

寄主营养和次生代谢物质对牛角花齿蓟马 (缨翅目:蓟马科)产卵选择的影响

崔晓宁^{1*}, 席驳鑫², 赵晓东³, 胡桂馨¹, 李昌宁¹, 张博鸿¹, 彭斌¹

(1. 甘肃农业大学草业学院, 草业生态系统教育部重点实验室, 国家林业草原高寒草地鼠害防控
工程技术研究中心, 兰州 730070; 2. 甘肃农业大学植物保护学院, 兰州 730070;
3. 甘肃省平凉市崆峒区农业农村局, 平凉 744000)

摘要 为探究牛角花齿蓟马 *Odontothrips loti* 的产卵选择及寄主营养和次生代谢物质对其产卵行为的影响, 本研究观测了牛角花齿蓟马在苜蓿 *Medicago sativa*、草木樨 *Melilotus officinalis*、红豆草 *Onobrychis cyri* 和红三叶 *Trifolium pratense* 4 种豆科牧草叶片上的产卵量和卵孵化率, 同时测定、分析了牧草主要营养和次生代谢物质含量与蓟马产卵选择的相关性。结果表明, 无选择条件下, 牛角花齿蓟马在苜蓿上产卵量最高, 为 59.1 粒/复叶, 其次是草木樨, 15.7 粒/复叶, 在红豆草和红三叶上的产卵量仅为 0.9 粒/复叶和 1.1 粒/复叶。卵孵化率在苜蓿上最高, 为 85.05%, 在草木樨和红豆草上分别为 40.09% 和 39.18%, 红三叶上最低, 为 5.48%。两两选择条件下, 牛角花齿蓟马明显偏好苜蓿叶片上产卵, 在其他牧草叶片上不产卵或产卵量极低。相关性分析表明, 牛角花齿蓟马的产卵量与寄主可溶性蛋白含量显著正相关 ($r=0.722$, $P=0.002$), 卵孵化率与可溶性蛋白 ($r=0.673$, $P=0.004$) 和淀粉 ($r=0.586$, $P=0.017$) 含量显著正相关。牛角花齿蓟马产卵量分别与寄主总酚 ($r=-0.771$, $P<0.001$)、简单酚 ($r=-0.724$, $P=0.002$)、单宁 ($r=-0.755$, $P=0.001$) 和黄酮 ($r=-0.672$, $P=0.004$) 4 种次生代谢物质含量呈显著负相关性。说明寄主叶片的可溶性蛋白含量高有利于牛角花齿蓟马产卵, 总酚、简单酚、单宁和黄酮含量高, 对蓟马产卵具有抑制作用。

关键词 牛角花齿蓟马; 苜蓿; 寄主植物; 产卵选择; 营养物质; 次生代谢物质

中图分类号: S 435.4 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2022506

Effects of host plant nutrients and secondary metabolites on the oviposition selectivity of *Odontothrips loti* (Thysanoptera: Thripidae)

CUI Xiaoning^{1*}, XI Boxin², ZHAO Xiaodong³, HU Guixin¹, LI Changning¹, ZHANG Bohong¹, PENG Bin¹

(1. Pratacultural College, Gansu Agricultural University, Key Laboratory for Grassland Ecosystem, Ministry of Education; Engineering and Technology Research Center for Alpine Rodent Pests Control, National Forestry and Grassland Administration, Lanzhou 730070, China; 2. College of Plant Protection, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 3. Kongtong County Agriculture and Rural Bureau, Pingliang City, Gansu Province, Pingliang 744000, China)

Abstract This study aimed to clarify the oviposition preference of *Odontothrips loti* to different legumes, and the effects of host nutrients and secondary metabolites on its oviposition behavior. The oviposition capacity and egg hatchability of thrips on leaves of four different legume forages, including *Medicago sativa*, *Melilotus officinalis*, *Onobrychis cyri* and *Trifolium pratense*, were measured. Meanwhile, the contents of main nutrients and secondary metabolites of forages were determined, and their correlations with oviposition selectivity of thrips were also analyzed. The no-choice test results showed that the largest amount of oviposition was 59.1 eggs per compound leaf on *M. sativa*, followed by on *M. officinalis* with 15.7 eggs per leaf, and the smallest on *O. cyri* and *T. pratense*, with 0.9 and 1.1 eggs per leaf, respectively. The highest egg hatching rate was 85.05% on *M. sativa*, followed by 40.09% on *M. officinalis*, 39.18% on *O. cyri*, and 5.48% on *T. pratense*. In dual-choice tests, *Odontothrips loti* obviously preferred to lay eggs on *M. sativa* leaves, but there were few eggs laid on the other

收稿日期: 2022-08-21 修订日期: 2022-10-23

基金项目: 国家自然科学基金(32060397); 甘肃农业大学博士科研启动基金(GAU-KYQD-2018-24); 国家牧草产业技术体系(CARS-34)

* 通信作者 E-mail: cxn213@qq.com

host plants. Correlation analysis showed that the egg-laying amounts were significantly positively correlated with the content of leaf soluble proteins ($r=0.722$, $P=0.002$). The egg-hatching rate was significantly positively correlated with the content of leaf soluble proteins ($r=0.673$, $P=0.004$) and starch ($r=0.586$, $P=0.017$), respectively. However, the egg-laying amounts were significantly negatively correlated with the content of total phenol ($r=-0.771$, $P<0.001$), simple phenol ($r=-0.724$, $P=0.002$), tannin ($r=-0.755$, $P=0.001$) and flavonoid ($r=-0.672$, $P=0.004$) in legume leaves, respectively. This study suggested that *O. loti* preferred to lay eggs on host plants with higher content of soluble proteins and less contents of total phenol, simple phenol, tannin and flavonoid.

Key words *Odontothrips loti*; *Medicago sativa*; host plant; oviposition selectivity; nutrients; secondary metabolites

牛角花齿蓟马 *Odontothrips loti* 属缨翅目 Thysanoptera, 蓟马科 Thripidae, 齿蓟马属 *Odontothrips*, 是我国西北和华北苜蓿上的重要害虫之一^[1-2]。该虫喜食苜蓿植株顶端幼嫩组织和花器, 造成叶片卷曲皱缩, 影响光合效率, 导致苜蓿植株生长受阻或落花, 严重损害苜蓿品质和产量, 以及种子繁育^[3-6]。已知的牛角花齿蓟马寄主有草木樨 *Melilotus officinalis*、苜蓿属 *Medicago* spp. 和车轴草属 *Trifolium* spp. 植物^[7]。

植食性昆虫的寄主取食和产卵选择是其与植物协调进化的重要内容^[8]。植食性昆虫偏好适宜后代个体生长发育和存活的寄主上产卵, 以保证其种群繁衍^[9]。深入研究植食性昆虫的寄主产卵选择行为对探究害虫生物学灾变机理以及培育抗虫品种具有重要意义。

昆虫的寄主产卵行为受诸多环境因子, 以及植物种类、生长状况等的影响^[10-12], 还与植物固有的理化性状有关, 如植物组织形态特征^[13-14]、绒毛密度^[15-16]、挥发物^[17-18], 以及营养状况^[19]或防御性物质^[20]等。寄主的主要营养和次生代谢物质的种类及其含量比例对昆虫产卵选择及生长发育至关重要。研究发现, 西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* 的发育速率和繁殖力均与寄主可溶性蛋白含量显著正相关, 而寄主总酚、单宁和黄酮含量均对其寄主选择性影响较大, 其含量越高越不利于蓟马生长发育和繁殖^[21-24]; 蔬菜中单宁和黄酮对南美斑潜蝇 *Liriomyza huidobrensis* 取食行为和产卵寄主选择有显著的抑制作用^[25]。

目前, 关于牛角花齿蓟马寄主产卵选择的研究鲜有报道。本研究选取苜蓿 *Medicago sativa*、草木樨、红豆草 *Onobrychis cyri* 和红三叶 *Trifolium pratense* 4 种我国主要豆科牧草作为供试植物, 测试了牛角花齿蓟马对不同寄主植物的产卵选择行

为, 同时测定植物营养物质和次生代谢物质含量, 并分析其与蓟马产卵选择的相关性, 以期理解牛角花齿蓟马的寄主选择机制和指导抗虫育种提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

2020 年 6 月, 在甘肃农业大学校内牧草试验地‘清水’苜蓿上采集牛角花齿蓟马雌成虫, 带回室内接于‘甘农 5 号’苜蓿幼苗(高约 20 cm)上罩笼饲养, 繁殖一代后的雌成虫用于产卵选择试验。蓟马饲养、产卵选择和卵孵化率试验均在智能光照培养箱(JN-005 型, 宁波江南仪器厂)中进行, 温度设为 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$, 相对湿度 $(65 \pm 5)\%$, 光周期 L//D = 14 h//10 h。

1.2 供试植物

‘甘农 3 号’苜蓿、草木樨、‘甘肃红豆草’和‘甘红 1 号’红三叶(文中均简称为苜蓿、草木樨、红豆草和红三叶)。4 种牧草种子播种于装有沙土(细沙: 泥炭土 = 2:1)的塑料花盆(高 30 cm, 口径 25 cm)中, 在智能光照培养箱中生长至株高约 20 cm, 用于蓟马产卵选择和叶片化学物质含量测定。

1.3 牛角花齿蓟马对不同豆科牧草的产卵选择

蓟马在不同牧草叶片上的产卵试验均在塑料养虫罐(高 10.0 cm, 直径 5.5 cm)中进行。罐底铺一层滤纸, 将植物叶片放在滤纸上, 叶柄用脱脂棉包裹, 不定期加入适量蒸馏水保持叶片新鲜, 罐口用带小孔的塑料薄膜封口。

无选择条件下产卵量: 每种牧草选择 10 个复叶放入养虫罐中, 再接入 30 头雌成虫, 蓟马取食 48 h 后移除成虫。蓟马在叶片表皮下产卵, 将叶片贴在载玻片上, 置于生物显微镜(Panthera U 型, 麦克迪有限公司)下观察统计卵的数量, 每种牧草重复 4 罐。

卵孵化率:每种牧草取 10 个复叶放入养虫罐中,再接入 30 头雌成虫,待蓟马取食 24 h 后移除成虫,随即观察统计产卵量,并统计孵化出的若虫数量(即第 1 天)。每天相同时间观察并统计孵化的若虫数量,直至若虫不再孵化,计算每天的卵孵化率,最终以每罐蓟马卵孵化期内的总孵化率表示,每种牧草重复 4 罐。

两两选择条件下产卵量:每个养虫罐中放入两种牧草各 1 片复叶,再接入 3 头雌成虫,待蓟马取食 48 h 后移除成虫,观察统计不同牧草上落卵的数量。蓟马对两种不同牧草的产卵选择为 1 个组合处理,共设 6 个组合,每个组合处理重复 15 罐。

1.4 牧草叶片营养和次生代谢物质的含量测定

选取新鲜的牧草叶片测定营养物质含量。可溶性糖和淀粉含量测定采用蒽酮比色法,可溶性蛋白含量测定采用考马斯亮蓝法,游离氨基酸含量测定采用水合茚三酮法^[26]。

将新鲜牧草叶片在 105℃ 烘箱中杀青 20 min,再 65℃ 烘干至恒重。叶片粉碎后过 100 目筛,自封袋室温保存用于次生代谢物质含量测定。总酚和简单酚含量测定采用福林酚试剂法,单宁含量为总酚和简单酚含量的差值^[27],黄酮含量测定采用芦丁试剂法^[28]。以上每种牧草叶片营养物质和次生代谢物质含量测定,每处理重复 4 次。

1.5 数据处理

试验数据采用 SPSS 19.0 软件(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)分析。无选择条件下产卵量、卵孵化率,叶片营养物质和次生代谢物质含量在不同豆科牧草间的差异比较采用单因素方差分析(One way ANOVA, $\alpha = 0.05$, Duncan's HSD)。两两选择条件下产卵量差异比较采用非参数独立样本检验(Mann-Whitney U test, $\alpha = 0.05$)。利用 Pearson 双变量相关性(SPSS 19.0)分析无选择条件下牛角花齿蓟马在每种牧草叶片上的产卵量、孵化率分别与叶片营养物质和次生物质含量的关系。采用 Microsoft Excel 2013 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 牛角花齿蓟马对不同豆科牧草的产卵选择

2.1.1 无选择条件下蓟马在不同豆科牧草上的产卵量和卵孵化率

牛角花齿蓟马在 4 种豆科牧草叶片上的产卵量

差异显著($F_{3,36} = 113.87, P < 0.001$)。蓟马偏好在苜蓿叶片上产卵,产卵量高达(59.10±5.07)粒/复叶,其次为草木樨(15.70±0.82)粒/复叶,但蓟马在红豆草和红三叶上产卵量极低,分别为(0.90±0.23)粒/复叶和(1.10±0.41)粒/复叶(图 1)。

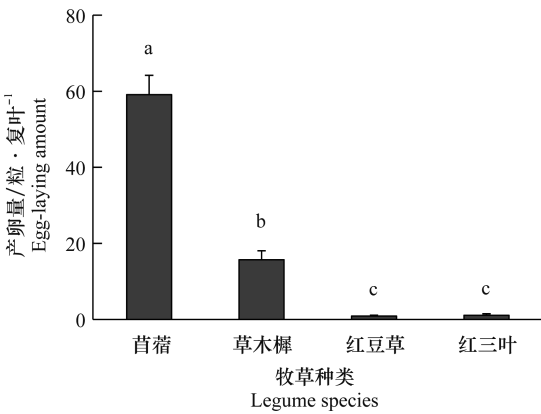


图 1 牛角花齿蓟马在不同豆科牧草上的产卵量
Fig.1 Numbers of eggs laid by *Odontothrips loti* on the leaves of different legume forage plants

牛角花齿蓟马在 4 种豆科牧草叶片上的卵孵化率也存在显著差异($F_{3,12} = 64.48, P < 0.001$)。蓟马在苜蓿上的卵孵化率为(85.05±6.55)%,显著高于其他 3 种牧草;其次为草木樨和红豆草,两者无显著差异,卵孵化率分别为(40.09±4.15)%和(39.18±2.38)%;在红三叶上的卵孵化率最低,仅为(5.48±0.59)%(图 2)。

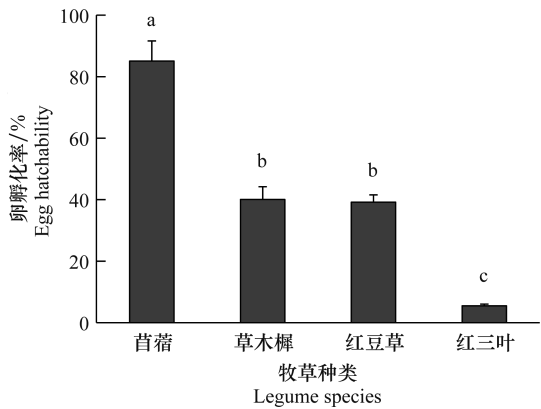


图 2 牛角花齿蓟马在不同豆科牧草上的卵孵化率
Fig.2 Egg hatchability of *Odontothrips loti* on the leaves of different legume forage plants

2.1.2 蓟马在不同豆科牧草上的卵孵化率的日变化趋势

从移除牛角花齿蓟马雌成虫后的第 1 天开始统

计,4 种豆科牧草上的卵孵化期持续约 5 d,到第 6 天不再有若虫孵化。在苜蓿、草木樨和红豆草上的卵孵化率主要集中在前 3 d,累计孵化率分别为 76.40%、38.18%和 29.46%。在苜蓿和草木樨上卵孵化率在第 2 天达到高峰,分别为 39.90%和 21.45%;在红豆草上卵孵化率在第 3 天最高,为 14.11%;在红三叶上卵孵化率极低,累计孵化率仅为 4.48%(图 3)。

2.1.3 两两选择条件下蓟马在不同豆科牧草上的产卵量

两两选择试验的产卵量(图 4)结果表明,苜蓿分别与草木樨、红三叶和红豆草组合时,牛角花齿蓟马均对苜蓿表现极显著的产卵偏好性,产卵量分别为:苜蓿(36.07±3.54)粒/复叶 vs 草木樨(0.13±0.09)粒/复叶($P<0.001$),苜蓿(53.20±4.30)粒/复叶 vs 红三叶 0 粒/复叶($P<0.001$),苜蓿(31.27±4.45)粒/复叶 vs 红豆草(0.07±0.07)粒/复叶($P<0.001$)。另外,草木樨分别与红三叶和红豆草组合时,牛角花齿蓟马仅在草木樨叶片上

产少量卵,产卵量分别为草木樨(3.47±0.98)粒/复叶 vs 红三叶 0 粒/复叶($P<0.001$),草木樨(4.87±0.87)粒/复叶 vs 红豆草 0 粒/复叶($P<0.001$)。红三叶和红豆草组合时,牛角花齿蓟马在两种牧草叶片上的产卵量均极低,红三叶(0.33±0.13)粒/复叶 vs 红豆草(1.87±0.66)粒/复叶($P=0.01$)。

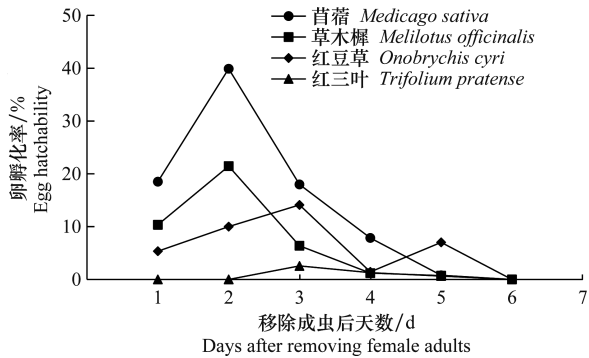


图 3 牛角花齿蓟马在不同豆科牧草上的卵孵化率变化趋势
Fig. 3 Diurnal variation trend of egg hatchability of *Odontothrips loti* on the leaves of different legume forage plants

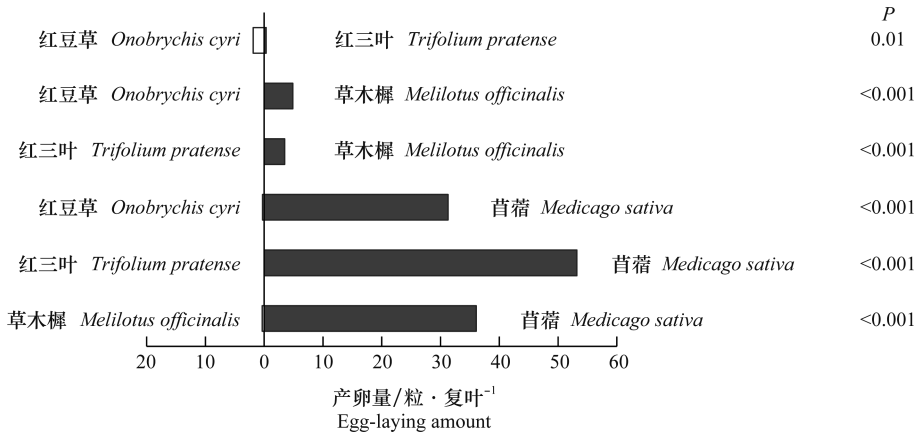


图 4 两两选择条件下牛角花齿蓟马在不同豆科牧草叶片上的产卵量
Fig. 4 Oviposition capacity of *Odontothrips loti* on the leaves of different legume forage plants under dual-choice competitive conditions

2.2 4 种豆科牧草叶片的营养物质和次生代谢物质含量分析

4 种豆科牧草叶片中每种营养物质和次生代谢物质含量均存在较大差异(表 1)。在牧草叶片的营养物质含量方面,4 种牧草间可溶性糖、淀粉、游离氨基酸、可溶性蛋白含量均存在显著差异(可溶性糖: $F_{3,12}=17.36, P=0.001$;淀粉: $F_{3,12}=61.86, P<0.001$;游离氨基酸: $F_{3,12}=146.38, P<0.001$;可溶性蛋白: $F_{3,12}=196.94, P<0.001$)。其中可溶性糖

以红豆草叶片中的含量最高,为(37.72±1.58)mg/g,草木樨次之,为(31.78±1.92)mg/g,红三叶的可溶性糖含量最低。淀粉为草木樨叶片中含量最高,为(33.97±1.95)mg/g,苜蓿和红豆草次之,分别为(24.45±1.38)mg/g 和(15.61±1.97)mg/g,红三叶中淀粉含量最低。游离氨基酸以草木樨叶片中含量最高[(2.22±0.10)mg/g],显著高于其他 3 种牧草,红三叶、苜蓿和红豆草的含量均较低,分别为(0.95±0.05)(0.83±0.48)mg/g 和(0.61±0.02)mg/g。可溶

性蛋白以草木樨和苜蓿叶片中含量较高,分别为(46.77±0.79)mg/g和(44.30±0.53)mg/g,红豆草和红三叶中的含量较低,分别为(17.84±0.43)mg/g和(17.91±0.22)mg/g。

在牧草叶片次生代谢物质含量方面,4种牧草间总酚、简单酚、单宁和黄酮含量均存在显著差异(总酚: $F_{3,12}=76.20, P<0.001$;简单酚: $F_{3,12}=81.28, P<0.001$;单宁: $F_{3,12}=188.96, P<0.001$;黄酮: $F_{3,12}=15.50, P=0.001$)。其中总酚以红豆草叶片中的含量最高,为(95.71±4.99)mg/g,草木樨和红三叶次之,分别为(65.66±2.26)mg/g和(57.07±1.17)mg/g,苜蓿含量最低,为(34.81±

1.40)mg/g。简单酚以红豆草叶片中的含量最高,为(8.25±0.44)mg/g,红三叶次之,为(5.98±0.08)mg/g,在苜蓿和草木樨中含量较低,分别为(3.62±0.10)mg/g和(3.99±0.10)mg/g。单宁含量以红豆草叶片中最高,为(90.79±3.61)mg/g,草木樨和红三叶次之,分别为(61.67±4.05)mg/g和(51.09±1.93)mg/g,苜蓿中单宁含量最低,为(31.19±2.48)mg/g。黄酮以红豆草叶片中含量最高,为(14.07±0.62)mg/g,红三叶次之,为(10.42±0.55)mg/g,苜蓿和草木樨叶片中黄酮含量较低,分别为(4.99±0.35)mg/g和(4.85±0.26)mg/g。

表 1 4种豆科牧草叶片中的营养物质和次生代谢物质含量¹⁾

Table 1 The contents of nutrients and secondary metabolites of four different legume plants

寄主植物 Host plant	含量/mg·g ⁻¹ Content							
	可溶性糖 Soluble sugar	淀粉 Starch	游离氨基酸 Free amino acids	可溶性蛋白 Soluble protein	总酚 Total phenol	简单酚 Simple phenol	单宁 Tannin	黄酮 Flavonoid
苜蓿 <i>Medicago sativa</i>	(27.84±1.92)b	(24.45±1.38)b	(0.83±0.48)b	(44.30±0.53)b	(34.81±1.40)c	(3.62±0.10)c	(31.19±2.48)d	(4.99±0.35)c
草木樨 <i>Melilotus officinalis</i>	(31.78±1.92)b	(33.97±1.95)a	(2.22±0.10)a	(46.77±0.79)a	(65.66±2.26)b	(3.99±0.10)c	(61.67±4.05)b	(4.85±0.26)c
红豆草 <i>Onobrychis cyri</i>	(37.72±1.58)a	(15.61±1.97)c	(0.61±0.02)c	(17.84±0.43)c	(95.71±4.99)a	(8.25±0.44)a	(90.79±3.61)a	(14.07±0.62)a
红三叶 <i>Trifolium pratense</i>	(22.04±0.43)c	(5.38±0.29)d	(0.95±0.05)b	(17.91±0.22)c	(57.07±1.17)b	(5.98±0.08)b	(51.09±1.93)c	(10.42±0.55)b

1) 不同小写字母表示不同豆科牧草间同种营养物质或次生代谢物质的含量差异显著($P<0.05$, Duncan's HSD)。
Different lowercase letters indicate significant differences in the content of the same nutrient or secondary metabolite among different leguminous plants ($P<0.05$, Duncan's HSD).

2.3 无选择条件下蓟马产卵量、卵孵化率与牧草叶片营养物质和次生代谢物质含量之间的相关性

相关性分析(表2)表明:牛角花齿蓟马在4种牧草上的产卵量、卵孵化率均与叶片的可溶性蛋白含量显著正相关,相关系数分别为0.722($P=0.002$)和0.673($P=0.004$)。蓟马产卵量与叶片淀粉含量无显著相关性($r=0.464, P=0.07$),但卵孵

化率与淀粉含量显著正相关($r=0.586, P=0.017$)。蓟马产卵量和卵孵化率均与牧草叶片的可溶性糖和游离氨基酸含量无显著相关性($P>0.05$)。牛角花齿蓟马在牧草上的产卵量分别与叶片中总酚($r=-0.771, P<0.001$)、简单酚($r=-0.724, P=0.002$)、单宁($r=-0.755, P=0.001$)和黄酮($r=-0.672, P=0.004$)的含量显著负相关,卵孵化率与这些物质含量无显著相关性($P>0.05$)。

表 2 牛角花齿蓟马产卵量、卵孵化率与牧草营养物质和次生代谢物质含量之间的相关性分析

Table 2 Pearson correlation coefficients between the egg-laying amounts, the egg hatchability of *Odontothrips loti* and the contents of leaf nutrients and secondary metabolites in four different legume plants

营养物质与次生代谢物质 Nutrients and secondary metabolites	相关系数(r) Correlation coefficient		P	
	产卵量 Egg-laying amount	卵孵化率 Egg hatchability	产卵量 Egg-laying amount	卵孵化率 Egg hatchability
	可溶性糖 Soluble sugar	淀粉 Starch		
可溶性糖 Soluble sugar	-0.153	0.257	0.571	0.337
淀粉 Starch	0.464	0.586	0.070	0.017

续表 2 Table 2(Continued)

营养物质与次生代谢物质 Nutrients and secondary metabolites	相关系数(<i>r</i>) Correlation coefficient		<i>P</i>	
	产卵量 Egg-laying amount	卵孵化率 Egg hatchability	产卵量 Egg-laying amount	卵孵化率 Egg hatchability
游离氨基酸 Free amino acids	−0.048	−0.094	0.861	0.729
可溶性蛋白 Soluble protein	0.722	0.673	0.002	0.004
总酚 Total phenol	−0.771	−0.439	<0.001	0.089
简单酚 Simple phenol	−0.724	−0.489	0.002	0.055
单宁 Tannin	−0.755	−0.410	0.001	0.115
黄酮 Flavonoids	−0.672	−0.495	0.004	0.051

3 结论与讨论

植食性昆虫的产卵选择是保持种群发展的重要生态学行为,关系其后代的存活和正常发育^[12]。蓟马的产卵行为因寄主而异,如西花蓟马对不同花卉叶片的产卵偏好表现为黄花美人蕉 *Canna indica* var. *flava*≈黄花槐 *Sophora xanthoantha*>凤尾丝兰 *Yucca gloriosa*>夹竹桃 *Nerium oleander*^[29]。美洲棘蓟马 *Echinothrips americanus* 在 12 种寄主叶片上的产卵量分为 3 个等级,在油菜、辣椒、黄瓜、南瓜和黄豆上的产卵量均高于 38 粒/株,在豆角、茄子、胡萝卜、小白菜和番茄上的产卵量均在 15 粒/株以下,在苜蓿和茴香叶上不产卵^[30],本研究结果与上述结果相似。

万宝荣等^[31]发现,红带网纹蓟马 *Selenothrips rubrocinctus* 在乌桕 *Triadica sebifera*、碧桃 *Prunus persica* ‘Duplex’、沙梨 *Pyrus pyrifolia*、泡桐 *Paulownia fortunei* 和构树 *Broussonetia papyrifera* 叶片上的产卵量均低于 5.4 粒/叶,若虫和预蛹均不能正常发育;但其在石楠 *Photinia serratifolia*、二球悬铃木 *Platanus acerifolia*、杜鹃 *Rhododendron simsii* 和板栗 *Castanea mollissima* 上的产卵量均高于 6.5 粒/叶,且都能完成正常的世代发育。曹宇等^[32]的研究表明,栖霞害虫黄胸蓟马 *Thrips hawaiiensis* 偏好在郁金香 *Tulipa gesneriana* 上产卵,世代存活率最高,其次是玫瑰 *Rosa rugosa* 和香石竹 *Dianthus caryophyllus*,在百合 *Lilium brownii* var. *viridulum* 上的产卵量最低;西花蓟马在不同寄主花器上的单雌总产卵量大小依次为黄花美人蕉>黄花槐>凤尾丝兰>夹竹桃,这与其在 4 种寄主上的净生殖率和内禀增长率一

致^[29]。这些研究都符合植食性昆虫的产卵“偏好—表现(preference-performance)”理论,即雌成虫优先选择在适合子代生长发育的寄主上产卵,以最大程度地提高种群存活率^[33-35]。本研究中牛角花齿蓟马在苜蓿叶片上的产卵量和卵孵化率显著高于草木樨、红豆草和红三叶,这也支持了上述产卵偏好理论,但牛角花齿蓟马在这 4 种豆科寄主上的发育和存活情况是否与其产卵行为表现一致,还有待进一步研究。

植物营养组成及其含量指标能反映昆虫对寄主植物的适应性^[36-37]。牛角花齿蓟马对 4 种豆科牧草的产卵量、卵孵化率与寄主可溶性蛋白含量显著正相关,但与可溶性糖及游离氨基酸含量无显著相关性,这与西花蓟马的报道类似。西花蓟马在甘蓝、莴苣、黄瓜、茄子、芹菜和大蒜叶片上的繁殖力,以及在月季、香石竹、百合、天竺葵及牵牛的花器上的发育速率都与寄主可溶性蛋白含量显著正相关,与可溶性糖含量相关性不明显^[21,29]。但也有报道表明,黄瓜、番茄和菜豆对美洲斑潜蝇 *Liriomyza sativae* 的抗性强弱与植物蛋白质和可溶性糖含量均显著相关^[14]。瓜蓟马 *Thrips palmi* 在 5 种瓜类叶片上的发生量与叶片氨基酸含量显著正相关,与可溶性糖含量有一定的正相关性,与蛋白质含量无相关性^[38]。造成这种差异的原因可能是植食性昆虫的产卵选择不同于取食选择,这一行为综合了各种营养效应,当寄主可溶性蛋白含量满足需要后,可溶性糖和氨基酸含量也影响昆虫的适应性。Scott 等^[39]的研究表明,西花蓟马为害的寄主中可溶性蛋白含量明显高于非寄主植物,且寄主中蛋白含量高于碳水化合物;温室蓟马 *Heliothrips haemorrhoidalis* 偏好在寄主蛋白含量高的植物上产卵,

与可溶性糖含量无相关性。Nikolay 等^[40]通过转天门冬氨酸和半胱氨酸抑制剂基因获得抗西花蓟马的转基因马铃薯,使蓟马发生率降低 20% 以上,这些都说明植物中蛋白含量是影响蓟马产卵行为及寄主适应性的重要因素。

王学林等^[41]发现,棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 低龄幼虫生长发育需要足够的氨基酸和水分,而寄主淀粉含量低是其存活率低的主要因素。本试验中牛角花齿蓟马的卵孵化率与寄主叶片淀粉含量显著正相关,说明淀粉是牛角花齿蓟马若虫生长发育过程中必需的营养物质。

寄主植物受蓟马为害会诱导总酚和单宁水平升高,而单株虫量明显降低^[24,27],可见植物次生代谢物质在抵抗蓟马为害中发挥作用^[42-43]。曹宇等^[22-23]研究了西花蓟马对 6 种蔬菜和 5 种花卉的寄主选择性,发现植物总酚、单宁和黄酮含量越高,越不利于蓟马产卵选择和生长发育;烟蓟马 *Thrips tabaci* 对 9 个不同葡萄品种的寄主选择性与叶片黄酮含量显著负相关^[44];人工饲喂单宁酸后,明显抑制了苜蓿上豌豆蚜 *Acyrtosiphon pisum* 的生长发育及繁殖^[45]。本试验结果与其一致,表现在寄主的总酚、单宁和黄酮类物质抑制了牛角花齿蓟马的产卵行为。

蓟马选择不同植物产卵是为了提高后代的存活率,这一过程受多种因素影响,包括必要的营养物质以及寄主的次生代谢物质含量。牛角花齿蓟马在苜蓿上的产卵量显著高于草木樨,虽然两者的可溶性蛋白含量差异显著(差值较小),但苜蓿的总酚和单宁含量远低于草木樨(差值显著),同时这两类次生代谢物质也能抑制西花蓟马的产卵行为^[46-47]。此外,蓟马产卵行为还可能与植物挥发物和物理性状有关^[12]。研究表明,西花蓟马^[23]和黄胸蓟马^[48]在不同花卉寄主上的发育历期和存活率与寄主选择性相一致,植物释放的特异性挥发物在调控害虫行为选择过程中发挥关键作用^[17,49]。植物叶片绒毛过密对烟粉虱 *Bemisia tabaci*^[15]、南美斑潜蝇^[14]和普通大蓟马 *Megalurothrips usitatus*^[50]的产卵均产生不利影响。特木尔布和等^[13]的研究证明,叶片绒毛密度是增强苜蓿对蓟马抗性的重要因素。本试验观察发现,红三叶的叶片绒毛明显较其他 3 种豆科牧草

多,这是否与牛角花齿蓟马产卵选择行为有关尚不清楚;寄主挥发物是否影响牛角花齿蓟马的产卵行为,这些问题还需开展试验深入研究。

参考文献

- [1] 张奔,周敏强,王娟,等. 我国苜蓿害虫种类及研究现状[J]. 草业科学, 2016, 33(4): 785-812.
- [2] 李霜,杜桂林,尹晓飞,等. 我国饲草重大病虫鼠害研究进展[J]. 中国生物防治学报, 2020, 36(1): 9-16.
- [3] 王小珊,杨成霖,王森山,等. 蓟马持续为害对苜蓿品质的影响[J]. 草原与草坪, 2014, 34(4): 31-35.
- [4] 寇江涛,师尚礼,胡桂馨,等. 紫花苜蓿对蓟马危害的光合生理响应[J]. 中国农业科学, 2013, 46(12): 2459-2470.
- [5] 寇江涛,师尚礼,胡桂馨. 牛角花齿蓟马为害对紫花苜蓿生长及氮代谢的影响[J]. 植物保护, 2014, 40(4): 14-20.
- [6] 武杰瑞,刘秉毅,特木尔布和,等. 蓟马取食对苜蓿氨基酸组成及含量的影响[J]. 草地学报, 2022, 30(1): 62-68.
- [7] 李楠,马晓霞,王新谱. 苜蓿重要害虫牛角花齿蓟马研究进展[J]. 中国植保导刊, 2019, 39(11): 31-35.
- [8] 王琛柱,钦俊德. 昆虫与植物的协同进化: 寄主植物-铃夜蛾-寄生蜂相互作用[J]. 昆虫知识, 2007, 44(3): 311-319.
- [9] 郭线茹,李为争,董钧锋,等. 植食性昆虫寄主植物选择假说述介[J]. 应用昆虫学报, 2021, 58(6): 1245-1256.
- [10] 张雪,钱万强,王宁,等. 不同光照条件对西花蓟马产卵量的影响[J]. 中国植保导刊, 2019, 39(7): 5-10.
- [11] 李貌,张金龙,闫振华,等. 不同寄主对瓜实蝇和南亚实蝇生长发育和产卵选择的影响[J]. 植物保护, 2022, 48(3): 151-158.
- [12] 董子舒,张玉静,段云博,等. 植食性昆虫产卵寄主选择影响因素及机制的研究进展[J]. 南方农业学报, 2017, 48(5): 837-843.
- [13] 特木尔布和,斯琴. 抗蓟马紫花苜蓿形态特征及其抗性研究[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2014, 35(5): 51-58.
- [14] 成卫宁,仵均祥,李修炼,等. 美洲斑潜蝇寄主抗虫性与寄主叶片化学物质和物理结构的关系[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2006, 45(5): 71-75.
- [15] 何菁,周福才,陈学好,等. 辣椒叶片物理性状对烟粉虱寄主选择的影响[J]. 生态学杂志, 2016, 35(11): 3045-3050.
- [16] 赵瑞,牛越,王雅丽,等. 寄主植物物理性状及营养物质对地红蜡寄主选择性的影响[J]. 昆虫学报, 2022, 65(6): 737-748.
- [17] CAO Yu, LI Can, YANG Hong, et al. Laboratory and field investigation on the orientation of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) to more suitable host plants driven by volatiles and component analysis of volatiles [J]. Pest Management Science, 2019, 75(3): 598-606.
- [18] KIRK W D J, DE KOGEL W J, KOSCHIER E H, et al.

- Semiochemicals for thrips and their use in pest management [J]. Annual Review of Entomology, 2021, 66: 101–119.
- [19] 郭婷婷, 门兴元, 于毅, 等. 二点委夜蛾适应性与玉米苗营养物质和次生代谢物质含量的关系[J]. 昆虫学报, 2018, 61(8): 984–990.
- [20] 张涛, 邹军锐, 曾广, 等. 西花蓟马与植物互作中的诱导防御与适应性研究进展[J]. 应用昆虫学报, 2021, 58(3): 479–486.
- [21] 曹宇, 邹军锐, 孔译贤. 西花蓟马繁殖力与寄主营养物质的关系[J]. 应用昆虫学报, 2011, 48(3): 524–529.
- [22] 曹宇, 邹军锐, 从春蕾, 等. 西花蓟马寄主选择性与寄主物理性状及次生物质的关系[J]. 植物保护, 2012, 38(4): 27–32.
- [23] 曹宇, 刘燕, 梁文琴, 等. 西花蓟马生长发育及其与寄主花化学物质的关系[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(5): 635–641.
- [24] 贾彦霞, 庞洪翠, 姜灵, 等. 辣椒叶片中单宁和总酚含量与其对西花蓟马抗性的关系[J]. 植物保护学报, 2018, 45(5): 1183–1184.
- [25] 庞保平, 高俊平, 周晓榕, 等. 南美斑潜蝇寄主选择性与植物次生化合物及叶毛的关系[J]. 昆虫学报, 2006(5): 810–815.
- [26] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 110–130.
- [27] 王小珊, 杨成霖, 王森山, 等. 牛角花齿蓟马为害后苜蓿叶酚类物质和木质素含量的变化[J]. 应用生态学报, 2014, 25(6): 1688–1692.
- [28] 张咏梅, 晏石娟, 曹致中, 等. 微波辅助提取苜蓿黄酮方法的研究[J]. 草地学报, 2008, 16(1): 76–80.
- [29] 曹宇, 刘燕, 熊正利, 等. 西花蓟马对不同花卉寄主的产卵选择性[J]. 植物保护学报, 2015, 42(5): 741–748.
- [30] 朱亮, 石宝才, 宫亚军, 等. 美洲棘蓟马对不同蔬菜寄主的偏好性[J]. 生态学报, 2013, 33(5): 1607–1614.
- [31] 万宝荣, 李传仁. 红带网纹蓟马对几种寄主植物的适合度研究[J]. 生物安全学报, 2013, 22(1): 66–69.
- [32] 曹宇, 尚保珍, 冉光梅, 等. 不同寄主对黄胸蓟马 *Thrips ha-waiensis* 生长发育及产卵的影响[J]. 中山大学学报, 2017, 56(6): 141–146.
- [33] JOHNSON S N, NICHOLAS A, BIRCH E, et al. The ‘mother knows best’ principle: Should soil insects be included in the preference-performance debate? [J]. Ecological Entomology, 2006, 31(4): 395–401.
- [34] GRIPENBERG S, MAYHEW P J, PARNELL M, et al. A meta-analysis of preference-performance relationships in phytophagous insects [J]. Ecology Letters, 2010, 13(3): 383–393.
- [35] RIGSBY C M, MUILENBURG V, TARPEY T, et al. Oviposition preferences of *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae) for different ash species support the mother knows best hypothesis [J]. Annals of the Entomological Society of America, 2014, 107(4): 773–781.
- [36] 钦俊德, 王琛柱. 论昆虫与植物的相互作用和进化的关系[J]. 昆虫学报, 2001, 44(3): 360–365.
- [37] 王政, 孟倩倩, 钟国华. 植食性昆虫取食行为过程及机制研究[J]. 环境昆虫学报, 2014, 36(4): 612–619.
- [38] 吴密, 郭炳垚, 陈泉亨, 等. 瓜类作物营养成分与瓜类抗棕蓟马特性的相关性分析[J]. 南方农业学报, 2018, 49(9): 1776–1781.
- [39] SCOTT-BROWN A S, SIMMOND M S J, BLANEY W M. Relationship between nutritional composition of plant species and infestation levels of thrips [J]. Journal of Chemical Ecology, 2002, 28(12): 2399–2409.
- [40] NIKOLAY S O, WILLEM J D K, ANTJIE S. Specific cysteine protease inhibitors act as deterrents of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande), in transgenic potato [J]. Plant Biotechnology Journal, 2004, 2(5): 439–448.
- [41] 王学林, 吴振廷, 周冬生. 棉铃虫取食小麦的生存和营养效应[J]. 安徽农业科学, 2001, 29(2): 181–184.
- [42] JOHNSON M T J. Evolutionary ecology of plant defences against herbivores [J]. Functional Ecology, 2011, 25(2): 305–311.
- [43] GOLS R. Direct and indirect plant defences against insects in a multitrophic framework [J]. Plant Cell and Environment, 2014, 37(8): 1741–1752.
- [44] 曹春玲, 刘永强, 吴胜勇, 等. 烟蓟马对不同葡萄品种的选择性及与主要影响因素的相关性[J]. 植物保护, 2015, 41(1): 68–73.
- [45] 邵娅, 王森山, 叶超. 单宁酸对红、绿色型豌豆蚜生长发育及繁殖的影响[J]. 草地学报, 2017, 25(4): 866–870.
- [46] ALLSOPP E, PRINSLOO G J, SMART L E, et al. Methyl salicylate, thymol and carvacrol as oviposition deterrents for *Frankliniella occidentalis* (Pergande) on plum blossoms [J]. Arthropod-Plant Interactions, 2014, 8(5): 421–427.
- [47] WHITTAKER M S, KIRK W D J. The effects of sucrose and tannin on oviposition by the western flower thrips [J]. Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica, 2004, 39: 115–121.
- [48] CAO Yu, REITA S R, GERMINARA G S, et al. Host preference of *Thrips hawaiiensis* for different ornamental plants [J]. Journal of Pest Science, 2022, 95: 761–770.
- [49] 曹宇, 孟永禄, 杨红, 等. 黄胸蓟马对不同花卉挥发物的行为反应初探[J]. 河南农业科学, 2020, 49(9): 88–97.
- [50] 谭珂, 李曼娟, 陈鑫, 等. 普通大蓟马产卵选择性初探[J]. 热带作物学报, 2015, 36(3): 587–590.