

四川小金蝠蛾生物学特性研究^{*}

涂永勤^{**} 张德利 曾 伟 陈仕江

(重庆市中药研究院 重庆 400065)

摘 要 小金蝠蛾 *Hepialus xiaojinensis* Tu. 是小金县冬虫夏草主要寄主之一。在小金县海拔 3 850 m 的自然条件下,完成 1 代需要 4 年,以各龄幼虫休眠越冬。每年 5 月初—7 月上旬为蛹期。6 月中旬—7 月下旬为成虫期,成虫羽化时间多出现在 16:00—20:30,羽化当晚或次日交配,在 18:30 和 20:00 有 2 个交配高峰;交尾后 20 min 可产卵,以当晚至次日晨产卵最多,平均每雌产卵为 428 粒。6 月中旬至 8 月下旬为卵期。幼虫 6 龄,主要分布于 5 ~ 40 cm 的土层中;取食嵩草等植物的根或茎的幼嫩部分;最适宜生长的温度为 8 ~ 12℃,土壤含水量为 45% ~ 50%。在自然条件下,各虫态发育历期:卵期为 45 ~ 60 d;幼虫期 1 370 ~ 1 385 d,其中幼虫休眠期为 580 ~ 695 d;蛹期为 50 ~ 65 d;成虫期为 4 ~ 6 d。

关键词 小金蝠蛾,生活史,越冬,产卵,发育历期

Study on biological characteristic of *Hepialus xiaojinensis* in Sichuan

TU Yong-Qin^{**} ZHANG De-Li ZENG Wei CHEN Shi-Jiang

(Chongqing Academy of the Materia Medicine, Chongqing 400065, China)

Abstract *Hepialus xiaojinensis* Tu., the main host insect of *Cordyceps sinensis* in Xiaojin County, has one generation every four years at 3 850 m altitude under natural conditions and hibernates in the soil as larvae during winter. Pupae occurred from early May to early July each year. The adults occurred from middle June to late July. Adults usually emerged from 16:00 to 20:30. Adults mate on the same, or the next, day after emergence, and have two mating peaks at 18:30 and 20:00. Oviposition begins 20 minutes after mating. The average number of eggs laid by each female is 428. Eggs appeared from mid-June to late August. The larval stage has six instars. Larvae are generally distributed in the soil at a depth of from 5 to 40 cm, and feed on the tender parts of the roots and stems of plants such as *Kobresia* spp. The optimum temperature for larval growth is 8—12℃, and the optimum soil moisture is 45%—50%. Under natural conditions, developmental duration was 45—60 days for the egg stage, 1 370—1 385 days for the larval stage (including 580—695 days of dormancy), 50—65 days for the pupal stage and 4—6 days for the adult stage.

Key words *Hepialus xiaojinensis*, life cycle, winter inhibition, oviposition, developmental duration

冬虫夏草 (*Cordyceps*) 又名虫草,系我国特有名贵中药材,为麦角菌科冬虫夏草菌 *Cordyceps sinensis* (Berk.) Sacc 寄生在蝙蝠蛾科蝠蛾属昆虫幼虫的子座及幼虫尸体的复合体。具有补肺益肾、止咳、化痰和平喘之功效(国家药典委员会, 2005)。主要分布于西藏、青海、四川、云南、甘肃等省区海拔 3 600 ~ 5 200 m 的局部高山草甸地带(杨大荣等, 1996)。小金蝠蛾 *Hepialus xiaojinensis* Tu. 系鳞翅目 (Lepidoptera) 蝙蝠蛾科 (Hepialidae)

蝠蛾属 (*Hepialus*) 昆虫(涂永勤等, 2009), 是四川省阿坝藏族羌族自治州小金县冬虫夏草主要寄主昆虫。该种主要分布在金钏、小金县交界的空卡山海拔 3 000 ~ 4 800 m 的地区,所产冬虫夏草,体大质优,是我国最优良的冬虫夏草之一。作者于 2004—2008 年,从四川省阿坝藏族羌族自治州小金县崇德乡崇德牧场,将其引种到四川康定进行人工饲养。为了引种成功,对小金蝠蛾生物学特性进行较为系统的研究。目前,国内外尚未见有

^{*} 资助项目:重庆市卫生局项目(2009-2-67)、重庆市重大科技攻关项目-中药现代化专项(8926)。

^{**} E-mail: tusord@163.com

收稿日期: 2010-08-27, 接受日期: 2010-12-03

关该物种的生物学特性研究报道。

1 材料与方法

1.1 试验材料

小金蝠蛾 *Hepialus xiaojinensis* Tu. 虫源采自四川阿坝藏族羌族自治州小金县崇德乡崇德牧场海拔 4 200 ~ 4 800 m 冬虫夏草产区的高山草甸及矮小灌木丛的小金蝠蛾老熟幼虫、蛹, 以及人工饲养的幼虫和蛹。以卵、幼虫、蛹、成虫作为观察材料, 对小金蝠蛾各虫态的生物学特性进行观察研究。

1.2 实验方法

1.2.1 蛹的观察 在不同生态环境采挖老熟幼虫, 将其放养于饲养盒中饲养, 观察化蛹及活动情况。将初化的蛹置入 1 m × 1 m 白铁皮围制成的羽化区中, 每区放养嫩蛹 200 ~ 400 头, 其上用纱布罩盖, 保持土壤湿度, 直至蛹发育成熟羽化为成虫。观察蛹体表颜色变化及其在土中的活动情况, 记录蛹发育历期等。

1.2.2 成虫习性观察 以蛹为采集对象, 观察蛹在模拟自然条件下, 在羽化区的纱罩里或室内玻璃缸里及自然产地羽化为成虫以及成虫交尾、产卵等习性, 统计分析成虫羽化、交尾、产卵及其与环境因子的关系。

1.2.3 卵的观察 用体视镜分别观察卵的大小、重量、卵壳表面的构造和幼虫胚胎发育变化情况及其卵粒变色的过程, 以及在室内自然温度和控制温度下卵的发育进度。

1.2.4 幼虫的观察 在室内, 将初孵幼虫, 置于人工控制条件(14℃), 经过一定时间的饲养, 使其化蛹。观察幼虫脱皮次数、脱皮时间和各龄期幼虫发育历期。在野外, 将初孵化幼虫放入指定地点(4 m²), 定期调查幼虫生长及越冬休眠情况。

2 结果与分析

2.1 生活史

自然条件下, 小金蝠蛾完成 1 个世代需要 3 ~ 5 年的时间。蛹、成虫和卵 3 虫态在同一年内完成, 幼虫脱皮 5 次即 6 个龄期。一般在每年 5 月初—7 月上旬为蛹期, 6 月中旬—8 月初为成虫期, 成虫当即交配并产卵, 卵于 8 月中旬—9 月上旬孵化为幼虫, 11 月上中旬, 当温度下降至结冰点前

(约为 -5℃) 时, 以 2 龄(少数 1 龄) 幼虫在冻土下休眠越冬。以后 3 ~ 5 年内, 每年 4 月底或 5 月初, 幼虫开始取食活动, 10 月底—11 月上中旬以幼虫进行休眠越冬, 世代重叠, 越冬虫态为各个龄期的幼虫, 老熟幼虫于 5 月初—7 月上旬化蛹。小金蝠蛾幼虫发育与温度及海拔有关, 低海拔幼虫期为 3 年, 高海拔为 5 年。在 12 ~ 14℃ 控制温度下, 小金蝠蛾 1 周年即可完成一个生活周期。在小金崇德海拔 3 850 m 自然条件下, 小金蝠蛾 4 年完成 1 个世代, 其生活史见图 1。

2.2 生活习性

2.2.1 蛹 雌蛹肥大, 尾部钝圆, 体长 22.5 ~ 28.5 mm, 宽 5.2 ~ 5.8 mm。雄蛹瘦小, 尾部尖削, 体长 16.4 ~ 18.8 mm, 宽 4.4 ~ 4.9 mm(图版 I: F), 自然条件下, 老熟幼虫一般在 5 月上旬—7 月上旬为化蛹期。老熟幼虫化蛹前, 将原隧道打通至土表, 管口高于地表, 在隧道底部筑一土室, 部分结有薄茧。化蛹前, 老熟幼虫进入预蛹期, 约 3 ~ 5 d, 幼虫缩短呈纺锤型, 停止活动。化蛹时, 先从老熟幼虫胸部背面裂开, 30 ~ 40 min 后表皮脱掉, 初化蛹时, 蛹壳柔软, 白色, 1 ~ 2 d 后蛹壳变硬, 体色由淡黄、黄、褐色、棕色, 最后变为黑色, 当蛹壳及翅芽全部变深黑色时, 即将羽化。蛹的腹部有多轮棘状突起, 并可以伸缩移动和转动, 进入蛹期后, 蛹可借助腹部的移动和转动, 在原隧道中上下移动, 亦可随温度变化昼升夜降。遇惊扰时, 即可退入土室, 蜷缩在土室中。到羽化前能突破土室的上端, 形成蛹洞。蛹历期在自然界一般 50 ~ 65 d 左右。蛹的发育速率随温度高低而变(表 1)。

由表 1 可知, 当温度由 8℃ 升高到 16℃ 时, 蛹历期也由 49 d 缩短至 22 d。因此, 通过控制温度, 可使蛹期缩短或延长。当蛹长时间处于超过 20℃ 以上温度时, 不能正常羽化。在 28℃ 时, 3 ~ 5 d 蛹全部死亡。

2.2.2 成虫 成虫生活期短, 平均成活约 105 h, 最短为 60 h, 最长为 172 h(图版 I: A, B)。但在较高温度(28℃) 下, 成虫只能成活 24 ~ 36 h, 雌雄蛾寿命无明显差异。成虫不取食, 不饮水, 有微弱的趋光性。仅以交配、产卵行为为主。

羽化 小金蝠蛾成虫羽化初期为 6 月上旬, 高峰为 6 月中下旬, 末期在 8 月 10 日左右。羽化期 40 ~ 60 d, 但与当年气候变化相关, 随季节推迟

图 1 小金蝠蛾生活史
Fig. 1 Life cycle of *Hepialus xiaojinensis*

年 份	1-3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11-12 月
Year	Jan.-Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.-Dec.
	上中下	上中下	上中下	上中下	上中下	上中下	上中下	上中下	Nov.-Dec.
	F M L	F M L	F M L	F M L	F M L	F M L	F M L	F M L	
2004 年			△△△	△△△	△				
				++	+++	+			
				●●	●●●	●●●	●		
						①①	①①②	②②②	②
2005 年	②	②②②	②②③	③③③	③③③	③④④	④④④	④④④	④
2006 年	④	④④④	④⑤⑤	⑤⑤⑤	⑤⑤⑤	⑤⑤⑥	⑥⑥⑥	⑥⑥⑥	⑥
	⑥	⑥⑥⑥	⑥⑥	⑥⑥⑥	⑥⑥⑥	⑥⑥⑥	⑥⑥⑥	⑥⑥⑥	⑥
2007 年			△△△	△△△	△				
				+++	+++				
				●●	●●●	●●●	●		
						①①	①①②	②②②	②
	⑥	⑥⑥⑥	⑥						
2008 年			△△	△△△					
				+++	+++				
				●●	●●●	●●●	●		
						①①	①①②	②②②	②

注: — 预蛹 Pre-pupa; △ 蛹 Pupa; + 成虫 Adult; ● 卵 Egg; ○ 幼虫 (圆圈内数字表示龄数) Larva (Age circle the number of digits); ○ 越冬幼虫 Overwintering larvae pupa; F: 上旬 The first ten days of the month; M: 中旬 The middle ten days of the month; L: 下旬 The last ten days of the month.

而羽化期延后。成虫羽化时间从上午 10:00 开始,这时气温开始回升,有利于成虫羽化,直到 22:30 都有羽化的。但多数成虫羽化在 16:00—22:30 期间。羽化后 2~5 min 翅即完全伸展,刚刚羽化的雌蛾从尾部排泄白色分泌物。

交尾 成虫在原产地有 2 个交尾高峰(图版 I:C)。雌虫在 18:00 左右开始振翅并交尾,18:30 为第 1 个交尾高峰,19:00 结束。第 2 个高峰是从 19:30 左右开始振翅及交尾,20:00 左右为交尾高峰,20:35 后不再交尾,成虫不再活动,以后羽化的成虫次日完成交尾,成虫的活动随气温高低,有一定变化。晴天温度高活动强,交配率高,阴雨天

活动较弱,交配率低。雌蛾一般只交配 1 次,但如交尾不足 2 min 的雌蛾,可进行再交尾,雄蛾可进行第 2 次交尾。成虫在不受干扰下,交尾时间最长 187 min,最短 9 min,平均 56 min,如受干扰可提前结束交尾。

产卵 成虫在交尾结束后 20 min 左右,雌蛾便开始产卵,交尾当晚至次日清晨产卵最多,产卵可持续 4~5 d。每只雌蛾产卵最少 147 粒,最多 836 粒,平均产卵为 428 粒。交尾有促进产卵的作用,未交尾的蛾子亦可产卵,但量少,平均产卵 200 粒左右。

表 1 温度与蛹发育历期的关系

Table 1 The relationship between temperature and pupal development

处理温度(℃) Treatment temperature	8	10	12	14	16	20	24	28
发育历期(d) Developmental period	49	37.5	30.5	26	22	18	13	死亡
发育速率 Developmental rate	0.0204	0.0267	0.0328	0.0385	0.0455	—	—	—

2.2.3 卵 卵粒近长圆形(图版 I:D),大小 0.8 mm × 0.6 mm,1 000 粒卵重 250 ~ 270 mg,从产出到孵化有由白、淡黄、黄到黑的变色过程,全程约需 6 ~ 8 h,临孵时,卵变为暗褐色。但其中有部分

卵粒不变色,发育不全的卵不变色,且这部分卵不能孵化。卵期在 6 月中旬至 8 月下旬,约 70 d。在自然条件下,卵孵化为幼虫约需要 45 ~ 60 d,卵历期长短因温度高低而发生变化(表 2)。

表 2 温度与卵发育历期的关系*

Table 2 The relationship between temperature and egg development

处理温度(℃) Treatment temperature	8	10	12	14	16	20	24	28
发育历期(d) Developmental period	53	45	38	31	26	20	—	—
发育速率 Developmental rate	0.0189	0.0222	0.0263	0.0323	0.0385	—	—	—

* 相对湿度 100% 的保湿环境。

Moisturizing 100% relative humidity environment.

由表 2 可知,当温度从 8℃ 升高到 16℃ 时,卵发育历期从 53 d 降低为 26 d,温度越高卵的发育越快,卵历期越短。5℃ 以下低温,不利于卵的孵化,20℃ 以上高温,卵亦不能正常孵化,且孵化率极低(5% 以下),在 24℃ 以上时,卵不能孵化。在自然界,卵的孵化初期为 6 月中旬,盛期为 7 月下旬—8 月上中旬,末期为 9 月上旬。说明可以通过调控温度来控制卵的孵化进度。卵发育需要一定水分才能孵化,受精卵在人工保湿条件下,平均孵化率为 70% ~ 90% 左右。未交尾卵不能孵化,没有孤雌生殖现象。过去有研究认为虫草蝠蛾未交尾卵可以孵化,有孤雌生殖现象,这可能是由于个别交尾卵的混入。

2.2.4 幼虫 幼虫习性:通过体视镜观察,幼虫自破卵至出卵约需 1 ~ 3 min,平均 1.5 min(图版 I:E)。幼虫头部伸出后,随着幼虫爬动,虫体逐渐伸长,最后与卵壳脱离。刚孵出的幼虫体长 2 ~ 3 mm,体壁柔嫩、黄白色。初孵化幼虫,向四周爬行,寻找栖息场所。幼虫有吐丝结网习性,吐丝有利于幼虫

扩散。初蜕皮的幼虫,头壳乳白色,而后逐渐变为淡黄、黄、褐色、紫红色。蜕皮后的幼虫活动灵敏。冬季土壤冻结后,幼虫进入休眠状态,但在室内温暖条件下,幼虫可不休眠,在四川康定 12 月底(0℃ 左右)亦可取食活动。低龄幼虫体色黄白色或灰白色,幼虫体色随取食料的颜色而有所变化,老熟幼虫深黄色或金黄色;幼虫有假死性,4 龄后的幼虫有自残习性。每一次蜕皮前,幼虫体长明显缩短,蜕皮后,头壳猛增;老熟幼虫,体长 40 ~ 45 mm,头宽 4 ~ 4.3 mm,体长约为头宽的 10 倍,体重多在 820 ~ 1 050 mg 之间,最重达 1 580 mg。

幼虫发育历期:小金蝠蛾幼虫在康定基地(3 800 m)室内人工控制条件下(12 ~ 14℃),只需 1 年即可完成 1 个生活周期,幼虫蜕皮 5 次即 6 个龄期,且有世代重叠(表 3)。

由表 3 可知,小金蝠蛾幼虫随着龄期的增加,发育历期延长,从 1 龄的 30 ~ 35 d 延长至老熟幼虫的 68 ~ 75 d,一般 4 月中旬—5 月初化蛹,早于野外 10 ~ 20 d。在室内变温下(3 800 m),小金蝠

表 3 小金蝠蛾幼虫在 14℃ 恒温下各龄历期
Table 3 Larvae at 14℃ under constant duration of each age

虫龄 Instar	1 龄 1st instar	2 龄 2nd instar	3 龄 3rd instar	4 龄 4th instar	5 龄 5th instar	6 龄 6th instar
日期 Date	6 月 23 日— 7 月 25 日	7 月 28 日— 9 月 2 日	9 月 5 日— 10 月 10 日	10 月 15 日— 12 月 5 日	12 月 10 日— 2 月 15 日	2 月 20 日— 4 月 30 日
天数 Days	30—35 d	33—35 d	35—38 d	50—55 d	65—70 d	68—75 d

蛾生长 2 和 3 年都可化蛹。老熟幼虫如果接近 2 周年时不能化蛹,必须到 3 年才能化蛹,足足要多生长 1 年时间,其中缘由尚不清楚。在野外,小金蝠蛾需要 3~5 年才能完成其生活史。小金蝠蛾越冬虫态为各个龄期幼虫,新生代以 2 龄(少数 1 龄)幼虫休眠越冬。

幼虫的食性:小金蝠蛾是多食性昆虫,根据适生地样方调查,幼虫可取食多种植物的幼嫩部分。主要取食植物有:莎草科植物高山嵩草(*Kobresia pygmaea*)和黑褐穗嵩草(*Carex atrofusca* subsp. *minor*);禾本科植物冷地早熟禾(*Poa crymophila*)、马尔康早熟禾(*P. maerkangica*)和光柄野青茅(*Deyeuxia levipes*);毛茛科植物高原唐松草(*Thalictrum cultratum*)和芸香叶唐松草(*T. rutifolium*);芝菜科植物海韭菜(*Triglochin maritimum*);蔷薇科植物金露梅(*Potentilla fruticosa*)和川滇委陵菜(藏族人称人参果)(*P. fallens*);豆科植物多花黄芪(*Astragalus floridus*);蓼科植物圆穗蓼(*Polygonum sphaerostachyum*)、珠芽蓼(*P. viviparum*)、头花蓼(*P. capitatum*)和小大黄(*Rheum pumilum*);牻牛儿苗科植物老鹳草(*Geranium wilfordii*)、川西老鹳草(*G. orientali-tibeticum*);菊科植物川西小黄菊(*Pyrethrum tatsienense*)、柔软紫菀(*Aster flaccidus*)和火绒草(*Leonopodium pumilum*);唇形科植物独一味(*Lamiophlomis rotata*)、美花圆叶筋骨草(*Ajuga ovalifolia* Bur. et Franch. var. *calantha* (diels) C. Y. Wu et C. Chen),杜鹃花科植物毛蕊杜鹃(*Rhododendron websterianum*)、列香杜鹃(*R. anthopogonoides*)等植物根、茎的幼嫩部位。作者 2008 年在四川甘孜县、石渠县、青海玉树县、称多县、杂多县、达日县、玛沁县等地进行产地样方调查时,发现这些冬虫夏草主产地植被仍以嵩草、禾草、茅草和苔草为主,只是不同的种而已。通过人

工饲养,小金蝠蛾幼虫还可取食胡萝卜、红苕、山药、土豆、苹果、梨等果蔬植物。初孵幼虫活动在地表,喜取食根茎及根系入土浅的圆穗蓼、珠芽蓼等;随龄期增大,入土渐深,取食范围扩大,多取食根系入土深的茅草、嵩草、嵩草、禾草、毛蕊杜鹃、列香杜鹃等植物。

幼虫在土壤中的分布及活动:根据作者实地调查发现,小金蝠蛾主要分布在海拔 3 000~4 800 m 的地方,在当地退耕还林的地方都有分布。小金蝠蛾有呈核心分布的现象,常常大量集中分布在一定范围内,可能与雌蛾产卵相对集中有关。在土壤中,幼虫一般活动在 5~40 cm 土层中,以 10~15 cm 左右最多,并随地温的升降而上下迁移。每年 11 月份当地温降到 0℃ 以下,幼虫则在冻土层下,以各个龄期幼虫休眠越冬。次年 4 月初,随土壤解冻后,幼虫复苏取食,幼虫最适生长期为每年的 5—10 月间。但在室内饲养的幼虫,休眠期明显缩短,早春 3 月中旬开始取食活动,冬季 11 月底土壤冻结以前还可取食。

幼虫生长与环境的关系:温湿度对小金蝠蛾幼虫生长发育影响极大。幼虫在土壤含水量为 30%~60% 中能正常生长,最适宜生活的土壤含水量为 45%~50%。低于 20% 或高于 60%,对其生长不利。水分含量过低,幼虫易发生脱水而死亡;水分含量过高,蜕失去脆性,忍性增加致使幼虫脱皮困难而死亡,同时水分含量过高还易于发生各种病害,亦不利于幼虫生长。小金蝠蛾具有很强的耐寒能力。幼虫适宜生长温度为 0~14℃。在 0℃ 时,幼虫仍可进行取食活动,为其生长的最低温度。在 14℃ 时,幼虫能完成生活周期,但在恒温 17℃ 时,幼虫仅能生长到 3 龄或 4 龄即死亡,适宜生长的上限高温为 14℃,最适宜温度为 8~12℃。温度过低生长缓慢,如在 5℃ 时,要 5 年才能化蛹。在 40℃ 时,10 min 幼虫处于热昏迷状态,

在 45℃ 下, 幼虫 10 min 即可致死。

幼虫自然成活率: 经调查, 自然条件下, 小金蝠蛾从卵到蛹成活率仅为 8% ~ 15%。初孵幼虫极易死亡, 主要因为初孵幼虫寻找不到适宜的隐蔽处, 被阳光照射脱水而死亡, 或因寻找不到可供取食的食物而饿死, 或被雨水冲刷而死。定植后的幼虫, 活动能力强, 个体分散, 成活率较高。在室内因环境改变, 使初孵幼虫的成活率大为提高, 但亦因幼虫相对集中, 虫口密度大, 易于感染各种病害, 如幼虫期感染拟青霉菌引起大量死亡, 该病害是制约人工培植冬虫夏草产业化的最大障碍因子。作者通过多年研究, 可使病害的发生大大减轻, 在室内控制条件下, 小金蝠蛾从卵到蛹的成活率可达 30% ~ 45%。

3 讨论

与其他蝠蛾相比, 小金蝠蛾生物学有 2 个明显的特点: 其一, 小金蝠蛾发生较早, 一般在 6 月中下旬可见新生代卵, 8 月 10 日左右孵化为幼虫, 其他蝠蛾如贡嘎蝠蛾(黄天福等, 1992) 要在 7 月上旬才能见卵, 8 月底孵化为幼虫, 此时正是幼虫生长的最好季节, 发生早, 越冬前生长时间长, 幼虫成活率就高。其二, 小金蝠蛾分布海拔低, 在

3 000 m 退耕还林都有分布, 并偶有冬虫夏草长出。此外, 在食性方面, 小金蝠蛾与其他蝠蛾没有大的差异, 适生地植被都是以蒿草、禾草、茅草和藁草为主(马启龙等, 1995; 尹定华等, 2004; 徐海峰, 2004)。但哪些植物对蝙蝠蛾幼虫的生长发育更有利, 寄主取食不同植物与药材药效有何关系, 有待深入研究。

参考文献(References)

- 国家药典委员会, 2005. 中华人民共和国《药典》(一部). 2005 年版. 北京: 化学工业出版社. 75—76.
- 黄天福, 付善全, 罗庆明, 1992. 康定贡嘎蝠蛾的生物学特性. 昆虫学报, 35(2): 250—253.
- 马启龙, 王忠, 马福全, 1995. 甘肃虫草主要寄主蝠蛾生物学特性研究. 甘肃农业科技, (12): 36—37.
- 涂永勤, 马开森, 张德利, 2009. 蝠蛾属一新种记述(鳞翅目—蝙蝠蛾科). 昆虫分类学报, 31(2): 123—126.
- 徐海峰, 2004. 青海拉脊蝠蛾的生物学特性观察研究. 四川草原(9): 4—5.
- 杨大荣, 李朝达, 舒畅, 杨跃雄, 1996. 中国蝠蛾属昆虫的种类和地理分布研究. 昆虫学报, 39(4): 413—422.
- 尹定华, 陈仕江, 李黎, 扎西, 周秀琳, 孙建华, 2004. 西藏冬虫夏草寄主比如蝠蛾生物学特性的研究. 特产研究, 26(2): 1—5.

图版 I 小金蝠蛾生活史

Plate I Life cycle of *Hepialus xiaojinensis*

A. 雌成虫 ♀ Female adult; B. 雄成虫 ♂ Male adult; C. 雌雄交尾 Male and female mating; D. 卵 Egg; E. 幼虫 Larva; F. 蛹 Pupa.