; 种群年龄—特征繁殖值($l_x m_x$)为种群年龄—特征存活率(l_x)与种群年龄—特征繁殖力(m_x)的乘积; f_{x10} 指草地贪夜蛾雌虫(不包括未发育至成虫就死亡的个体)在年龄 x 阶段10(成虫期为第10阶段)的平均产卵量。种群动态参数公式为 $\sum_{x=0}^{\infty} l_x m_x e^{-r(x+1)} = 1$, $\lambda = e^r$, $R_0 = \sum_{x=0}^{\infty} l_x m_x$, $T = (\ln R_0) / r$, 其中 r 为内禀增长率, λ 为周限增长率, R_0 为净增殖率, T 为世代平均周期。各参数的均值及标准误等数据通过SPSS 20软件统计获得, 均值比较及差异显著性分析采用单因素方差分析, Duncan氏多重比较, 百分数数据分析前先进行反正弦平方根转换。

2 结果与分析

2.1 不同寄主对草地贪夜蛾生长发育和繁殖的影响

试验表明,取食 3 种不同寄主植物的草地贪夜蛾 1 龄、2 龄、3 龄、6 龄的幼虫期和预蛹期存在显著差异($P<0.05$,表 1)。其中取食玉米的幼虫其低龄历期(1~3 龄)显著短于取食甘蔗和水稻的,表明草地贪夜蛾低龄幼虫更加喜好玉米。在 6 龄阶段及预蛹阶段,取食水稻的发育历期最长,表明以水稻为食

发育相对缓慢。整体来看,取食水稻的成虫前期最长,分别比取食甘蔗和玉米的长 2.25 d 和 2.67 d。结合表 2 可知,取食水稻的雄蛹体重显著低于取食其他两种寄主的蛹重,取食玉米的雌蛹重量显著高于取食甘蔗的,但是取食甘蔗的化蛹率最高且雌雄比最低。针对成虫寿命和雌虫生殖力(表 3),试验表明取食玉米的雌成虫寿命、产卵期均显著低于取食甘蔗和水稻的($P<0.05$),其平均单雌产卵量略低于甘蔗和水稻,但差异不显著($P=0.45$)。

表 1 取食不同寄主植物草地贪夜蛾不同发育阶段的历期¹⁾

发育阶段 Development stage	发育历期/d Development duration		
	甘蔗 Sugarcane	水稻 Rice	玉米 Corn
卵 Egg	(2.04±0.03)a	(2.04±0.02)a	(2.02±0.02)a
1 龄幼虫 1st instar larva	(2.09±0.06)b	(2.29±0.08)a	(1.03±0.18)c
2 龄幼虫 2nd instar larva	(1.95±0.13)a	(1.82±0.11)a	(1.30±0.05)b
3 龄幼虫 3rd instar larva	(2.28±0.14)a	(2.56±0.14)a	(1.43±0.08)b
4 龄幼虫 4th instar larva	(2.28±0.13)a	(2.35±0.11)a	(2.25±0.11)a
5 龄幼虫 5th instar larva	(2.75±0.14)a	(3.10±0.14)a	(3.11±0.15)a
6 龄幼虫 6th instar larva	(2.95±0.08)b	(3.49±0.14)a	(3.29±0.19)ab
预蛹 Prepupa	(1.42±0.08)b	(1.96±0.07)a	(1.47±0.09)b
蛹 Pupa	(7.81±0.12)a	(7.81±0.16)a	(7.77±0.23)a
成虫前期 Pre-adult	(25.50±0.46)b	(27.75±0.50)a	(25.08±0.68)b

1) 表中数据为平均值±标准误,同行不同字母表示差异显著($P<0.05$)。
Data in the table are represented as mean±SE. Means in the same row followed by different letters are significantly different ($P<0.05$).

表 2 取食不同寄主植物的草地贪夜蛾蛹相关参数¹⁾

寄主 host	蛹重/mg Weight of pupa		化蛹率/% Pupation rate	性比(雌:雄) Sex rate (female: male)
	雄 Male	雌 Female		
甘蔗 Sugarcane	(178.1±5.3)a	(133.9±6.6)b	29.0	1.1:1
水稻 Rice	(153.3±9.1)b	(141.5±7.5)ab	19.1	1.4:1
玉米 Corn	(180.0±11.4)a	(161.4±8.3)a	20.6	1.2:1

1) 表中数据为平均值±标准误,同列不同字母表示差异显著($P<0.05$)。下表同。
Data in the table are represented as mean±SE. Means in the same column followed by different letters are significantly different ($P<0.05$). The same for the following tables.

表 3 取食不同寄主植物草地贪夜蛾的成虫寿命和雌虫生殖力

Table 3 Adult longevity and female fecundity of <i>Spodoptera frugiperda</i> fed on different host plants						
寄主 Host	成虫寿命/d Adult longevity		产卵前期/d Adult preoviposition period	总产卵前期/d Total preoviposition period	产卵期/d Duration of oviposition	平均单雌产卵量/粒 Mean number of eggs laid per female
	雄 Male	雌 Female				
甘蔗 Sugarcane	(8.33±0.69)a	(10.70±0.94)a	(4.71±0.84)a	(27.57±1.38)b	(5.14±0.86)a	(719.14±147.28)a
水稻 Rice	(8.71±0.81)a	(10.44±0.87)a	(5.40±1.36)a	(31.80±1.71)a	(4.80±0.97)a	(551.40±166.36)a
玉米 Corn	(6.50±0.43)a	(6.57±0.37)b	(3.33±0.61)a	(26.17±0.95)b	(2.17±0.48)b	(519.17±92.67)a

2.2 不同寄主对草地贪夜蛾存活率和繁殖力的影响

通过构建年龄-阶段特征存活率曲线(图 1)可知,取食甘蔗、水稻的草地贪夜蛾幼虫存活率均低于

取食玉米的幼虫。特别是在低龄阶段,取食玉米的 2、3 龄幼虫存活率分别为 76.5%、68.2%,而取食水稻的分别为 41.7%、34.1%,取食甘蔗的相对最低,分别为 34.9%、30.3%。而就蛹期存活率,取食甘

蔗的最高(28.8%),比玉米和水稻高出3.8%和9.1%。3种寄主饲喂后,初期雌成虫存活率均高于雄性,之后基本一致。另外, F_2 代卵的孵化率,水稻的(85.7%)略低于甘蔗和玉米(91%),但差异不显著($P=0.14$)。

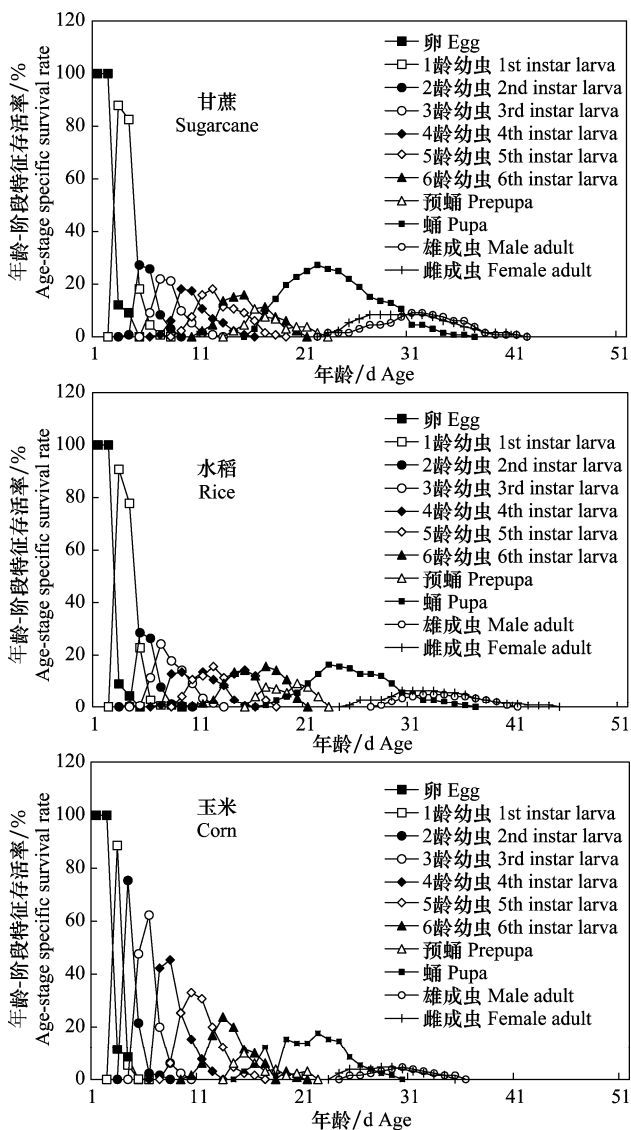


图1 取食不同寄主植物草地贪夜蛾年龄-阶段特征存活率(s_{xj})

Fig. 1 Age-stage specific survival rate (s_{xj}) of *Spodoptera frugiperda* fed on different host plants

种群年龄-特征存活率(l_x)的结果显示(图2),取食甘蔗、水稻的草地贪夜蛾在第3~7天下存活率下降超过50%,随后取食甘蔗的存活率比较平稳,30 d后缓慢降到0;而取食水稻的草地贪夜蛾存活率在第7~17天又经历缓慢下降(约10%),随后的14 d内存活率比较平稳,在32 d后缓慢降至0。取食玉

米的草地贪夜蛾存活率在第3~5天下下降明显(30.6%),之后降幅较缓,直至36 d时降为0。甘蔗、水稻、玉米饲喂后雌虫年龄-特征繁殖力(f_{x10}) (图2)均先增后降,最大峰值时间分别出现在第33、33、32天。

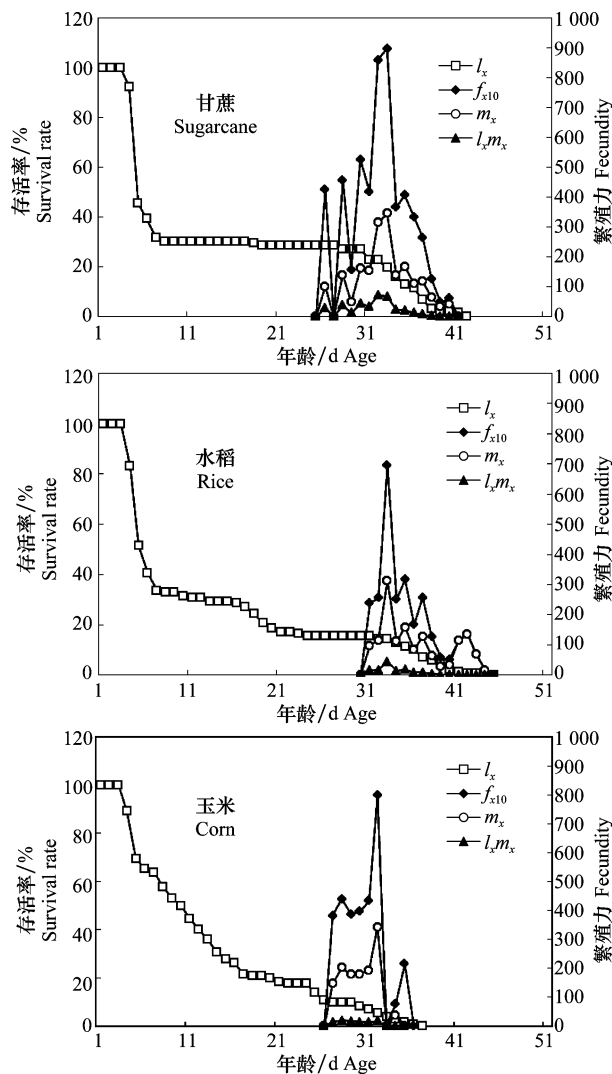


图2 取食不同寄主植物草地贪夜蛾种群年龄-特征存活率(l_x)、雌虫年龄-特征繁殖力(f_{x10})、种群年龄-特征繁殖力(m_x)和种群年龄-特征繁殖值($l_x m_x$)

Fig. 2 Age-specific survival rate(l_x), female age-specific fecundity(f_{x10}), age-specific fecundity of total population(m_x), and age-specific maternity($l_x m_x$) of *Spodoptera frugiperda* fed on different host plants

2.3 不同寄主对草地贪夜蛾种群参数的影响

草地贪夜蛾在玉米上平均世代周期最短(29.53 d),在水稻上最长,两者相差4.39 d。取食甘蔗的净增殖率最高,其次是水稻,分别是取食玉米的3.62倍和1.34倍。另外,内禀增长率和周限增长率的排序

一致,从高到低依次是甘蔗、玉米、水稻(表 4)。总的来看,取食甘蔗的草地贪夜蛾种群增长增殖能力最强,而取食水稻和玉米的相差不大。

表 4 取食不同寄主植物草地贪夜蛾的种群参数

Table 4 Population parameters of *Spodoptera frugiperda* fed on different host plants

寄主 Host	内禀增长率(<i>r</i>) Intrinsic rate of increase	周限增长率(λ) Finite rate of increase	净增殖率(<i>R</i> ₀) Net reproductive rate	平均世代周期/d Mean generation time
甘蔗 Sugarcane	0.19	1.21	367.01	31.46
水稻 Rice	0.14	1.16	135.44	33.92
玉米 Corn	0.16	1.17	101.25	29.53

3 讨论

广东省是仅次于广西、云南的我国第三大甘蔗产区,而湛江甘蔗种植面积又占到全省的 82%^[14]。另外,水稻作为我国整个南方地区的主要粮食作物在湛江广泛种植且可以每年种 3 季,其种植面积也远大于玉米。草地贪夜蛾是多食性夜蛾科害虫,侵入我国后在玉米上为害严重^[4,15-16]。虽然目前发现玉米是其最喜食的寄主植物,但与甘蔗和水稻相比,3 种寄主植物饲养下草地贪夜蛾种群生命表的研究未见报道。

本研究证实,采自玉米的草地贪夜蛾 F₁ 代可以在甘蔗和水稻上完成其生活史。然而在实际调查中只发现零星甘蔗被草地贪夜蛾为害,并且未曾发现水稻受害。这显然与该虫寄主偏好性或适合度有关。已有研究表明植食性昆虫幼虫期较高的存活率和较短的发育历期是衡量其寄主适合度的重要指标^[17]。本研究中草地贪夜蛾的年龄-阶段存活率存在明显的龄期重叠现象,这和斜纹夜蛾、小菜蛾等昆虫相似,是由于个体发育不一致造成的^[18-19]。通过生命表的制作,发现 3 种不同寄主植物对草地贪夜蛾低龄幼虫的发育历期存在显著影响,取食玉米的发育历期最短,取食水稻的最长。而取食玉米的草地贪夜蛾低龄幼虫存活率最高,这表明玉米对入侵我国的草地贪夜蛾低龄幼虫的适合度最高,这与调查中发现草地贪夜蛾主要为害玉米相符。

体重往往可以反映出昆虫对寄主植物喜食程度,本研究中取食玉米的草地贪夜蛾蛹重(雄蛹 180.0 mg±11.4 mg、雌蛹 161.4 mg±8.3 mg)显著高于甘蔗(雌蛹)和水稻(雄蛹)。但王世英等^[20]在 26℃±0.5℃下饲养玉米叶测得草地贪夜蛾蛹重为 0.26 g±0.02 g,明显高于本研究及徐蓬军等^[21]的结果(0.187 g±0.030 g),这可能与饲养温度及饲养

方法有关。3 种寄主植物饲养的草地贪夜蛾表现出不同的种群年龄-特征存活率和繁殖能力,但平均单雌产卵量无显著差异且均低于国外报道的 1 500 粒/雌^[22-23]。入侵种群 F₁ 代在人工环境下产卵量不高可能是因为从田间到室内环境草地贪夜蛾会有一个适应过程。本研究表明,草地贪夜蛾在甘蔗上能够完成世代发育,且种群内禀增长率、周限增长率、净增殖率均高于其在玉米上的相应参数,表明甘蔗对草地贪夜蛾的适合度并不低于玉米。实际观察中未见大量甘蔗受害可能是草地贪夜蛾成虫产卵时对玉米具有明显偏好性,进而使得甘蔗等其他寄主植物上虫源量大大减少。这在草地贪夜蛾对烟草和玉米偏好性研究中已有证实,其玉米植株上的卵块数量(17±2.65)块/笼显著多于烟草叶片上的卵块数量(3±1.73)块/笼^[21]。

综上,本研究表明侵入广东湛江玉米田的草地贪夜蛾在甘蔗、水稻上可以顺利完成生活史,通过 F₁ 代的室内饲养发现甘蔗对其适合度较高,而水稻的适合度较低。虽然目前田间调查表明草地贪夜蛾喜好玉米,但其是否会转移至甘蔗、水稻上持续为害或逐渐从玉米型转变为水稻型,值得进一步研究。

参考文献

[1] LUGINBILL P. The fall army worm[M]. Washington DC: US Department of Agriculture, 1928: 2-7.

[2] GOERGEN G, KUMAR P L, SANKUNG S B, et al. First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), a new alien invasive pest in west and central Africa[J/OL]. PLoS ONE, 2016, 11(10): e0165632.

[3] DAY R, ABRAHAMS P, BATEMAN M, et al. Fall armyworm: impacts and implications for Africa [J]. Outlooks on Pest Management, 2017, 28(5): 196-201.

[4] 姜玉英, 刘杰, 朱晓明. 草地贪夜蛾侵入我国的发生动态和未来趋势分析[J]. 中国植保导刊, 2019, 39(2): 33-35.

- [5] MONTEZANO D G, SPECHT A, SOSA-GÓMEZ D R, et al. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas [J]. African Entomology, 2018, 26(2): 286–301.
- [6] JUÁREZ M L, SCHÖFL G, VERA M T, et al. Population structure of *Spodoptera frugiperda* maize and rice host forms in South America: are they host strains? [J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 2014, 152(3): 182–199.
- [7] GROOT A T, MARR M, SCHÖFL G, et al. Host strain specific sex pheromone variation in *Spodoptera frugiperda* [J]. Frontiers in Zoology, 2008, 5(1): 20.
- [8] 张磊, 靳明辉, 张丹丹, 等. 入侵云南草地贪夜蛾的分子鉴定[J]. 植物保护, 2019, 45(2): 19–24.
- [9] 唐运林, 顾偲铖, 吴燕燕, 等. 入侵重庆地区的草地贪夜蛾种群生物型鉴定[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2019, 41(7): 1–7.
- [10] 陈冬平, 陈志廷, 徐汉虹, 等. 不同分子标记对入侵广州草地贪夜蛾的寄主型鉴别能力比较[J/OL]. 华南农业大学学报: 1–5[2019–09–06]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1110.S.20190617.1027.002.html>.
- [11] 徐丽娜, 胡本进, 苏贤岩, 等. 入侵安徽省草地贪夜蛾的遗传分析[J/OL]. 植物保护, 2019, 45(5): 47–53.
- [12] PAVINATO V A C, MARTINELLI S, DE LIMA P F, et al. Methodology microsatellite markers for genetic studies of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* [J]. Genetics and Molecular Research, 2013, 12(1): 370–380.
- [13] CHI H, SU H Y. Age-stage, two-sex life tables of *Aphidius gifuensis* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae) and its host *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) with mathematical proof of the relationship between female fecundity and the net reproductive rate [J]. Environmental Entomology, 2006, 35(1): 10–21.
- [14] 钟柳. 湛江市甘蔗产业化研究[D]. 广州: 仲恺农业工程学院, 2018.
- [15] 孙小旭, 赵胜园, 靳明辉, 等. 玉米田草地贪夜蛾幼虫的空间分布型与抽样技术[J]. 植物保护, 2019, 45(2): 13–18.
- [16] 王磊, 陈科伟, 陆永跃. 我国草地贪夜蛾入侵扩张动态与发生趋势预测[J]. 环境昆虫学报, 2019, 41(4): 683–694.
- [17] MOREAU J, BENREY B, THIÉRY D. Grape variety affects larval performance and also female reproductive performance of the European grapevine moth *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae) [J]. Bulletin of Entomological Research, 2006, 96(2): 205–212.
- [18] 刘世涛, 王忠跃, 刘永强, 等. 斜纹夜蛾在葡萄上的种群生命表[J]. 植物保护, 2019, 45(1): 58–61.
- [19] 牟芳, 孙丽娟, 段方猛, 等. 三种寄主植物对小菜蛾实验种群特征的影响[J]. 植物保护学报, 2015, 42(3): 289–296.
- [20] 王世英, 朱启旋, 谭煜婷, 等. 草地贪夜蛾室内人工饲料群体饲养技术[J]. 环境昆虫学报, 2019, 41(4): 742–747.
- [21] 徐蓬军, 张丹丹, 王杰, 等. 草地贪夜蛾对玉米和烟草的偏好性研究[J]. 植物保护, 2019, 45(4): 61–64.
- [22] KEBEDE M. Out-break, distribution and management of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* J E Smith in Africa: The status and prospects [J]. Academy of Agriculture Journal, 2018, 3(10): 551–568.
- [23] PITRE H N, MULROONEY J E, HOGG D B. Fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) oviposition: crop preferences and egg distribution on plants [J]. Journal of Economic Entomology, 1983, 76(3): 463–466.
- (责任编辑: 杨明丽)
- ~~~~~
- (上接 58 页)
- [13] 郭林芳, 孟玲, 李保平. 斑痣悬茧蜂寄生对甜菜夜蛾幼虫行为的影响[J]. 南京农业大学学报, 2010, 33(5): 71–74.
- [14] 叶昕海, 杨义, 梅洋, 等. 草地贪夜蛾基因组注释及分析[J]. 环境昆虫学报, 2019, 41(4): 706–717.
- [15] BOWLING C C. Rearing of two lepidopterous pests of rice on a common artificial diet [J]. Annals of the Entomological Society of America, 1967, 60(6): 1215–1216.
- [16] FARAWAY I J. Extending the linear model with R [M]. Second edition. Boca Rotan: CRC Press, 2016.
- [17] R Core Team. R: A language and environment for statistical computing [EB/OL]. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. [2019–03–11]. <https://www.r-project.org/>.
- [18] 胡浩, 孟玲, 李保平. 斑痣悬茧蜂对不同龄期斜纹夜蛾幼虫的寄生功能反应[J]. 中国生物防治学报, 2015, 31(2): 176–180.
- [19] ASGARI S, RIVERS D B. Venom proteins from endoparasitoid wasps and their role in host-parasite interactions [J]. Annual Review of Entomology, 2011, 56: 313–335.
- [20] 严智超, 叶昕海, 王蓓蓓, 等. 寄生蜂毒液蛋白组成、功能及进化的研究进展[J]. 中国生物防治学报, 2017, 33(1): 1–10.
- [21] 徐宇航, 周金成, 李保平. 斑痣悬茧蜂在黏虫寄主体内与中红侧沟茧蜂竞争下的存活和发育表现[J]. 昆虫学报, 2016, 59(3): 322–327.
- (责任编辑: 杨明丽)