

草地贪夜蛾在 3 种麦类作物上的适生性

汤 印^{1,2}, 郭井菲², 太红坤³, 何康来², 王勤英^{1*}, 王振营^{2*}

(1. 河北农业大学植物保护学院, 保定 071000; 2. 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193; 3. 云南省德宏州植保植检站, 芒市 678400)

摘要 入侵我国的草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) 为一种重大迁飞性农业害虫, 其寄主范围广, 可为害多种农作物。不同寄主植物对草地贪夜蛾的种群增长以及扩散为害有着不同影响。本研究基于年龄-龄期两性生命表理论, 以小麦、大麦和燕麦 3 种麦类作物作为寄主植物, 在室内 (24 ± 1) °C, RH (70 ± 5) % 和 L//D = 14 h//10 h 光周期条件下, 比较了 3 种麦类作物对草地贪夜蛾生长发育和繁殖的影响。结果表明: 草地贪夜蛾在这 3 种麦类作物上均可顺利完成生活史。取食 3 种麦类作物的草地贪夜蛾幼虫发育历期和蛹期差异不显著。其中取食燕麦的草地贪夜蛾的成虫前期存活率最高, 为 0.82, 显著高于取食小麦的 0.67 和大麦的 0.67。此外取食燕麦的雌虫比例和雌虫产卵天数显著高于取食小麦和大麦的, 取食燕麦的雌成虫个体繁殖力为 ($1\,032.6 \pm 22.1$) 粒, 显著高于取食小麦的 (912.2 ± 27.6) 粒和取食大麦的 (814.0 ± 22.9) 粒。种群生命表参数显示, 取食燕麦的草地贪夜蛾种群内禀增长率 ($r = 0.154\,1\,d^{-1}$)、净增殖率 ($R_0 = 453.98$) 与周限增长率 ($\lambda = 1.166\,6\,d^{-1}$) 均显著高于取食大麦者, 但与取食小麦者差异不显著; 取食大麦与取食小麦者亦无显著差异。综上所述, 草地贪夜蛾在这 3 种麦类作物上都有相当高的适生性, 其中燕麦是草地贪夜蛾最适宜的寄主植物, 其次是小麦, 再次为大麦。本研究为明确草地贪夜蛾对不同麦类作物的适应性提供了重要参考资料。

关键词 草地贪夜蛾; 小麦; 大麦; 燕麦; 年龄-龄期两性生命表

中图分类号: S 435.132 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2020173

Fitness of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, reared on three triticeae crops

TANG Yin^{1,2}, GUO Jingfei², TAI Hongkun³, HE Kanglai², WANG Qinying^{1*}, WANG Zhenying^{2*}

(1. College of Plant Protection, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China; 2. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 3. Plant Protection and Quarantine Station, Dehong Prefecture, Yunnan Province, Mangshi 678400, China)

Abstract As a major migratory agricultural pest, the invasive fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), has a wide range of host plants and could infest many crops in China. Host plants have different influence on the population growth and dispersal of *S. frugiperda*. In this report, we studied the development, survival, and reproduction of *S. frugiperda* reared on three triticeae crops (wheat, barley and oat) at (24 ± 1) °C, (70 ± 5) % RH and a photoperiod of L//D = 14 h//10 h. The life history raw data were analyzed by using the age-stage, two-sex life table theory. The results showed that the *S. frugiperda* could successfully complete the life history on all the three triticeae crops. There was no significant difference in the developmental duration of larval and pupa stage among the *S. frugiperda* reared on three triticeae crops. However, the preadult survival rate of *S. frugiperda* fed on oat was the highest (0.82), which were significantly higher than that fed on wheat (0.67) and barley (0.67). The proportion of female adults and oviposition days on oats were significantly higher than that on wheat and barley. The mean fecundity of *S. frugiperda* reared on oat was ($1\,032.6 \pm 22.1$) eggs/female, which is significantly higher than that on wheat (912.2 ± 27.6) eggs/female and barley (814.0 ± 22.9) eggs/female. The popula-

收稿日期: 2020-04-06

修订日期: 2020-04-16

基金项目: 国家重点研发计划(2019YFD0300101); 中国农业科学院重大科研项目(CAAS-ZDRW202007); 国家现代农业(玉米)产业技术体系建设专项(CARS-02)

致谢: 特别感谢台湾中兴大学齐心教授在生命表软件使用、资料分析和文章修改各方面给予的细心指导。

* 通信作者: E-mail: 王勤英 wqinying@hebau.edu.cn; 王振营 zywang@ippcaas.cn

tion parameters analysis showed that the intrinsic rate of increase, finite rate of increase and net reproductive rate of *S. frugiperda* reared on oat ($r=0.154\ 1\ d^{-1}$, $R_0=453.98$, and $\lambda=1.166\ 6\ d^{-1}$) were significantly higher than those on barley, but they were not significantly different from those on wheat. The population parameters of *S. frugiperda* fed on wheat and barley showed no significant difference. In conclusion, the *S. frugiperda* showed high fitness on three triticeae crops, and oat is the most suitable host plant, followed by wheat and barley. This study provided important reference for clarify the fitness of fall armyworm to triticeae crops.

Key words *Spodoptera frugiperda*; wheat; barley; oat; age-stage, two-sex life table

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), 又称秋黏虫, 隶属于鳞翅目 Lepidoptera 夜蛾科 Noctuidae 灰翅夜蛾属 *Spodoptera*, 是一种源于美洲热带和亚热带地区的重大迁飞性农业害虫^[1]。该虫具有寄主种类多、适生区域广、迁飞能力强、防控难度大等特点, 是联合国粮农组织全球预警的入侵害虫之一^[2-4]。2019年1月首次发现草地贪夜蛾入侵我国云南省^[5], 此后该虫迅速蔓延到西南、华南、华北等多个地区的26省(区、市)^[6], 对我国农业生产造成巨大威胁。

根据寄主偏好, 草地贪夜蛾逐渐分化形成了玉米型和水稻型, 前者主要为害玉米和高粱, 后者主要为害水稻和禾本科牧草^[7]。入侵我国云南的草地贪夜蛾经分子鉴定最初确认为玉米型^[8]。而唐运林等^[9]利用两个分子标记基因 *CO I* 和 *Tpi* 对重庆地区采集的样本进行遗传特征分析, 结果表明 *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。这些结果表明入侵我国的草地贪夜蛾群体很可能来自杂交群体的后代, 是一种“特殊的玉米型”^[10], 有可能导致其寄主植物范围发生变化。由于不同寄主植物的营养成分不同, 可能会对草地贪夜蛾的生长发育和种群数量造成影响^[11]。例如, 与取食玉米相比, 取食烟草叶片的草地贪夜蛾幼虫发育历期显著延长, 幼虫死亡率显著提高, 幼虫体重和蛹重显著降低, 综合表现为适合度显著降低^[12]。然而, 目前对小麦等3种麦类作物的为害风险尚不明确。

小麦、大麦和燕麦均属禾本科植物, 在我国粮食生产中具有至关重要的地位。在美洲, 三者均为草地贪夜蛾的寄主植物^[13]。目前国内已相继报道草地贪夜蛾可为害小麦^[14]、大麦^[15]和燕麦^[16], 但有关草地贪夜蛾对这3种麦类作物的适应性的研究尚少。本研究基于年龄-龄期两性生命表理论, 以小麦、大麦和燕麦为寄主植物, 比较取食3种麦类作物的草地贪夜蛾的生长、发育与繁殖, 并计算生命表参数, 为揭示草地贪夜蛾的寄主适应机制提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源和寄主植物

草地贪夜蛾幼虫采自云南省德宏州芒市风平镇(24°23'40"N, 98°30'21"E)玉米田, 在室内继代饲养繁殖, 建立种群。供试小麦品种为‘乐土济麦22’, 大麦品种为‘福大麦1号’, 燕麦品种为‘裸燕3号’, 取苗期的新鲜叶片作为食料。

1.2 试验方法

参照郭井菲等^[17]的方法, 每处理120粒卵, 每24 h观察并记录卵的孵化情况, 将初孵幼虫接入指形管(高9 cm, 直径2 cm)内单头饲养, 到3龄时分别转入25 mL蘸料杯中继续饲养, 并逐一编号, 每天同一时间更换新鲜叶片并清理虫粪, 分别记录用3种麦类作物叶片饲喂的草地贪夜蛾的发育与存活情况。幼虫化蛹后第2天辨别雌、雄并分别称量蛹重。将单头蛹放入指形管中并放入湿润的棉球保湿, 待其羽化后, 将羽化后的成虫雌雄配对放入一次性塑料杯(高8 cm, 直径7.5 cm)中交配, 杯中放入蘸有10%蜂蜜水的棉球供成虫取食, 四周挂有产卵纸供其产卵, 用无菌脱脂纱布和皮筋封口, 每天更换产卵纸, 记录产卵量、成虫寿命等。试验环境条件: 温度(24±1)℃, 相对湿度(70±5)%, 光周期 L/D=14 h/10 h。

1.3 数据分析

参照 Chi 等^[18]和 Chi^[19]的方法组建草地贪夜蛾的两性生命表, 利用生命表分析软件 TWOSEX-MSChart^[20]对生命表各参数进行计算和分析。其中, 特定年龄-龄期存活率(s_{xj}), 即草地贪夜蛾从初产卵发育到 x 年龄 j 龄期的几率; 种群特定年龄存活率(l_x), l_x 是特定年龄-龄期存活率(s_{xj})曲线在不考虑龄期分化的情况下的简化形式; 特定年龄-龄期繁殖力(f_{xj}), 表示单头草地贪夜蛾雌成虫在年龄 x 龄期 j 时的平均产卵量, 因为草地贪夜蛾的雌成虫(第9阶段)才具有生殖能力, 故本论文图中给出 f_{x9} 曲线。如果把年龄为 x 的个体都包括在内, 表示的就是整个种群特定年龄繁殖力(m_x); 种群特定年龄-龄期特征净繁殖力($l_x m_x$)为种群特定年龄存活率

(l_x)与种群特定年龄繁殖力(m_x)的乘积;特定年龄-年龄期期望寿命(e_{xj})表示年龄 x 龄期 j 的个体预期仍能存活的时间,依照 Chi 等^[21]的方法计算。种群参数内禀增长率(r)、周限增长率(λ)、净增殖率(R_0)和世代平均周期(T)分别按下面公式计算:

$$\sum_{x=0}^{\infty} e^{-r(x+1)} l_x m_x = 1, \quad \lambda = e^r,$$
$$R_0 = \sum_{x=0}^{\infty} l_x m_x, \quad T = \frac{\ln R_0}{r}。$$

试验数据的均值及标准误等数据通过 bootstrap 方法(bootstrap 次数为 100 000 次)计算,利用 paired bootstrap test 进行差异显著性比较,各参数制图使用 Origin 8 软件。

2 结果与分析

2.1 取食 3 种麦类作物对草地贪夜蛾各虫态发育历期和繁殖的影响

研究表明,在(24±1)℃条件下,取食 3 种

麦类作物的草地贪夜蛾均可顺利完成生活史。由表 1 可知,3 种麦类作物对草地贪夜蛾的幼虫各发育历期有不同程度的影响,但整个成虫前期与蛹期在 3 种麦类作物间差异不显著。而取食燕麦的草地贪夜蛾成虫期最长,为 13. 81 d±0. 16 d,显著长于取食小麦的 13. 05 d±0. 17 d 和大麦的 11. 83 d±0. 15 d。取食 3 种麦类作物对草地贪夜蛾的种群参数也有显著的影响。其中,取食燕麦的草地贪夜蛾的雌虫比例、总的寿命和成虫前期存活率均为最高,分别为 0. 439 7,42. 93 d 和 0. 82,其次是取食小麦和大麦的,但两者之间差异不显著(表 2)。产卵前期,取食 3 种麦类作物的草地贪夜蛾的总产卵前期(TPOP)差异不显著。取食燕麦的繁殖力和雌虫产卵天数显著高于取食小麦和大麦组($P<0. 05$,表 2),而取食小麦的显著高于取食大麦的。上述结果表明,草地贪夜蛾对燕麦具有较高的适合度,其次是小麦,对大麦适合度相对较差。

表 1 取食 3 种麦类作物草地贪夜蛾不同发育阶段的发育历期¹⁾

发育阶段 Developmental stage	发育历期/d Developmental duration		
	小麦 Wheat	大麦 Barley	燕麦 Oat
卵 Egg	(2. 66±0. 05)a	(2. 62±0. 05)a	(2. 66±0. 05)a
1 龄 1st instar	(4. 29±0. 08)a	(4. 29±0. 06)a	(3. 64±0. 05)b
2 龄 2nd instar	(2. 27±0. 07)a	(1. 98±0. 06)b	(1. 98±0. 06)b
3 龄 3rd instar	(1. 85±0. 08)a	(1. 57±0. 08)ab	(1. 72±0. 07)a
4 龄 4th instar	(2. 10±0. 08)a	(1. 86±0. 06)ab	(1. 92±0. 06)a
5 龄 5th instar	(2. 67±0. 08)a	(2. 60±0. 07)a	(2. 50±0. 07)a
6 龄 6th instar	(3. 67±0. 11)c	(4. 33±0. 12)b	(4. 65±0. 10)a
蛹期 Pupa	(14. 28±0. 23)a	(14. 41±0. 23)a	(14. 15±0. 28)a
成虫前期 Pre-adult	(33. 84±0. 37)a	(33. 86±0. 39)a	(33. 17±0. 38)a
成虫期 Adult	(13. 05±0. 17)b	(11. 83±0. 15)c	(13. 81±0. 16)a

1) 表中数据为平均值±标准误,同行不同字母表示经 paired bootstrap test 比较差异显著($P<0. 05$)。
Data in the table are mean ± SE. Means in the same row followed by different letters are significantly different by paired bootstrap test ($P<0. 05$).

表 2 3 种麦类作物对草地贪夜蛾的生长发育及繁殖的影响¹⁾

寄主 Host	雌虫比例 Proportion of female adults	总寿命/d Total longevity	成虫前期存活率 Pre-adult survival rate	成虫产卵 前期/d Adult	总产卵 前期/d Total	繁殖力/粒 Fecundity	产卵天数/d Oviposition days
				preoviposition period (APOP)	preoviposition period (TPOP)		
小麦 Wheat	(0. 387 4±0. 046 4)b	(38. 66±1. 24)b	(0. 67±0. 04)b	(4. 19±0. 13)a	(38. 16±0. 59)a	(912. 2±27. 6)b	(7. 72±0. 24)b
大麦 Barley	(0. 367 5±0. 044 6)b	(39. 03±0. 97)b	(0. 67±0. 04)b	(3. 77±0. 10)b	(37. 67±0. 48)a	(814. 0±22. 9)c	(7. 05±0. 21)c
燕麦 Oat	(0. 439 7±0. 045 9)a	(42. 93±0. 89)a	(0. 82±0. 03)a	(4. 14±0. 13)a	(37. 02±0. 04)a	(1 032. 6±22. 1)a	(8. 51±0. 20)a

1) 表中数据为平均值±标准误,同列不同字母表示经 paired bootstrap test 比较差异显著($P<0. 05$)。下同。
Data in the table are mean ± SE. Means in the same column followed by different letters are significantly different by paired bootstrap test ($P<0. 05$). The same applies below.

2.2 取食 3 种麦类作物对草地贪夜蛾存活率和繁殖力的影响

特定年龄-龄期存活率(s_{xj})表示草地贪夜蛾从初产卵存活并发育到 x 年龄 j 龄期的几率。由图 1 可知,取食 3 种麦类作物的草地贪夜蛾年龄-龄期特征存活率存在明显差异。草地贪夜蛾在不同龄期的存活曲线发生重叠,说明草地贪夜蛾因为个体间的发育速率差异而在同一时间内会出现不同的虫态(虫

龄)。若使用雌性年龄生命表,则无法看到龄期重叠的现象。取食 3 种麦类作物幼虫存活率不同,其中取食大麦和燕麦的草地贪夜蛾幼虫存活率均高于取食小麦的幼虫。取食燕麦的草地贪夜蛾从卵存活发育到成虫的概率为 0.82,显著高于取食小麦(0.67)和大麦的(0.67)。取食 3 种麦类作物的草地贪夜蛾雌雄成虫阶段的(s_{xj})曲线显示取食 3 种麦类作物的草地贪夜蛾种群中雌成虫的比率均高于雄成虫。

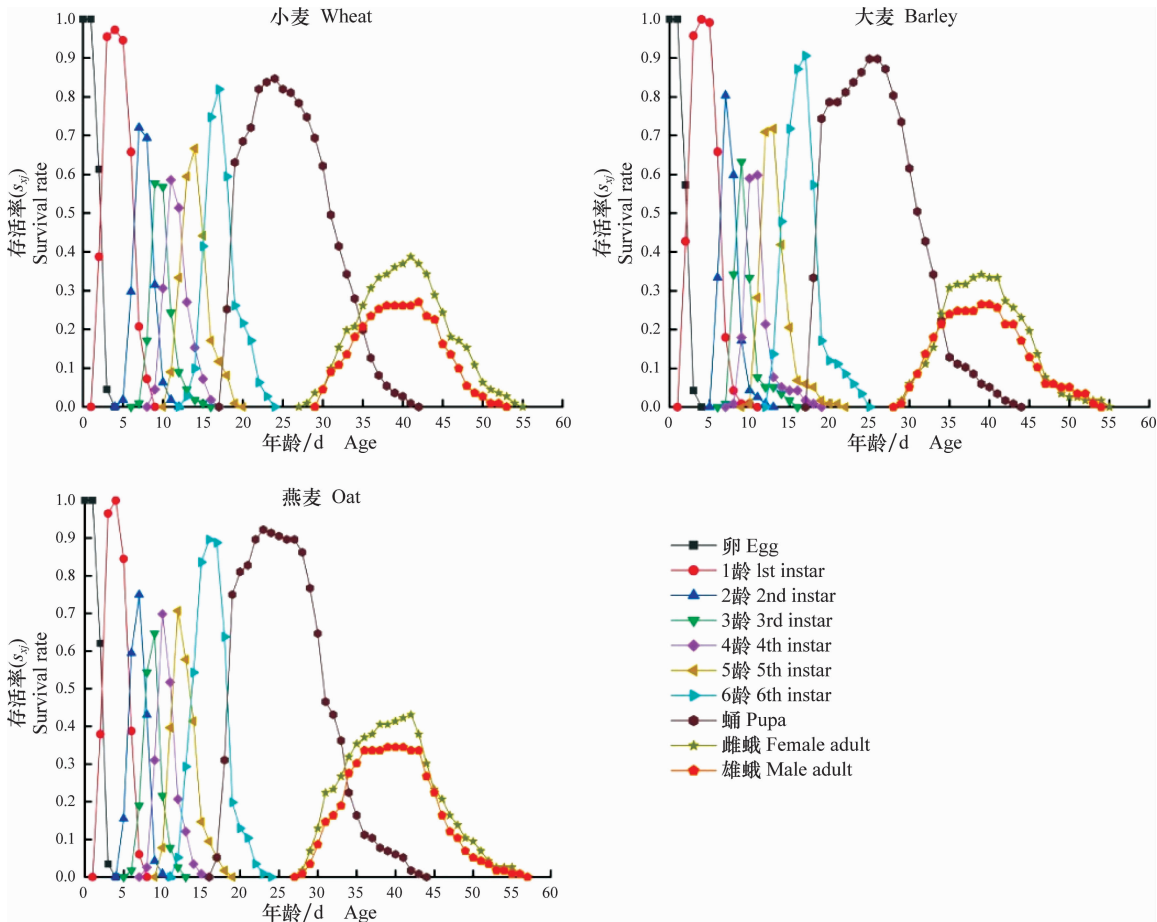


图 1 取食 3 种麦类作物的草地贪夜蛾特定年龄-龄期存活率(s_{xj})

Fig. 1 Age-stage specific survival rate (s_{xj}) of *Spodoptera frugiperda* fed on three triticeae crops

种群特定年龄存活率(l_x)的结果显示(图 2),取食 3 种麦类作物的 l_x 曲线趋势呈现前期曲折下降趋于平稳,后期斜坡下降,其中取食小麦和大麦的 l_x 曲线前期变化趋势接近,结合发育历期参数和(s_{xj})曲线,表明草地贪夜蛾取食大麦与取食小麦的幼虫期和蛹期具有较高的死亡风险。取食燕麦和小麦的草地贪夜蛾雌虫 m_x 、 $l_x m_x$ 和 f_{x9} 均高于取食大麦的,表明与取食大麦相比,小麦和燕麦更利于草地贪夜

蛾生长发育和繁殖。

特定年龄-龄期期望寿命(e_{xj})表示年龄 x 龄期 j 的个体预期仍能存活的时间。因为生活史中无特别高的死亡率,因此取食 3 种麦类作物的草地贪夜蛾的期望寿命曲线均呈缓慢下降(图 3),最高期望寿命都是 e_{01} 。初产卵的期望寿命(e_{01})就是平均寿命。而取食燕麦的最高期望寿命(42.93 d)明显高于取食小麦(38.66 d)和大麦的(39.03 d)。

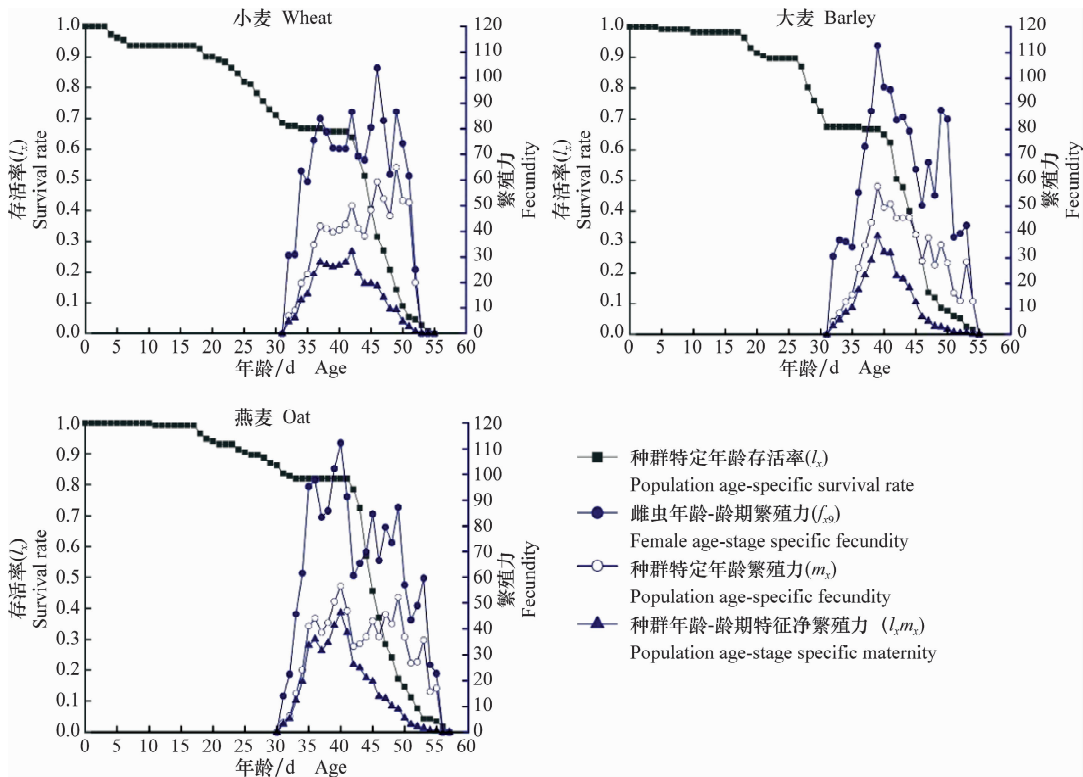


图 2 取食 3 种麦类作物的草地贪夜蛾种群特定年龄存活率(L_x)、雌虫年龄-龄期繁殖力(f_{xj})、种群特定年龄繁殖力(m_x)和种群年龄-龄期特征净繁殖力($L_x m_x$)

Fig. 2 Population age-specific survival rate (L_x), female age-stage specific fecundity (f_{xj}), population age-specific fecundity (m_x), and population age-stage specific maternity ($L_x m_x$) of *Spodoptera frugiperda* fed on three triticeae crops

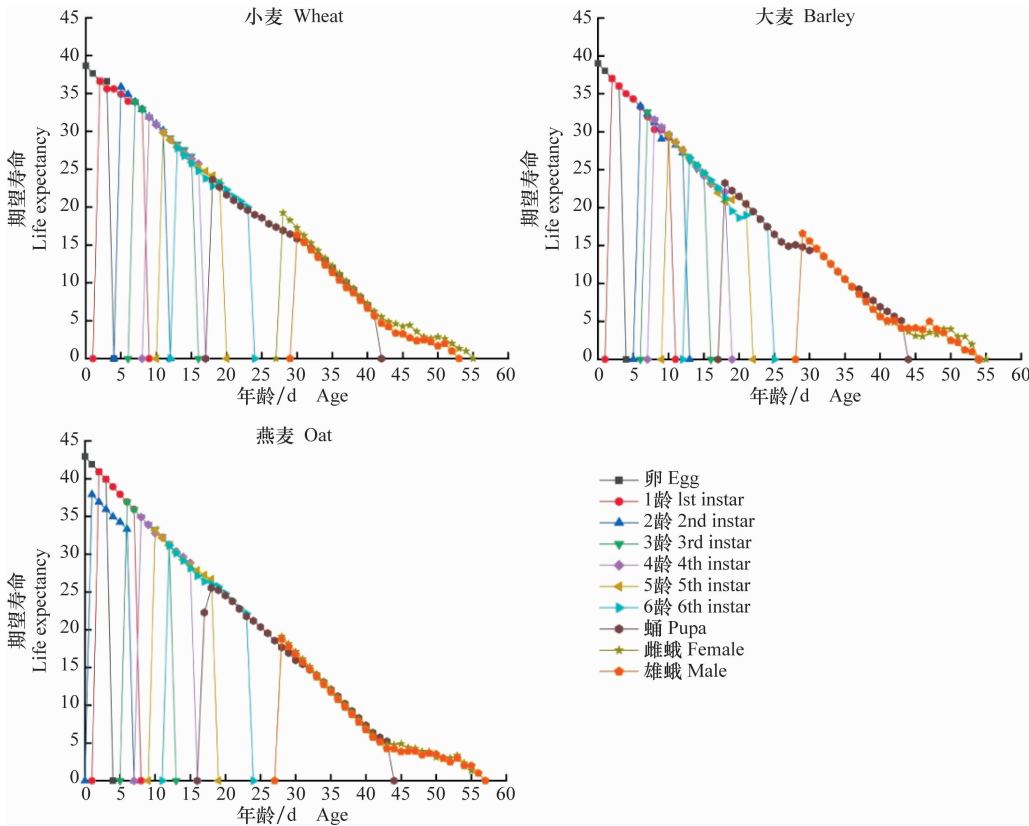


图 3 取食 3 种麦类作物的草地贪夜蛾的特定年龄-龄期的期望寿命(e_{xj})

Fig. 3 Age-stage specific life expectancy (e_{xj}) of *Spodoptera frugiperda* fed on three triticeae crops

2.3 取食 3 种麦类作物对草地贪夜蛾种群生命表参数的影响

取食 3 种麦类作物的草地贪夜蛾种群内禀增长率均大于 0,周限增长率均大于 1,表明草地贪夜蛾种群能够在这 3 种作物上存活。其中,取食燕麦的草地贪夜蛾种群的内禀增长率、周限增长率和净

增殖率为最高,分别为 0.154 1 d⁻¹、1.166 6 d⁻¹和 453.98,显著高于取食大麦的($P<0.05$),而与取食小麦差异不显著(表 3)。取食燕麦的草地贪夜蛾平均世代周期最短,为 39.71 d,与取食小麦(40.56 d)和大麦(40.26 d)没有显著差异。

表 3 取食 3 种麦类作物的草地贪夜蛾的种群参数				
Table 3 Population parameters of <i>Spodoptera frugiperda</i> fed on three triticeae crops				
寄主 Host	内禀增长率(r)/d ⁻¹ Intrinsic rate of increase	净增殖率(R_0) Net reproductive rate	周限增长率(λ)/d ⁻¹ Finite rate of increase	平均世代周期(T)/d Mean generation time
小麦 Wheat	(0.144 7±0.003 9)ab	(353.39±43.62)ab	(1.155 7±0.004 5)ab	(40.56±0.59)a
大麦 Barley	(0.141 6±0.003 7)b	(299.17±37.27)b	(1.152 1±0.004 3)b	(40.26±0.50)a
燕麦 Oat	(0.154 1±0.003 3)a	(453.98±48.42)a	(1.166 6±0.003 9)a	(39.71±0.49)a

3 讨论

草地贪夜蛾为一种重大迁飞性农业害虫,据报道,在美洲其幼虫可取食禾本科(106 种)、菊科(31 种)、豆科(31 种)等 76 科 353 种植物^[22]。草地贪夜蛾自入侵我国以来,已陆续有其为害玉米^[23]、高粱^[24]、马铃薯^[25]等多种粮食作物的报道。我国热带和亚热带地区具备丰富的草地贪夜蛾适宜寄主和适宜的气候条件,今后草地贪夜蛾的发生有可能常态化,将会成为又一个北迁南回、周年循环发生的重大害虫^[26],这将使得多种作物生产面临挑战。

了解害虫的寄主适应性有利于更好地掌握田间害虫发生动态,适时采取和调整防控措施^[27]。本研究以小麦、大麦和燕麦 3 种麦类作物作为寄主植物,发现草地贪夜蛾在这 3 种麦类作物上均可顺利完成生活史,取食 3 种麦类作物的草地贪夜蛾发育历期、存活率、繁殖力等种群参数存在显著差异。巴吐西等^[28]前期研究了取食玉米和小麦对草地贪夜蛾生命参数的影响,证实了草地贪夜蛾可在小麦上完成生活史,且与玉米相比,小麦对草地贪夜蛾也有较高的适合度。本研究结果显示在 24℃下取食小麦的草地贪夜蛾的成虫期和繁殖力分别为 13.05 d 和 912.2 粒,明显低于巴吐西报道的 25℃条件下同样取食小麦的 14.42 d 和(976.31±57.21)粒,这可能与试验方法和试验的温度不同有关。植食性昆虫幼虫期较高的存活率和较短的发育历期是评价其寄主适合度的重要指标^[29]。与取食小麦的个体相比,取食燕麦的幼虫发育历期短,幼虫死亡率低,表现为适合度显著增高,这与 Da Silva 等^[30]的研究结果一

致。而取食大麦与取食小麦差异不显著,表明大麦也是草地贪夜蛾适宜的寄主植物。同时取食燕麦的草地贪夜蛾雌虫比例和繁殖力显著高于取食小麦和大麦的,综合来看燕麦是供试的 3 种麦类作物中草地贪夜蛾最适宜的寄主。

依据本研究获得的草地贪夜蛾种群生命表,这 3 种麦类作物均为草地贪夜蛾适合寄主,其中又以取食燕麦的草地贪夜蛾种群内禀增长率和周限增长率为最高。由于小麦、大麦和燕麦都是草地贪夜蛾偏好的寄主植物,为了有效防治草地贪夜蛾,必须在大面积栽培小麦、大麦和燕麦的地区监测草地贪夜蛾种群动态,才能做好整体区域的防治工作。

本研究在室内条件下研究生命表,能了解草地贪夜蛾的生态潜能,获得稳定可靠的生命表资料,可以为预测草地贪夜蛾种群动态规律提供科学依据^[31]。然而,要做好实际害虫治理工作,仍需要研究田间生命表,田间生命表研究虽然因影响因子众多,无法重复比较,但却是实际害虫治理的重要参考资料。

我们建议:1)全面研究我国境内大面积栽培的主要作物中适合草地贪夜蛾生长的寄主植物上的生命表;2)加强草地贪夜蛾在主要作物上发生为害的监测;3)避免已知草地贪夜蛾主要寄主作物的间作,减少草地贪夜蛾在不同寄主间转移为害的几率;4)配合生命表理论,研究草地贪夜蛾各龄期的取食量,以便结合生命表与取食量建立经济阈值;5)将生命表与取食量结合电脑模拟预测害虫防治适期与施药次数。

参考文献

- [1] 郭井菲, 赵建周, 何康来, 等. 警惕危险性害虫草地贪夜蛾入侵中国[J]. 植物保护, 2018, 44(6): 1-10.
- [2] 王磊, 陈科伟, 钟国华, 等. 重大入侵害虫草地贪夜蛾发生危害、防控研究进展及防控策略探讨[J]. 环境昆虫学报, 2019, 41(3): 479-487.
- [3] MEGERSA K, TAMIRU S. 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.
- [4] 郭井菲, 何康来, 王振营. 草地贪夜蛾的生物学特性、发展趋势及防控对策[J]. 应用昆虫学报, 2019, 56(3): 361-369.
- [5] 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.
- [6] 姜玉英, 刘杰, 谢茂昌, 等. 2019年我国草地贪夜蛾扩散为害规律观测[J]. 植物保护, 2019, 45(6): 10-19.
- [7] SALDAMANDO C I, VÉLEZ-ARANGO A M. Host plant association and genetic differentiation of corn and rice strains of *Spodoptera frugiperda* Smith (Lepidoptera: Noctuidae) in Colombia [J]. Neotropical Entomology, 2010, 39(6): 921-929.
- [8] JING Dapeng, GUO Jingfei, JIANG Yuying, et al. Initial detections and spread of invasive *Spodoptera frugiperda* in China and comparisons with other noctuid larvae in cornfields using molecular techniques [J]. Insect Science, 2020, 27(4): 780-790.
- [9] 唐运林, 顾偲铤, 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] 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.
- [11] 刘蓬, 马惠, 朱其松, 等. 昆虫对寄主植物适应性研究进展[J]. 生物灾害科学, 2016, 39(4): 250-254.
- [12] 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.
- [13] SPARKS A N. A review of the biology of the fall armyworm [J]. The Florida Entomologist, 1979, 62(2): 82-86.
- [14] 徐丽娜, 胡本进, 苏卫华, 等. 安徽发现草地贪夜蛾为害早播小麦[J]. 植物保护, 2019, 45(6): 87-89.
- [15] 杨现明, 赵胜园, 姜玉英, 等. 大麦田草地贪夜蛾的发生为害及抽样技术[J]. 植物保护, 2020, 46(2): 18-23.
- [16] 赵雪晴, 陈福寿, 尹艳琼, 等. 草地贪夜蛾在云南元谋县青稞、燕麦、糜子田的发生为害特征[J]. 植物保护, 2020, 46(2): 216-221.
- [17] GUO Jingfei, GUO Jianqing, HE Kanglai, et al. Physiological responses induced by *Ostrinia furnacalis* (Lepidoptera: Crambidae) feeding in maize and their effects on *O. furnacalis* performance [J]. Journal of Economic Entomology, 2017, 110(2): 739-747.
- [18] CHI H, LIU H. Two new methods for the study of insect population ecology [J]. Bulletin of the Institute of Zoology Academia Sinica (Taipei), 1985, 24(2): 225-240.
- [19] CHI H. Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals [J]. Environmental Entomology, 1988, 17(1): 26-34.
- [20] CHI H. TWOSEX-MSChart: A computer program for the age-stage, two-sex life table analysis [D]. Taichung: National Chung Hsing University, 2015.
- [21] 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: 10-21.
- [22] MONTEZANO D G, SPECHT A, SOSA-GOMEZ D R, et al. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas [J]. African Entomology, 2018, 26(2): 286-301.
- [23] 太红坤, 郭井菲, 张峰, 等. 草地贪夜蛾在云南冬季甜玉米上的生物学习性及为害状观察[J]. 植物保护, 2019, 45(5): 91-95.
- [24] 顾偲铤, 唐运林, 吴燕燕, 等. 重庆地区取食高粱的草地贪夜蛾与玉米粘虫肠道细菌比较[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2019, 41(8): 6-13.
- [25] 赵猛, 杨建国, 王振营, 等. 山东发现草地贪夜蛾为害马铃薯[J]. 植物保护, 2019, 45(6): 84-86.
- [26] 何莉梅, 赵胜园, 吴孔明. 草地贪夜蛾取食为害花生的研究[J]. 植物保护, 2020, 46(1): 28-33.
- [27] 张同强, 程云霞, 张蕾, 等. 用年龄-阶段两性种群生命表研究不同寄主上草地螟种群动态的差异[J]. 植物保护, 2020, 46(1): 101-107.
- [28] 巴吐西, 张云慧, 张智, 等. 草地贪夜蛾对小麦和玉米的产卵选择性及其种群生命表[J]. 植物保护, 2020, 46(1): 17-23.
- [29] 谢殿杰, 张蕾, 程云霞, 等. 不同温度下草地贪夜蛾年龄-阶段实验种群两性生命表的构建[J]. 植物保护, 2019, 45(6): 20-27.
- [30] DA SILVA D M, DE FREITAS BUENO F, ANDRADE K, et al. Biology and nutrition of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) fed on different food sources [J]. Scientia Agricola, 2017, 74(1): 18-31.
- [31] 齐心, 傅建伟, 尤民生. 年龄-龄期两性生命表及其在种群生态学及害虫综合治理中的应用[J]. 昆虫学报, 2019, 62(2): 255-262.

(责任编辑: 田 喆)