

豚草卷蛾寄主专一性风险评价

马 骏^{1,2}, 万方浩¹, 郭建英¹, 游兰韶², 卢德勇³

(1. 农业部农作物病虫害生物防治资源研究与利用重点实验室, 中国农业科学院生物防治研究所, 北京 100081; 2. 湖南农业大学植物保护系, 长沙 410128; 3. 湖南省临湘市植保植检站, 临湘 414000)

摘要:在以往豚草生物防治研究的基础上, 为评价防治恶性豚草的外来天敌昆虫的安全性, 以及探索外来生防作用物的风险评价方法, 以豚草卷蛾为案例, 进一步对其寄主安全性进行了风险评估。基于与豚草的近缘关系及以往的研究结果, 选用 9 科 36 种常见经济作物、观赏植物和杂草, 采用室内非选择性取食测定、田间开放条件下多选择性取食测定和室外非选择性取食分龄接虫的生命表等研究方法, 对豚草卷蛾的寄主专一性作了深入研究。(1)室内非选择性取食测定结果表明, 豚草卷蛾仅能在豚草和苍耳上完成整个幼虫的发育; 但在强迫将高龄幼虫(4~6 龄)接入黄花蒿、菊花(黄莲)和向日葵(白 97-1 和天委 F₂)时, 有少量幼虫能发育化蛹, 但不发生取食, 在这些植物上完成发育只是一种假象。(2)田间开放条件下多选择性取食测定结果表明, 豚草卷蛾的寄主选择性随种群数量不同而异, 当种群数量增大, 受取食条件胁迫时, 出现风险“扩散”现象。田间供试的 16 种(含品种)植物中, 第 2、3 和 4 代出现虫瘿(被幼虫选择)的供试植物依次为: 豚草(第 2 代); 豚草和苍耳(第 3 代); 豚草、苍耳和黄花蒿(第 4 代)。按产卵单因子选择性风险指数(SEFRI₍₁₎)值分析表明, 豚草卷蛾成虫产卵对豚草、苍耳和黄花蒿表现出选择性风险(SEFRI₍₁₎>0.01), 对两种向日葵(内蒙 1 号和内蒙 2 号)和菊花(万寿菊)表现出随机风险(SEFRI₍₁₎<0.01), 对其余供试植物均为 0 风险。幼虫取食供试植物的存活率单因子风险指数(SEFRI₍₂₎)值表明, 幼虫仅对豚草和苍耳具有选择性风险(SEFRI₍₂₎>0.01), 对其余 14 种供试植物均为 0 风险。豚草卷蛾幼虫在缺乏嗜好寄主植物(环境胁迫)时可出现寄主风险转移现象, 转移能力随虫龄增大而增强。6 龄幼虫转移单因子选择性风险(SEFRI₍₃₎)分析结果表明, 除麦杆菊为 0 风险外, 对其余所有供试植物均表现出选择性风险(SEFRI₍₃₎>0.01)。对 3 种单独风险因子的综合分析表明, 豚草卷蛾仅对豚草和苍耳具有主动选择风险, 对其余供试植物无选择性风险。(3)组建生命表和种群趋势测定结果表明, 豚草卷蛾仅能在豚草和苍耳上具有种群增长, 为选择性风险(种群增长风险指数 PSRI>0.01), 在其余供试植物上的种群增长风险均为 0, 与综合风险分析结果一致。以上结果表明, 豚草卷蛾具有较严格的寄主专一性, 其释放不会对非目标植物构成威胁。

关键词:豚草卷蛾; 豚草; 寄主专一性; 风险评价; 风险指数

Risk Analysis of Host Specificity for *Epiblema strenuana* (Lepidoptera: Tortricidae), a Biocontrol Agent Against Ragweed, *Ambrosia artemisiifolia* (Compositae)

MA Jun^{1,2}, WAN Fang-Hao¹, GUO Jian-Ying¹, YOU Lan-Shao², LU De-Yong³ (1. Key-Lab. of Bio-control Resource-Research & Utilization, MOA; Institute of Biological Control, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2. Department of Plant Protection, Hu'nan Agricultural University, Changsha 410128, China; 3. Linxiang Station of Plant Protection and Quarantine, Hu'nan 414000, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(10): 1710~1717.

Abstract: *Epiblema strenuana* is an important biocontrol agent against ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*). This phytophagous insect was imported to China by the Chinese Academy of Agricultural Sciences as a potential candidate to control *A. artemisiifolia* in 1990. Safety to flora in the northern region of China was a concern and the insect was not released until in 1993 on a small scale in Linxiang, Hunan province,

基金项目:国家自然科学基金资助项目(39770510); 农业部农作物病虫害生物防治资源研究与利用重点实验室资助项目
收稿日期:2001-04-03; **修订日期:**2002-02-15

作者简介:马 骏, 男, 湖南邵东人, 博士, 副教授。主要从事害虫综合治理及生物风险评价。

* 通讯作者 Author for correspondence

China. However, no risk analysis or monitoring was conducted after its release. In order to evaluate its safety to native ecosystems, to expand its utilization and to advance methods of risk analysis for introduced biocontrol agents, we studied host specificity of *E. strenuana*. Thirty-six species of economic, ornamental and weedy species belonging to nine families were selected based on the centrifugal phylogenetic testing method. A no-choice test was conducted to evaluate *E. strenuana* larval feeding risk under laboratory conditions, by inoculating different instar larvae on the tested plants. A more realistic multiple-choice test was conducted for three successive generations under field conditions in three scenarios: (1) adult oviposition, (2) larval development, and (3) larval movement.

Based on the probability theory, risks were analyzed in two ways. (1) Single Exposure Factor Risk Index (*SEFRI*) was introduced to quantitatively evaluate selection risk of *E. strenuana* to the tested plants. *SEFRI* for larval development and adult oviposition was divided into three categories: active selection risk ($SEFRI \geq 0.01$), random selection risk ($SEFRI < 0.01$) and no selection risk ($SEFRI = 0$). (2) A Combined Risk Index (*CRI*) was calculated to express the combined exposure factor risk on a tested plant, *i.e.* $CRI = SEFRI_{(1)} \times SEFRI_{(2)} \dots \times SEFRI_{(n)}$.

Laboratory no-choice feeding test showed that *E. strenuana* could complete development only on *A. artemisiifolia* and *Xanthium sibiricum*. When introduced onto tested plants, all young larvae (1st~3rd instar) died; and only a few old larvae (4th~6th instar) could pupate on *Artemisia annua*, *Dendranthema morifolium* (cv. Yellow lotus) and *Helianthus annuus* but without any feeding. These three plants cannot be considered host plants for *E. strenuana*.

Open field multiple-choice test showed that in all the 16 tested plants, (including *A. artemisiifolia*, *X. sibiricum*, 6 cultivars of *H. annuus* and 7 species/ cultivars of potted chrysanthemum), Single Exposure Factor Risk Index ($SEFRI_{(1)}$) for adult oviposition from three generations was 0.76~1 on *A. artemisiifolia*, 0~1 on *X. sibiricum*, 0~0.06 on *A. annua* and 0~0.02 on *Tagetes. erecta*, only 0~0.004 on *H. annuus* (I-M1 and I-M2), and 0 on other tested plants. $SEFRI_{(2)}$ for larval survival of *E. strenuana* was 1 on *A. artemisiifolia* and 0.42 on *X. sibiricum*, and 0 on other tested plants. $SEFRI_{(3)}$ for capability of larval selection for tested plants in non-choice condition was 1 on *A. artemisiifolia*, 0.59 on *X. sibiricum*, 0.21 on *A. annua*, 0 on *Helichrysum bracteatum* and 0.03~0.15 on other tested plants. Thus, the combined host specificity risk index (*CRI*) was 0.76 for *A. artemisiifolia* and 0.25 for *X. sibiricum* (active selection risk), and 0 for the other tested plants (no selection risk), respectively. The population increase trend index of *E. strenuana* also showed the same results. We can conclude that *E. strenuana* has a very restricted host range, as it can only complete development on *A. artemisiifolia* and *X. sibiricum*, and poses no risk to the other plant species tested. It can be considered as an ecologically safe bio-control agent against ragweed in China.

Key words: *Epiblema strenuana*; *Ambrosia artemisiifolia*; host-specificity; risk analysis; selection risk index

文章编号:1000-0933(2002)10-1710-08 中图分类号:Q969.42⁺9.2;S476⁺.7 文献标识码:A

豚草卷蛾(*Epiblema strenuana*)是一种原产于北美,控制豚草(*Ambrosia artemisiifolia*)和银胶菊(*Parthenium hysterophorus*)的有效天敌。澳大利亚经过寄主专一性测定之后于1983年引进并释放该天敌控制银胶菊取得很好的控制效果^[1~4]。长期的田间监测表明该虫在自然界只取食豚草、银胶菊和苍耳(*Xanthium sibiricum*),不危害向日葵(*Helianthus annuus*)^[5]。中国农业科学院于1990年从澳大利亚引进该天敌,对其寄主专一性测定结果表明,此虫只在豚草、三裂叶豚草(*Ambrosia trifida*)和苍耳上产卵并完成发育。但在混栽区诱导实验中发现幼虫可转移到向日葵上蛀食并形成虫瘿^[6],考虑到其安全性,我国仅于

1993 年在南方(湖南临湘)非向日葵作物区释放控制豚草,并已取得了明显的控制效果^[7]。然而有关豚草卷蛾的安全性在生物学家之间存在不同的观点。印度在进行寄主专一性测定时表明豚草卷蛾可选择小葵子(*Guizotia abyssinica*)产卵并取食,因而未能通过释放^[8];俄罗斯科学家 Kovalev^[9]对澳大利亚和中国释放豚草卷蛾的安全性仍持怀疑态度。

昆虫对寄主植物的选择专一性是在长期的进化过程中相互协同进化的结果,完成对某种特定寄主植物的选择实际包含了种系发生、气候适应性和寄主接受与发育适合性 3 方面综合过程^[10]。在特定的释放地域内,天敌昆虫对寄主植物选择性同样包括一系列连续性选择步骤^[11],即具有风险选择的环节性,如产卵选择(最佳后代适生策略)、适合性(幼虫取食存活)和适应性(幼虫转移能力)等。为进一步评价豚草卷蛾的安全性,扩大其应用范围,同时探索外来生防作用物的风险评价方法,作者通过单因子选择性风险指数法对豚草卷蛾的寄主专一性风险进行了评价,报道如下。

1 材料与方法

1.1 室内非选择性条件下豚草卷蛾幼虫的寄主专一性测定

(1)虫源 2000 年 5 月 30 日从湖南临湘采集带虫(老熟幼虫和蛹)的豚草,移栽至长沙湖南农业大学试验地笼罩内,取田间幼虫供试。

(2)供试植物 根据万方浩等^[6]测定结果,选择 6 个向日葵栽培种、7 个长沙地区常见菊花品种和杂草等 36 种植物(表 1)。

(3)测定方法 剪取供试植物枝条插入带盖孔的盛水塑料杯中,用棉花密封盖孔缝隙,置于两端开口的有机玻璃筒($\pi R^2 h = 11 \times 23.5 \text{ cm}^3$)内。按虫龄用毛笔将 1~3 龄幼虫接在枝条上,每枝条接 3~5 头,将玻璃筒蒙上纱布。每种枝条重复 8~10 次。每天观察幼虫的取食和存活情况,若供试当龄幼虫无任何取食痕迹且全部死亡,则停止测定。对有取食症状的供试植物用 4~6 龄幼虫作进一步测定。

1.2 田间开放条件下豚草卷蛾对供试寄主植物的选择性风险

供试虫源同 1.1。试验地面积 240m²,分 3 畦,每畦宽 8m,长 10m。根据室内测定结果,选择豚草卷蛾可能取食并与豚草近缘或具有重要经济意义的植物作田间栽种测定。种类有:豚草、苍耳(*Xanthium sibiricum*)、6 个向日葵品种(*Helianthus annuus* var.) (内蒙 1 号、内蒙 2 号、白 97-1、寸嗑、天委 1 号、天委 F₂)、麦杆菊(*Helichrysum bracteatum*)、万寿菊(*Tagetes erecta*)、孔雀草(*T. patula*)和 4 个菊花变种(*Dendranthema morifolium* cv.) (硫花菊、富士雪、国庆菊和黄莲)和黄花蒿(*Artemisia annua*)共 16 种。

豚草于 5 月 31 日移栽,苗高 15~30cm,共 3 个小区,每小区 30m²。苍耳直播,5 月 10 日左右出苗。向日葵分 3 次直播,播期和品种分别为:6 月 3 日(内蒙 1 号、内蒙 2 号),6 月 15 日(白 97-1、寸嗑),6 月 27 日(天委 1 号、天委 F₂)。苍耳和向日葵各品种小区面积 20~50m² 不等,各品种 2 个小区。菊花和黄花蒿盆栽,每盆 3 株,每品种 3~6 盆,苗高 35~40cm,于 7 月 14 日摆入随机摆放于豚草空行内。所有小区随机排列。

自 7 月 6 日起每隔 5d 系统调查豚草卷蛾在供试植物上的发生量,虫量以单株虫瘿数或每 10 片叶的卵粒数,同时在各世代成幼虫发生高峰调查试验地周围杂草和周边农作物上豚草卷蛾的发生情况。

1.3 豚草卷蛾在不同供试植物上取食存活率测定

将上述田间 16 种供试植物中的豚草、苍耳、黄花蒿、6 个向日葵品种分别种植于用尼笼纱网笼(长×宽×高=90×70×190cm³)内,每笼 6 株。接虫前先清除植株上所有昆虫,再将已羽化 2d 的同一批成虫配对后每笼接入 20 对,让其产卵 1d,第 2 天清除所有成虫并调查卵量。卵孵化后每隔两天调查豚草卷蛾的取食与存活情况。若根据取食症状判断无虫存活,则从田间豚草上剥取相应的下一龄幼虫补接,平均每株虫量 10 头以上,直到接完末龄幼虫为止。成虫羽化后,依虫量多少取部分成虫或直接调查田间产卵量,待完全羽化完毕剥查茎杆内总蛹壳数。

7 个菊花品种采用盆栽,株高 22~35cm,每盆 2 株。用有机玻璃筒(大小同上)罩上植株,接入处于产卵高峰期的成虫 10 对,纱布封顶后让其产卵 2d。移走成虫后,再将盆栽钵放入盛 2cm 水深的玻璃养虫缸内,以防幼虫逃。每 2 天调查虫量 10 头,重复 3 次。调查及接虫方法同上。

1.4 非选择性条件下幼虫对供试植物的转移能力及耐饥能力测定

1.4.1 对供试植物的转移风险 1 龄幼虫,将 4 株供试植物放在养虫笼内排成方形(每边 1 株),再将 50 头 1 龄豚草卷蛾幼虫用毛笔挑至直径 9cm 的滤纸上,放在养虫笼内的中心位置(离各植株 20 cm),6h 后检查笼内地面及所有 4 株植物上的虫数。供试植物同 1.3,盆栽菊花埋至钵面与地面平行位置。接虫前地面稍加清理、平整。各供试植株均为营养生长前期,株高约 30~35cm。重复 3 次。

6 龄幼虫,将 30 头 6 龄幼虫按试验 1.4.1 方法接入笼内植株的中心位置,24h 后检查各植株及地面上的虫数,重复 3 次。

1.4.2 耐饥能力 从田间豚草养虫笼内剥取 1~6 龄幼虫,分龄后放入玻璃养虫缸内让幼虫饥饿,缸口封扎孔的保鲜膜,用湿润纱布保持相对湿度 90%左右,1 和 2 龄幼虫每隔 6h 观察 1 次存活量,3 龄以上(包括 3 龄)每天观察 3 次。待幼虫化蛹羽化成虫后,按上述方法饲以清水,观察产卵力和交配力。

1.5 数据分析方法

单因子选择性风险指数(Single Exposure Factor Risk Index, *SEFRI*) 为定量表达豚草卷蛾在各项测定中的寄主选择性风险程度,将豚草卷蛾对某一供试植物的最大选择量作为最大选择性风险寄主(XSR_{max}),其风险值最大为 1,在其余供试植物上的选择量(XSR_i)分别与最大风险选择量比较,即得到相应寄主的单因子选择性风险指数值,即: $SEFRI = XSR_i / XSR_{max}$,(XSR -选择性试验中某一观测项目,如产卵量、幼虫数、种群趋势指数等(i -选择性试验中某一供试植物)。根据统计学中随机事件概率的显著性标准,可将选择性风险值划分为 3 级:即当 $SEFRI \geq 0.01$ 时,为选择性风险(active selection risk);当 $0 < SEFRI < 0.01$ 时,为随机(偶然)风险(random selection risk);当 $SEFRI = 0$ 时,为 0 风险,或无选择性风险(no selection risk)。

综合风险指数(Combined Risk Index, *CRI*) 参照万方浩等^[10]的方法组建,风险指数(*CRI*)=风险因子₍₁₎×风险因子₍₂₎×...×风险因子_(n),其分级同 *SEFRI*。

种群增长趋势指数(Population Tendency Index, *PTI*) 参照庞雄飞和梁广文^[12]的方法组建生命表,计算种群趋势指数和种群增长风险指数(Population Increase Risk Index, *PIRI*)。接完末龄幼虫后,若无成虫羽化出,则蛹和成虫的存活率均定为 0;标准卵量以在豚草上观察到的最大产卵量 365 粒计算;*PIRI* 分级同 *SEFRI*。

2 结果与分析

2.1 室内非选择性条件下豚草卷蛾幼虫的寄主专一性测定

在供试的 36 种植物中,豚草卷蛾低龄(1~3 龄)幼虫仅能在豚草和苍耳上取食并完成发育,发育历期基本一致,在其它供试植物上,低龄幼虫均在供试龄期全部死亡(表 1)。少量低龄幼虫能蛀入黄花蒿;部分 1 龄幼虫可蛀入向日葵叶片;另外在加拿大蓬和两种菊花上出现少量食痕,但幼虫不能蛀入。接种的高龄(4~6 龄)幼虫,除豚草和苍耳以外,还能在菊花(黄莲)、黄花蒿和两种向日葵(白 97-1 和天委 F₂)完成发育,但存活率比豚草和苍耳低得多(表 1),历期也有所延长。高龄幼虫在非寄主植物上不取食,大部分幼虫在茎秆外吐丝包裹虫体后,不食不动直到死亡,甚至出现化蛹现象。在非选择情况下,由饥饿强迫在非寄主植物上发生“企图蛀食”所形成的“蛀孔”形成一种取食假象。

2.2 田间开放条件下豚草卷蛾对供试寄主植物的选择性风险

2.2.1 田间开放条件下供试植物上豚草卷蛾的发生量 在田间,豚草卷蛾各个虫态均能出现的供试植物只有豚草和苍耳。根据豚草上的虫瘿和蛹壳数可知,豚草卷蛾在 6、7 月份和 8 月中下旬分别出现 3 个明显高峰,虫量逐代增多,至 8 月 20 日每株平均虫瘿数多达 87.2 个。大量幼虫取食使得豚草快速衰老,虽然 8 月底至 9 月初有大量成虫羽化,但因寄主植物严重受害,着卵量骤然减少。植株衰老后生长迟缓,所形成的虫瘿症状不明显。另据 9 月 6 日剥茎检查,仍有 10%的蛹陆续羽化,9 月 14 日共剥查幼虫和蛹 72 头,除幼虫外,有死蛹 13 头,越冬代虫量高峰不明显。观察的第 2、3 和 4 代中,出现虫瘿的供试植物依次为:豚草(第 2 代);豚草和苍耳(第 3 代);豚草、苍耳和黄花蒿(第 4 代)。在苍耳上的虫瘿和羽化成虫数均比豚草上的低。

在向日葵黄熟季节,只发现 9 粒卵产在与豚草紧密相邻向日葵上,未发现其它任何取食症状。在豚草小区内自然生长的黄花蒿,只调查到 3 粒豚草卷蛾卵,分别在 8 月 7 日和 8 月 20 日在主茎中上部各发

表 1 室内非选择性条件下豚草卷蛾各龄幼虫的寄主专一性测定

Table 1 Host specificity of *Epiblema strenuana* 1st to 6th instar larvae in non-choice test

供试植物 Tested plant	1~3 龄幼虫 1st~3rd instar				4~6 龄幼虫 4th~6th instar			
	头数	取食	发育至	存活	头数	取食	发育至	存活率
	<i>NLT</i>	<i>F</i>	化蛹 <i>LDP</i>	(d) <i>SD</i>	<i>NLT</i>	<i>F</i>	化蛹 <i>LDP</i>	<i>SR</i> (%)
菊科 Compositae								
豚草 <i>Ambrosia artemisiifolia</i>	55	+++	Y	7~12	64	+++	Y	75.4
苍耳 <i>Xanthium sibiricum</i>	48	+++	Y	6~12	100	+++	Y	61.7
黄花蒿 <i>Artemisia annua</i>	60	+	N	1~3	34	+	Y	8.8
艾蒿 <i>Artemisia argyi</i>	50	—	N	1~2	NA	NA	NA	NA
野艾蒿 <i>A. lavandulaefolia</i>	60	—	N	1~2	NA	NA	NA	NA
加拿大蓬 <i>Conyza canadensis</i>	25	+	N	1~2	NA	NA	NA	NA
菊花 <i>Dendranthema morifolium</i>								
黄连 <i>D. morifolium</i> (cv. Yellow lotus)	30	+	N	1~2	30	+	Y	3.3
富士雪 <i>D. morifolium</i> (cv. Fuji snow)	50	+	N	1~2	NA	NA	NA	NA
硫华菊 <i>D. morifolium</i> (cv. Liuhua)	30	—	N	1~2	NA	NA	NA	NA
国庆菊 <i>D. morifolium</i> (cv. Guoqing)	50	—	N	1~2	NA	NA	NA	NA
万寿菊 <i>Tagetes erecta</i>	154	—	N	1~2	NA	NA	NA	NA
孔雀草 <i>T. patula</i>	156	—	N	1~2	NA	NA	NA	NA
麦杆菊 <i>Helichrysum bracteatum</i>	50	—	N	1~2	30	—	N	0
向日葵 <i>Helianthus annuus</i>								
白 97-1 <i>H. annuus</i> (var. Bai 97-1)	50	+	N	1~2	30	+	Y	10.0
寸噜 <i>H. annuus</i> (var. Cunke)	50	+	N	1~2	25	+	N	0
天委 1 号 <i>H. annuus</i> (var. Tianwei 1)	60	+	N	1~2	30	+	N	0
天委 F ₂ <i>H. annuus</i> (var. Tianwei F ₂)	85	+	N	1~2	30	+	Y	6.7
内蒙 1 号 <i>H. annuus</i> (var. I-M1)	60	+	N	1~2	30	+	N	0
内蒙 2 号 <i>H. annuus</i> (var. I-M2)	50	+	N	1~2	34	+	N	0
鲤肠 <i>Eclipta prostrata</i>	40	—	N	1~2	40	+	N	0
一年蓬 <i>Erigeron annuus</i>	40	—	N	1~2	NA	NA	NA	NA
女苑 <i>Turczaninovia fastigiata</i>	NA	NA	NA	NA	30	—	N	0
荨麻科 Urticaceae								
苎麻 <i>Boehmeria</i> sp.	50	—	N	1~2	NA	NA	NA	NA
锦葵科 Malvaceae								
棉花 <i>Gossypium hirsutum</i>	50	—	N	1~2	NA	NA	NA	NA
唇形科 Labiatae								
益母草 <i>Leonurus artemisia</i>	NA	NA	NA	NA	40	—	N	0
苋科 Amaranthaceae								
青霜(野鸡冠花) <i>Celosia argentea</i>	NA	NA	NA	NA	60	—	N	0
空心莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i>	NA	NA	NA	NA	40	—	N	0
牛膝 <i>Achyranthes bidentata</i>	38	—	N	1~2	NA	NA	NA	NA
藜科 Chenopodiaceae								
藜(灰菜) <i>Chenopodium album</i>	25	—	N	1~2	NA	NA	NA	NA
土荆芥 <i>C. ambrosioides</i>	26	—	N	1~2	NA	NA	NA	NA
豆科 Leguminosae								
大豆 <i>Glycine max</i>	30	—	N	1~2	NA	NA	NA	NA
花生 <i>Arachis hypogaea</i>	42	—	N	1~2	NA	NA	NA	NA
蓼科 Polygonaceae								
毛蓼 <i>Polygonum barbatum</i>	31	—	N	1~2	NA	NA	NA	NA
茄科 Solanaceae								
辣椒 <i>Capsicum frutescens</i>	40	—	N	1~2	NA	NA	NA	NA
旋花科 Convolvulaceae								
甘薯 <i>Ipomoea batatas</i>	35	—	N	1~2	NA	NA	NA	NA
空心菜 <i>I. aquatica</i>	80	—	N	1~2	NA	NA	NA	NA

NLT: Number of larvae tested; *F*: feeding; *LDP*: Larva developing to pupa; *SD*: Survival days; *SR*: survival rate; +++: 正常取食, 并完成发育 Feeding normally and completing development; +: 轻微取食, 只有少量幼虫蛀入茎内 Feeding slightly, a few larvae boring into stem; ±: 企图取食(有少量食痕, 幼虫未蛀入) Nibbling, larvae only outside stem; —: 不取食 No feeding symptom; Y: 能在茎杆内完成发育 Completing development in stem; N: 不能在茎杆内完成发育 Can not completing development in stem; NA: Data not available

现一个由 4 龄幼虫形成的虫瘿,而前期调查未发现任何取食和为害状,可能为高龄幼虫转株取食所
为。在所有供试菊花上,仅万寿菊上查到 1 粒豚草卷蛾卵,无其它取食痕迹。另外,在试验地及周边的杂草

(野艾蒿、艾蒿、加拿大蓬、鲤肠、一年蓬、女菀、益母草、青霜、空心莲子草、牛膝、土荆芥及禾本科杂草)和农作物(苧麻、棉花、大豆、花生、辣椒、茄子、甘薯、空心菜、丝瓜和玉米)上均未发现有豚草卷蛾取食痕迹。

2.2.2 田间开放条件下豚草卷蛾成虫产卵选择性风险 本文分别取第2~4代产卵高峰期2至3次调查卵量的平均值作为成虫寄主专一性选择虫量(表2)。在田间条件下,豚草卷蛾成虫对供试寄主的产卵单因子选择性风险($SEFRI_{(1)}$ for adult oviposition)随种群密度不同而变化。当第2代种群数量较低时仅选择豚草产卵,即豚草是唯一的产卵风险寄主。第3代随种群密度增大,除豚草外,对苍耳具有选择性风险($SEFRI_{(1)}=0.049$),其它供试植物均为0风险。第4代随种群数量进一步增多,具有产卵选择性风险的植物也进一步扩大,此时由于豚草受幼虫蛀害严重,在苍耳上每10叶的平均卵量多于豚草,为最大选择风险寄主,在黄花蒿表现出选择性风险,在向日葵上为偶然性风险($SEFRI_{(1)}<0.01$),与这两种向日葵临近豚草有关;虽然成虫对万寿菊的选择风险值稍大于0.01,但由于试验中植株摆放于豚草小区内,加之调查取样数目有限,应属于随机性风险;成虫在其余各供试植物上的风险指数均为0,无选择风险(表2)。

表2 田间开放条件下豚草卷蛾产卵选择性风险指数

供试植物① Tested plant	第2代 2nd generation		第3代 3rd generation		第4代 4th generation	
	产卵选择性		产卵选择性		产卵选择性	
	卵量 Eggs/10 leaves	风险指数 $SEFRI_{(1)}$	卵量 Eggs/10 leaves	风险指数 $SEFRI_{(1)}$	卵量 Eggs/10 leaves	风险指数 $SEFRI_{(1)}$
豚草③	0.7±0.6aA②	1	4.1±0.5aA	1	3.7±2.1aA	0.76
苍耳④	0aA	0	0.2±0.1bB	0.049	4.9±2.8aA	1
黄花蒿⑤	0aA	0	0bB	0	0.3±0.3bB	0.06
向日葵⑥	0aA	0	0bB	0	0.02±0.02bB	0.004
向日葵⑦	0aA	0	0bB	0	0.005±0.005bB	0.001
万寿菊⑧	0aA	0	0bB	0	0.08±0.08bB	0.02

①无任何产卵选择性的供试植物未在表中列出,Tested plants without any eggs laid by *E. strenuana* were not listed in the table;②同一栏内的平均数之间具有相同大写或小学英语字母,分别表示在 $P=0.01$ 和 $P=0.05$ 水平上无差异显著性,Duncan's 新复极差法,Means followed by the same letters are not significantly different at the level of 1% and 5%,Duncan's new multiple test ③*A. artemisiifolia* ④*X. sibiricum* ⑤*A. annua* ⑥*H. annus*(var. I-M 1) ⑦*H. annus*(var. I-M 2) ⑧*T. erecta*

2.2.3 幼虫在各供试植物上的存活率及主动选择性转移能力 16种供试植物接虫结果表明,幼虫仅能在豚草和苍耳上完成发育,其存活率分别为31.25%和13.19%,在其余所有供试植物上的存活率均为0(表3)。存活率单因子选择性风险($SEFRI_{(2)}$ for larval survival)表明,幼虫对豚草和苍耳在取食存活率上具有选择性风险,在其余供试植物上无存活率选择性风险。在非选择性条件下幼虫的选择转移能力测定中,1龄幼虫接入距植株20cm的地面6h后,95%以上的幼虫死于接虫点附近,除少量失踪幼虫外,所有供试植株上未发现被1龄幼虫选择,说明1龄幼虫的选择转移能力十分有限;6龄幼虫接入24h后,除麦杆菊以外,其余所有供试品种都有不同程度被选择现象,其中以豚草和苍耳为主,其余供试植株的选择量小于8%(表3)。选择转移能力单因子风险($SEFRI_{(3)}$ for movement capability)分析表明,6龄幼虫在非选择性条件下对所有供试植物(除麦杆菊外)均表现出一定程度的主动选择现象(表3)。

高龄幼虫(6龄)在“逼迫”条件下具有主动选择性风险可从各龄幼虫的耐饥能力加以说明:幼虫耐饥历期随虫龄增大而延长,1、2龄幼虫在裸露环境中其寿命仅为0.3d,而6龄幼虫则可长达4.2d,明显长于其它各龄幼虫。1~5龄幼虫饥饿存活率为零,但有22.6%的6龄幼虫可在裸露环境中吐丝结茧化蛹(表4)。

2.2.4 综合风险分析 在田间条件下按照豚草卷蛾选择寄主所出现的风险过程,可将其划分为3个连续单因子风险阶段:即产卵选择性风险($SEFRI_{(1)}$)、幼虫发育适合性风险(存活率)($SEFRI_{(2)}$)和当缺乏嗜好性寄主时(此时幼虫存活率均设定为100%)出现的选择性转移风险($SEFRI_{(3)}$)。因此,寄主专一性综合风险指数即为这3个单因子风险指数的乘积。在田间多选择试验中,对豚草卷蛾不同世代中最大的单因子选择性风险指数分析的方法进行综合分析表明,豚草卷蛾在豚草和苍耳的风险指数(CRI)分别为0.76和0.25,属主动选择性风险(active selection risk);在其它供试植物上的风险指数为0,属无选择性风

险(no selection risk)(表 3)。

表 3 幼虫在各供试植物上的存活率、选择转移能力及综合风险指数

Table 3 Larval survival percentage, capability of selection and risk indece of host specificity of *Epiblema strenuana* on tested plants

供试植物 Tested plant	存活率 <i>PS</i> (%)	存活率 风险 <i>SEFRI</i> ₍₂₎	6 龄幼虫转 移选择率 <i>P6ILS</i> (%)	6 龄幼虫 转移选择 性风险 <i>SEFRI</i> ₍₃₎	寄主专一 性综合风 险 <i>CRI</i>
豚草 <i>Ambrosia artemisiifolia</i>	31.25	1	37.8	1	0.76
苍耳 <i>Xanthium sibiricum</i>	13.19	0.42	22.2	0.59	0.25
黄花蒿 <i>Artemisia annua</i>	0	0	7.8	0.21	0
菊花 <i>Dendranthema morifolium</i>					
黄莲 <i>D. morifolium</i> (cv. Yellow lotus)	0	0	3.3	0.09	0
富士雪 <i>D. morifolium</i> (cv. Fuji snow)	0	0	2.2	0.06	0
硫华菊 <i>D. morifolium</i> (cv. Liuhua)	0	0	2.2	0.06	0
国庆菊 <i>D. morifolium</i> (cv. Guoqing)	0	0	1.1	0.03	0
万寿菊 <i>Tagetes erecta</i>	0	0	4.4	0.12	0
孔雀草 <i>T. patula</i>	0	0	3.3	0.09	0
麦杆菊 <i>Helichrysum bracteatum</i>	0	0	0	0	0
向日葵 <i>Helianthus annus</i>					
白 97-1 <i>H. annus</i> (var. Bai 97-1)	0	0	1.1	0.03	0
寸嘴 <i>H. annus</i> (var. Cunke)	0	0	5.6	0.15	0
天委 1 号 <i>H. annus</i> (var. Tianwei 1)	0	0	1.1	0.03	0
天委 F ₂ <i>H. annus</i> (var. Tianwei F ₂)	0	0	3.3	0.09	0
内蒙 1 号 <i>H. annus</i> (var. I-M1)	0	0	4.4	0.12	0
内蒙 2 号 <i>H. annus</i> (var. I-M2)	0	0	4.4	0.12	0

PS: percentage of survival; *SEFRI*₍₂₎; *SEFRI*₍₂₎ for larval survival; *P6ILS*: percentage of 6 instar larva selection; *SEFRI*₍₃₎; *SEFRI*₍₃₎ for larval capability selection; *CRI*: combined risk index for host specificity

2.3 豚草卷蛾在不同供试植物上的种群趋势风险

在上述田间 9 种笼罩植株和 7 种盆栽菊花接虫试验中,豚草卷蛾只能在豚草和苍耳上完成一个完整的世代发育,其种群趋势指数以取食豚草为最高(*PTI* = 23.15),其次为苍耳(*PTI* = 4.39),而取食其它供试植物的种群趋势指数均为 0。种群增长风险指数以取食豚草为最大(*PIRI* = 1),其次为苍耳(*PIRI* = 0.19),两者均为选择性风险,在其余供试植物上的种群风险均为 0。这些结果与前述单因子选择性风险分析和综合风险分析的结果一致。

3 结论与讨论

豚草卷蛾在室内非选择性条件下所出现的虫孔或取食痕迹不能作为判断其寄主的唯一依据,只有取食后能顺利发育并产生后代(完成世代)的供试对象才能作为其选择的寄主。虽然室内非选择性取食测定与田间自然条件下的测定结果不一致,但可作为寄主谱的初步测定方法,为进一步田间测定提供有用的信息,从而节省测定所需的人力物力,提高测定效率。

风险分析是一种识别生防作用物潜在的危害、评价风险因子的作用、判别其后果的研究过程^[10],主要是对寄主接受程度及发育适合性限制因子进行定量研究。从某种意义上说风险程度本身是一种相对概念,宜采用相对性表达指标,程度的大小具有风险的属性含义。寄主专一性具有寄主接受程度与发育适合性综合性概念,包含有许多选择环节。本文分别从成虫产卵、幼虫取食发育和幼虫在“逼迫”条件下的选择性转移 3 个单因子风险数据,定量评价了豚草卷蛾寄主专一性的综合过程。此种专一性风险指数不仅表达了豚草卷蛾寄主专一性的风险程度,而且反映了选择行为的风险属性,而种群增长趋势及风险指数又进一步

表 4 豚草卷蛾幼虫耐饥饿能力

Table 4 Starvation tolerance larva of *E. strenuana*

处理虫龄 Larva instar	供试头数 Num. larvae tested	存活历期(d) Survival period	化蛹率(%) Survival rate
1,2 龄 1st&2nd instar	106	0.3±0.1cC ^①	0
3 龄 3rd instar	119	0.8±0.2cC	0
4 龄 4th instar	50	1.3±0.6bcBC	0
5 龄 5th instar	41	2.1±0.8bB	0
6 龄 6th instar	31	4.2±1.2aA	22.6

①同一栏内的平均数之间的具有相同大写或小写英文字母,分别表示在 *P* = 0.01 和 *P* = 0.05 水平上无差异显著性,Duncan's 新复极差法 Means followed by the same letters are not significantly different at the level of 1% and 5%,Duncan's new multiple test

证了豚草卷蛾的寄主专一性风险程度。

本试验测定结果分别与 McClay^[2]在墨西哥和 McFadyen^[1,4]在澳大利亚所测结果一致。豚草卷蛾高龄幼虫在寄主营养条件恶化时可出现寄主转移现象,表明高龄幼虫具有比低龄幼虫更强的选择和适应能力,是长期自然选择的结果。万方浩^[6]报道豚草卷蛾能在向日葵上形成虫瘿,本研究认为与高龄幼虫寄主转移(在本试验内转移到黄花蒿形成两个虫瘿均能正常羽化)有关。这是一种转移的随机风险,其风险大小取决于豚草卷蛾的选择转移能力和生境条件。

已有的测定结果表明豚草卷蛾在田间条件下仅选择菊科向日葵族中的银胶菊属、豚草属和苍耳属作为寄主,且三者均属于豚草亚族。在澳大利亚,豚草卷蛾自 1983 年释放后的近 20a 中,在其它植物上形成虫瘿的唯一记录是在向日葵族中的 *Siegesbeckia orientalis* 上,而广泛种植于银胶菊分布区的向日葵未有受危害的报道^[5]。在印度进行的测定表明豚草卷蛾虽然可选择小葵子产卵并取食^[8],但认为其在田间开放条件下不大可能主动选择小葵子。就本试验而言,豚草卷蛾在田间前 3 代不大可能发生寄主转移现象,只有当进入第 4 代以后,由于嗜好寄主营养条件恶化时才可能发生,但此时已进入 8 月中下旬,向日葵已进入生长后期,木质化的茎秆组织明显不适合豚草卷蛾蛀食,而且幼虫寄主转移风险仅仅是寄主选择过程中的一个单一环节,即使发生转移,其转移过程还会受到诸如天敌等因素的制约,因此,其风险程度会大大降低。综上所述,豚草卷蛾具有较严格的寄主专一性,选择向日葵族特别是菊科以外的非目标植物不大可能发生,其释放不会对非目标植物构成威胁。

参考文献

- [1] McFadyen R E. The biological control program against *Parthenium hysterophorus* in Queensland. In: *Proc. VI int. Symp. Biol. Contr. Weeds*, Vancouver, Canada, August 1984. 19~25.
- [2] McClay A S. Observation on the biology and host specificity of *Epiblema strenuana* (Lepidoptera, Tortricidae), a potential biocontrol agent for *Parthenium hysterophorus* (Compositae). *Entomophaga*, 1987, **32**(1):23~34.
- [3] Navie S C, Priest T E and McFadyen R E A, *et al.* Efficacy of the stem-galling moth *Epiblema strenuana* Walk. (Lepidoptera: Tortricidae) as a biological control agent for ragweed *Parthenium* (*Parthenium hysterophorus* L.). *Biological Control*, 1998, **13**(1):1~8.
- [4] McFadyen R E. Ragweed, *Parthenium* and Noogoora burr control in the post-*Epiblema* era. In: *Proc. 5th Bienn. Nox. Plants Conf.* Lismore, NSW, Volume 1, 1989. 5~8.
- [5] McFadyen R E. Biological control against *Parthenium* weed in Australia. *Crop Protection*, 1992, (11):400~407.
- [6] Wan F H (万方浩), Ding J Q (丁建清). Test of host specificity for *Epiblema strenuana*. *Chinese Journal of Biological Control* (in Chinese) (生物防治通报), 1993, **9**(2):69~75.
- [7] Li H K (李宏科), Li Y N (李彦宁), Deng K Q (邓克勤), *et al.* A study on biological control of *Epiblema strenuana*. In: *Ragweed and its integrated management in China* (in Chinese). Beijing: Chinese Sciences and Technology Press, 1993. 139~148.
- [8] Jayanth K P. Investigations on the host-specificity of *Epiblema strenuana* (Walker) (Lepidoptera: Tortricidae), introduced for biological control trials against *Parthenium hysterophorus* in India. *J. Biol. Control*, 1987, (1):133~137.
- [9] Kovalev O V. Co-evolution of the Tamarisks (Tamaricaceae) and pest arthropods (Insecta; Arachnida; Acarina), with special reference to biological control prospects. In: *Russian Academy of Sciences: proceedings of the zoological institute*. Pensoft Publishers, Moscow, 1995. **259**:25~26.
- [10] Wan F H (万方浩), Ye Z C (叶正楚) and Peter Harris. Theories and methods in risk analysis of biological control agent. *Chinese Journal of Biological Control* (in Chinese) (中国生物防治), 1997, **13**(1):37~41.
- [11] Wan F H and Harris P. Use of risk analysis for screening weed biocontrol agents: *Altica carduorum* Guer. (Coleoptera; Chrysomelidae) from China as a biocontrol agent of *Cirsium arvense* (L.) Scop. in north America. *Biocontrol Science and Technology*, 1997, 299~308.
- [12] Pang X F (庞雄飞), Lang G W (梁广文). Establishment of insect life table. In: *Management of insect pest population system* (in Chinese). Guangdong Science & Technology Press, 1995. 15~22.