

柠条重要害虫四线奇尺蛾天津亚种的 形态特征与生物学特性*

赵宇晨** 宋鲜梅 常春燕 王新谱***

(宁夏大学农学院, 银川 750021)

摘 要 【目的】明确柠条重要食叶害虫四线奇尺蛾天津亚种 *Chiasmia saburraria richardsi* 的生物学特性, 为进一步做好害虫防控提供科学依据。【方法】结合野外调查和室内饲养的方法, 观察记录了四线奇尺蛾天津亚种的生长发育过程及行为特性。【结果】四线奇尺蛾天津亚种在宁夏地区 1 年发生 2 代, 世代重叠明显。在 8 月底开始以蛹在 10 cm 浅层土内越冬, 越冬代成虫次年 5 月中旬始见, 5 月下旬第 1 代卵开始孵化, 7 月初第一代老熟幼虫开始化蛹, 蛹期是 10 d, 7 月中旬第 2 代成虫开始羽化, 7 月下旬第 2 代幼虫出现, 8 月下旬第 2 代老熟幼虫开始化蛹, 越冬蛹期为 260 d 左右。常见捕食性天敌有螯蜂、日本弓背蚁和沙泥蜂, 寄生性天敌有白僵菌。【结论】四线奇尺蛾天津亚种 *C. s. richardsi* 是一种危害柠条的食叶害虫。

关键词 四线奇尺蛾; 形态特征; 生活习性; 生活史; 天敌

Morphological traits and bionomics of *Chiasmia saburraria richardsi* on *Caragana korshinskii*

ZHAO Yu-Chen** SONG Xian-Mei CHANG Chun-Yan WANG Xin-Pu***

(School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract [Objectives] To clarify the morphology, life history, behavior and natural enemies of *Chiasmia saburraria richardsi*. [Methods] The biological characteristics of *C. s. richardsi* were studied comprehensively in field surveys and under laboratory conditions. [Results] *C. s. richardsi* has two generations per year which overlap considerably. Mature larvae pupate during the end of August in 10 cm soil around the base of plant stems in fields in Ningxia. Overwintering adults emerge from mid-May and eggs of the first generation hatch in late May. Mature larvae pupate in early July and the average duration of the pupal stage is 10 d. Adults of the second generation emerge from mid-July and larvae are present in late July. Mature larvae pupate in late August and overwinter as pupae for about 260 d. *Arma custos*, *Camponotus japonicus* and *Ammophila* sp. are predators of *C. s. richardsi*, and *Beauveria* sp. is an entomopathogenic fungus that infects this pest. [Conclusion] The larvae of *C. s. richardsi* feed on the leaves of host plants and are an important pest of *Caragana korshinskii*.

Key words *Chiasmia saburraria richardsi*; morphology; biological habits; life history; natural enemies

柠条锦鸡儿 *Caragana korshinskii* Kom 属豆科锦鸡儿属的落叶灌木, 是我国干旱、半干旱地区植被恢复和生态重建的重要植物资源之一, 同

时还具有较高的综合开发利用价值 (牛西午, 2003; Gao *et al.*, 2014)。近年来, 在三北地区柠条的种植面积不断在扩大, 宁夏全区面积约

*资助项目 Supported projects: 宁夏高等学校一流学科建设 (草学学科) 项目 (NXYLXK2017A01); 宁夏罗山国家级自然保护区管理局横向课题 (2016004)

**第一作者 First author, E-mail: anthicidae@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: wangxinpu@nxu.edu.cn

收稿日期 Received: 2018-06-29; 接受日期 Accepted: 2018-09-25

52 万 hm^2 ，其中人工纯林占 94%。

随着柠条大面积种植，病虫害对柠条的危害也日益加剧，造成大面积柠条林长势衰弱，甚至成片枯死，严重影响了地区的生态安全。目前，柠条上发现的害虫主要有：地下害虫如东北大黑鳃金龟 *Holotrichia diomphalia*，华北大黑鳃金龟 *Holotrichia oblita* 等；食叶害虫春尺蠖 *Apocheima cinerarius*，古毒蛾 *Orgyia antiqua* 等；种实害虫柠条豆荚小卷蛾 *Cydia nigricana*，柠条坚荚斑螟 *Asclerobia sinensis*，柠条豆象 *Kytorrhinus immixtus*、广肩种子小蜂 *Bruchophagus philorobinae* 等；蛀干害虫红缘天牛 *Asias halodendri*，绿虎天牛 *Chlorophorus diade* 等；枝梢害虫刺槐蚜 *Aphis roibiniae*，胭脂蚧 *Porphyrophora sophorae*、白斑新灰蝶 *Neolycaena tengstroemi* 等（杨彩霞和高立原，2000；罗于洋等，2006；王涛等，2010；高凯等，2016）。近年来，春尺蠖、柠条豆象、广肩种子小蜂和白斑新灰蝶在宁夏地区对柠条的危害日益严重。

四线奇尺蛾天津亚种 *Chiasmia saburraria richardsi*（Prout, 1908）是一种危害柠条的食叶害虫，俗称柠条尺蠖，其幼虫主要危害柠条锦鸡儿的叶片。常春燕等（2016）详细描述了该害虫蛹和成虫的外部形态特征及其两性鉴别特征，但该种的幼虫形态和生物学特征等未见系统报道。作者在宁夏罗山自然保护区开展了四线奇尺蛾

的生物学特性调查，现将结果报道如下，以期制定有效的防治措施及其他相关研究奠定基础。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

调查样地位于宁夏中部干旱带罗山国家级自然保护区，系水源涵养林区，地处贺兰山和六盘山之间的过渡地带，保护区的地理位置在 106°04′-106°24′E，37°11′-37°25′N，海拔高度 1 560-2 624.5 m，南北长 36 km，东西宽 18 km。罗山地处内陆，属中温带大陆性干旱气候类型，全年平均日照为 2 881.5 h，年平均气温 8.8℃，年平均降水量 261.8 mm，年平均蒸发量为 2 460 mm，无霜期 130-150 d（徐秀梅和董玉芝，1997）。罗山保护区现有人工柠条林 2.5 万 hm^2 ，主要分布于罗山西侧的山脚下，柠条种植带大体呈南北走向，行距约 5 m，株距 1.5-2 m，行间伴生阿尔泰狗娃花 *Heteropappus altaicus*、星毛委陵菜 *Potentilla acaulis*、顶羽菊 *Acroptilon repens* 等。本研究选择 6 个标准样地进行野外调查，标准样地面积 667 m^2 ，样地具体信息见表 1。

1.2 调查方法

采取野外调查和室内饲养相结合的方法，观察记录各虫态的生物学和生长发育情况。

1.2.1 野外调查 在标准样地内观察幼虫的取食、

表 1 调查标准样地信息
Table 1 Sample plot information

样地 Sample number	样地经纬度 Longitude and latitude	样地海拔 (m) Altitude	树龄 Tree-age	类型 Type	栽植方式 Planting patterns
新庄集 1 Xinzhuangji 1	N 37°15′33.89″, E 106°14′0.06″	1 644	10-20	禁牧区 Non-grazing area	
新庄集 2 Xinzhuangji 2	N 37°15′34.82″, E 106°13′57.06″	1 639	10-20	放牧区 Grazing area	
新庄集 3 Xinzhuangji 3	N 37°16′06.63″, E 106°13′31.43″	1 640	10-20	放牧区 Grazing area	行距 5 m Row spacing 5 m
新庄集 4 Xinzhuangji 4	N 37°16′08.19″, E 106°13′35.76″	1 649	10-20	禁牧区 Non-grazing area	株距 1.5 m Plant spacing 1.5 m
蒋庄子 Jiangzhuangzi	N 37°18′54.47″, E 106°12′47.75″	1 677	20-30	禁牧区 Non-grazing area	
魏家嘴 Weijiazui	N 37°19′22.62″, E 106°12′45.35″	1 672	20-30	禁牧区 Non-grazing area	

蜕皮、化蛹及成虫羽化等行为,并定期统计幼虫、蛹以及成虫的数量。

卵和幼虫的调查:按“Z”字形抽样方法,在6块标准样地随机抽取50株,分别在树冠的不同方位(东、西、南、北、中)选取大约50 cm长的枝条,观察并记录5个方位枝条上的卵和幼虫的数量,再以整株为单位,最后以每块样地作为一个样本来统计和分析种群数量的时空动态。每隔10 d左右调查一次。

1.2.2 室内饲养 从野外采集幼虫,连同寄主植物一并带回实验室,将幼虫放在养虫笼内,以自然温度饲养至化蛹、羽化、自然死亡。定期更换

柠条保证有足够的食物供幼虫转移取食,并每天观察幼虫取食和活动行为、化蛹、羽化等行为。

从野外采集蛹,带回实验室,并将蛹埋入消毒玻璃瓶中的细沙中,置于培养箱中培养,观察并统计成虫的羽化率。

2 结果与分析

2.1 形态特征

2.1.1 卵 卵呈椭圆形,长轴约0.6 mm,短轴约0.3 mm,表面具近六边形网状纹路;卵初产时浅绿至深绿色(图1:A,B),孵化前变为橙黄色。

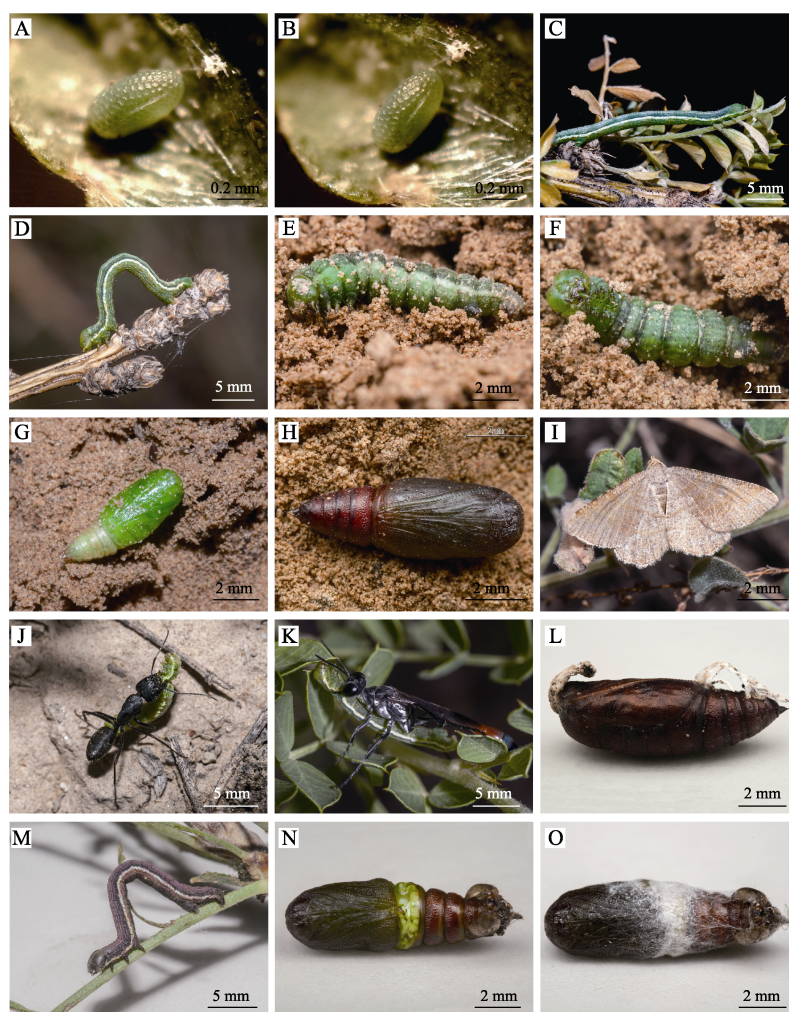


图1 四线奇尺蛾天津亚种的形态和天敌

Fig. 1 Morphological traits, natural enemies of *Chiasmia saburraria richardsi*

A, B. 卵; C, D. 幼虫; E, F. 预蛹; G, H. 蛹; I. 成虫; J. 日本弓背蚁捕食; K. 沙泥蜂捕食; L. 被真菌寄生的蛹; M. 非正常幼虫; N. 非正常蛹; O. 被菌丝的蛹。

A, B. Egg; C, D. Larva; E, F. Prepupa; G, H. Pupa; I. Adult; J. Preyed by *Camponotus japonicus*; K. Preyed by *Ammophila* sp.; L. Parasitized pupa by fungus; M. Abnormal larva; N. Abnormal pupa; O. Covered pupa by mycelium.

2.1.2 幼虫 初孵幼虫头部橙黄色,体黄绿色,头宽约 0.2 mm,体长 0.6 mm 左右。老熟幼虫头宽约 2.0 mm,体长 28.0 mm 左右,头黄绿至绿色,额区狭长,蛻裂线为倒“Y”字形;触角 3 节,第 3 节短小;上唇端部中间具“v”缺刻;具短而细的吐丝器;颊每侧白色基底上有 5 个单眼,呈半环状分布,中间的较大,最下方最小。腹部 10 节,第 6 腹节具 1 对腹足,第 10 节具 1 对臀足,趾钩为双序中带排列;臀板三角形;9 对气门,气门米黄色,围气门片黑色。体表面有毛,但较为稀少,背中线和亚背线以及气门上线均为绿色,且背中线条较纤细,两线之间为白色或灰色宽带,即背面清晰可见有 4 条白色的波纹,每体节有一白色横带;气门下线为一白色宽带,并伴有一条黑色波形纹,并一直延伸到头部,腹面有 5 条纵纹,黑色,呈波形(图 1:C,D)。

2.1.3 预蛹及蛹 预蛹体长 10-13 mm,宽 2.8-3.5 mm,头宽约 2 mm,胸部宽,腹末端窄,体节清晰可见。气门下线的白色条纹自头部向尾部渐渐褪去;腹部鲜绿色具不清晰的墨绿条纹;背部具墨绿色纹路(图 1:E,F)。初化蛹头、胸、翅青绿色,腹部乳白色(图 1:G),之后头胸部呈暗绿色,腹部为红褐色(图 1:H),1-2 d 后蛹整体呈红褐色。

蛹体长 9.0-10.0 mm,宽 3.0-4.0 mm,红褐色,第 9 腹节较其他腹节短,第 10 腹节腹面中间有缺刻,每侧有 1 对瘤状突起,臀棘 1 根。

2.1.4 成虫 体长 7.5-10.0 mm,前翅长 10.5-13.0 mm。前翅呈浅灰褐色,翅面散布黄褐色和黑褐色鳞片;亚基线、内线、中线和外线清晰可见,亚缘线不明显;亚基线和内线黄褐色;外线黑褐色略呈波曲状;中线颜色较深,近弧形;缘线灰褐色,弧形。后翅中线、外线和亚缘线明显,中线较粗直(图 1:I)。

2.2 生活史与发生规律

2.2.1 生活史 四线奇尺蛾天津亚种在宁夏地区 1 年发生 2 代,以蛹在柠条根际土壤中越冬,世代重叠较为明显。翌年 5 月中旬越冬蛹开始羽化产卵,卵期约 4-5 d,5 月下旬始见第 1 代幼虫,

幼虫期约 35 d,7 月初第 1 代幼虫开始化蛹,预蛹期约为 1-2 d,蛹期 10 d,7 月中旬第 2 代成虫开始羽化,第 2 代幼虫始见于 7 月下旬,8 月下旬第 2 代老熟幼虫开始化蛹并越冬,越冬蛹蛹期为 260 d 左右。其生活史见表 1。幼虫的发育期较长,导致世代发育不整齐,在野外采集到老熟幼虫的同时,也可采到初孵幼虫,从 5 月下旬到 9 月下旬都能见到幼虫危害(表 2)。

2.2.2 幼虫种群动态 在幼虫发生量最大时调查了 6 块标准样地的危害程度,结果见表 3。调查地柠条受害株率在 30%-58% 间,平均受害株率为 42.33%;虫口密度为 0.36-3.30 头/株,平均虫口密度为 1.06 头/株,蒋庄子和魏家嘴样地危害相对较重(表 3)。

四线奇尺蛾幼虫在不同样地的种群动态见图 2。结果显示,第 1 代幼虫从 5 月下旬开始出现,在 6 月下旬到 7 月上旬为第 1 代发生高峰期,随着时间的推移,幼虫的发生量呈现减少的趋势。在柠条主要生长季均有幼虫出现,第 1 代幼虫的发生量远高于第 2 代。幼虫数量在不同样地发生量呈现不同,幼虫在魏家嘴样地发生量远高于其它样地,发生高峰期时,调查的 50 株柠条中幼虫数量达到 165 头,而在其他样地发生量都较小,峰值均没有超过 80 头。

2.3 生活习性

2.3.1 卵 卵单产或 3-5 粒产于寄主叶片表面。

2.3.2 幼虫 幼虫非常活跃,孵化后分散寻找食物,喜食嫩叶,无聚集危害现象;有吐丝下垂的习性,在受到惊扰时较明显,也可吐丝随风传播;幼虫蛻皮前会停止取食,静止不动,蛻皮前的头部明显比非蛻皮状态时大得多;蛻皮后的几分钟内仍静止不动,过后会吃掉蛻下的皮,仅留下头壳和极少量的皮。幼虫一般出现在寄主上部的幼嫩枝条 0-50 cm 处,在柠条冠幅的东、西、南三个方位分布较多。

老熟幼虫停止取食后下行入土准备化蛹,头上尾下,身体开始慢慢紧缩并微弯,体质较硬,化蛹前不做茧和土室。化蛹场所大多是在寄主柠条的冠幅范围内,以近主干根际处居多,蛹主要

表 2 四线奇尺蛾天津亚种的生活史
Table 2 The life history of *Chiasmia saburraria richardsi*

虫态 Stage	月份 Month											
	5 月 May			6 月 June			7 月 July			8 月 Aug.		
	上 F	中 M	下 L	上 F	中 M	下 L	上 F	中 M	下 L	上 F	中 M	下 L
越冬蛹 Overwintering pupae	○)	○)	○)									
成虫 Adult		+	+	+	+	+	+	+				
卵 Egg			●	●	●	●	●	●	●			
幼虫 Larva		-	-	-	-	-	-	-	-			
蛹 Pupa							○	○	○	○	○	
成虫 Adult							+	+	+	+	+	+
卵 Egg								●	●	●	●	●
幼虫 Larva								-	-	-	-	-
越冬蛹 Overwintering pupae										○)	○)	○)

越冬蛹：○)，蛹：○，成虫：+，卵：●，幼虫：-；上：上旬，中：中旬，下：下旬。
Overwintering pupa: ○)，Pupa：○，Adults: +, Egg: ●, Larvae: -；F: The first 10-day period, M: The middle 10-day period, L: The last 10-day period.

表 3 四线奇尺蛾天津亚种危害程度调查
Table 3 Survey of *Chiasmia saburraria richardsi* infestation in *Caragana korshinskii* plantations

样地 Sample number	受害株率 Damaged rate (%)	虫口密度 Population density (头/株)	调查日期 Date
新庄集 1 Xinzhuangji 1	42	0.48	20140714
新庄集 2 Xinzhuangji 2	34	0.36	20140714
新庄集 3 Xinzhuangji 3	36	0.56	20140715
新庄集 4 Xinzhuangji 4	30	0.38	20140715
蒋庄子 Jiangzhuangzi	58	1.30	20140716
魏家嘴 Weijiazui	54	3.30	20140716

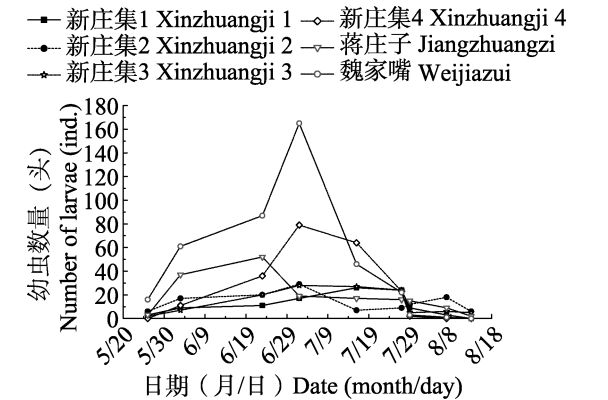


图 2 四线奇尺蛾天津亚种幼虫在不同样地的种群数量的动态变化
Fig. 2 The dynamics of larvae populations of *Chiasmia saburraria richardsi* in six standard sample-plots

分布在柠条根部的东、南方位(分别占调查总数的 44.05%、29.76%),深度多为 10 cm 以内,最深可达 30 cm。实验室内将老熟幼虫处于无土环境时,仍会化蛹。
2.3.3 成虫 成虫白天多伏于柠条近中部的叶背面,遇惊扰则飞散至附近柠条丛中,具有趋光性。室内饲养条件下,成虫多在 19:00 点左右羽化。室内饲养了 500 只蛹,共羽化 374 只成虫,羽化率为 74.8%。在室内饲养过程中,还发现了成虫个体发育不完全的现象,如个体小,翅短小,不能展开等个体畸形的情况。从羽化的 374 只成虫中随机选出 200 只,其中雌性 60 只,雄性 140

只,雌雄比例约为 1:2.3。

2.4 自然天敌

在野外调查时发现,蠋蝽 *Arma custos*、日本弓背蚁 *Camponotus japonicus* 和沙泥蜂 *Ammophila* sp. 捕食四线奇尺蛾幼虫(图 1:J,K)。越冬蛹在土壤中可被一种白僵菌属 *Beauveria* sp. 真菌寄生(图 1:L)。

3 讨论

本文主要研究了四线奇尺蛾天津亚种的生活史及生活习性,明确了该害虫是危害柠条锦鸡儿的一种重要食叶害虫,幼虫在寄主整个生长季取食危害叶片,造成植株生长缓慢,并影响豆荚成熟。在宁夏罗山,该害虫以蛹在柠条根际周围表层至深层土中越冬,1 年发生 2 代,世代重叠明显。5 月中旬到 9 月下旬均可见成虫,越冬代成虫发生高峰期出现在 6 月中旬;第 1 代幼虫发生高峰期出现在 7 月上旬。

在调查区,从 5 月下旬到 9 月下旬都可以见到四线奇尺蛾天津亚种幼虫危害,世代重叠明显,可能是越冬代成虫羽化参差不齐造成的,进一步影响到后代发生期的差异。结合 2013 年和 2014 年调查的越冬蛹数量,推测该虫 2013 年的发生量明显大于 2014 年,出现害虫发生的大小年现象,引起这种现象的原因到底是该害虫自身的遗传特性,亦或环境因子是主因等问题还有待进一步研究。

本研究中,蠋蝽、弓背蚁和沙泥蜂是野外观察到的捕食性天敌,病原微生物也仅发现了一种虫草科真菌。因此,四线奇尺蛾各虫态的天敌种类及其效能是今后研究的重点,现已发现的天敌在今后的生物防控中应得到应用或保护。此外,在野外发现一只颜色很深,略带暗红色的老熟幼虫(图 1:M),带回室内后正常化蛹,但蛹体第 5 腹节腹面呈透明状(图 1:N),可见内部组织,并于 15 d 后在该处出现真菌感染,白色菌丝以第 5 腹节为中心向四周蔓延生长(图 1:O),经初步鉴定为白僵菌属 *Beauveria* sp.,但同时分离

出霉菌。以上现象中,非正常色幼虫及蛹体局部透明产生的原因以及蛹体表面霉菌是活体寄生还是伤口处腐生寄生及白僵菌具体种类等有待进一步研究确定。

除了四线奇尺蛾外,危害柠条的鳞翅目害虫还有白斑新灰蝶 *Neolycaena tengstroemi* Erschoff, 1874 和春尺蠖 *Apocheima cinerarius* (Erschoff, 1874)。白斑新灰蝶 1 年 1 代,以卵在枝条上越冬,4 月中下旬为幼虫发生高峰期,幼虫取食柠条花器和叶芽(高凯等,2017)。春尺蠖 1 年 1 代,以蛹在土壤中越冬,4 月下旬至 5 月上旬为幼虫发生高峰期(汪学俭和王辉锋,2014;卿薇等,2016),幼虫取食柠条叶片。以上 3 种柠条鳞翅目害虫在生态位上存在明显差异。从危害部位看,四线奇尺蛾和春尺蠖幼虫均取食叶片,而白斑新灰蝶幼虫取食花器或叶芽。四线奇尺蛾和春尺蠖幼虫的发生盛期有差异,前者明显迟于后者;此外四线奇尺蛾的蛹多出现在地表 10 cm 以内,而春尺蠖多在 20-30 cm 的土层中化蛹。以上三种害虫的生存策略和种间竞争关系仍需探讨。

致谢:中国科学院动物研究所薛大勇研究员鉴定四线奇尺蛾天津亚种,谨表谢忱!

参考文献 (References)

- Chang CY, Qin WC, Wang XP, Jia YX, 2016. Morphology and sex identification of pupa and adult on *Chiasmia saburraria richardsi*. *Plant Protection*, 42(2): 155-158. [常春燕, 秦伟春, 王新谱, 贾彦霞, 2016. 柠条重要害虫四线奇尺蛾天津亚种的蛹和成虫形态特征及性别鉴定. *植物保护*, 42(2): 155-158.]
- Gao K, Chang CY, Qin WC, Tian HG, Wang XP, 2017. Bionomics of *Neolycaena tengstroemi* (Erschoff, 1874) on *Caragana korshinskii*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 54(5): 845-85. [高凯, 常春燕, 秦伟春, 田会刚, 王新谱, 2017. 柠条重要害虫白斑新灰蝶的生物学特性. *应用昆虫学报*, 54(5): 845-850.]
- Gao GL, Ding GD, Zhao YY, Wu B, Zhang YQ, 2014. Fractal approach to estimating changes in soil properties following the

- establishment of *Caragana korshinskii* shelterbelts in Ningxia, NW China. *Ecological Indicators*, 43(3): 236–243.
- Luo YY, Li QF, Jin H, 2006. Survey of seed pest harm on *Caragana* and its influence on seed quality in Inner Mongolia. *Research of Soil and Water Conservation*, 13(4): 25–29. [罗于洋, 李青丰, 金花, 2006. 内蒙古自治区柠条种子害虫为害情况及其对柠条种子质量的影响. 水土保持研究, 13(4): 25–29.]
- Niu XW, 2003. Study on *Caragana*. Beijing: Science Press. 1–187. [牛西午, 2003. 柠条研究. 北京: 科学出版社. 1–187.]
- Qing W, Adil S, Yan WB, 2016. Bionomics of *Apocheima cinerarius* Erschoff. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(1): 174–184. [卿薇, 阿地力·沙塔尔, 闫文兵, 2016. 春尺蠖生物学特性研究. 应用昆虫学报, 53(1): 174–184.]
- Wang T, Li J, Zong S, 2010. Major insect pests and control strategies of *Caragana* spp. in west regions of China. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 26(5): 242–244. [王涛, 李建, 宗世祥, 2010. 中国西部地区柠条主要害虫及其控制策略. 中国农学通报, 26(5): 242–244.]
- Wang XJ, Wang HF, 2014. The literautre review of *Apocheima cinerarius* (Erschoff) which belong to wingless geometrid moths. *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 33(4): 84–88. [汪学俭, 王辉锋, 2014. 尺蛾科雌蛾无翅类群重要害虫春尺蠖的研究综述. 山地农业生物学报, 33(4): 84–88.]
- Xu XM, Dong YZ, 1997. A features of seed flora in the Da Luo Mountain nature reserve in the desert land of Ningxia. *Arid Zone Reseach*, 14(2): 19–24. [徐秀梅, 董玉芝, 1997. 宁夏大罗山自然保护区种子植物区系特征. 干旱区研究, 14(2): 19–24.]
- Yang CX, Gao LY, 2000. Investigation of insect resources of *Caragana korshinskii* in Ningxia. *Journal of Desert Reaearch*, 20(4): 461–468. [杨彩霞, 高立原, 2000. 宁夏固沙植物柠条昆虫资源的调查. 中国沙漠, 20(4): 461–468.]