

不同时期青杨楔天牛生理活性及 交配特征的研究*

王海香^{1**} 陶 敏¹ 姬凯茜¹ 郝文贵² 王宏伟¹

(1. 山西农业大学林学院, 太谷 030801; 2. 金沙滩林场, 怀仁 038300)

摘 要 【目的】为了更好地掌握青杨楔天牛 *Saperda populnea* Linnaeus 的生物学特性和有效地提高交配繁殖试验效率, 本文研究了青杨楔天牛的生理活性、交配行为, 并探究触角的完整性与天牛交配率的关系。【方法】本试验于适宜交配期(5月)和模拟交配期(9月)两个时期, 采用颜色标记法研究青杨楔天牛的性成熟时间, 采用木楔饲养法研究观察青杨楔天牛交配行为。【结果】适宜交配期的青杨楔天牛存活率低, 初羽化成虫存在先假死后复苏之后活跃的现象; 雌成虫性成熟羽化日龄为2d, 雄成虫为3d; 交配活跃, 有交配趋势的29.16%, 成功率约为22.18%。模拟交配期初羽化成虫活跃性较高; 雌雄性成熟的羽化日龄均为2d; 有交配趋势的16.55%, 成功率8.27%。【结论】在模拟交配期无法展开青杨楔天牛交配繁殖实验研究。触角的完整性对青杨楔天牛交配成功率无明显影响。

关键词 青杨楔天牛, 交配行为, 交配率

Seasonal differences in the physiological activity and mating behaviour of *Saperda populnea* Linnaeus

WANG Hai-Xiang^{1**} TAO Min¹ JI Kai-Xi¹ HAO Wen-Gui² WANG Hong-Wei¹

(1. College of Forestry, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China; 2. Jinshatan Forest Farm, Huaren 038300, China)

Abstract 【Objectives】To determine the biological characteristics of *Saperda populnea* Linnaeus and enhance the breeding efficiency of this species. The physiological activity and mating behavior of *S. populnea* were studied, including the relationship between antennae and mating rate. 【Methods】Sexual maturation time was studied by color-marking individuals, and mating behavior was studied using the basswood feeding method in natural (May), and simulated (September), mating seasons. 【Results】The survival rate in the natural mating season was low. Individuals go into torpor after emergence before reviving and becoming active. The age of sexual maturity after the eclosion of female adults was 2 d, and that of male adults was 3d. 29.16% pairs engaged in mating activity with a success rate of about 22.18%. In the simulated mating season, the activity of the first generation adults was higher, and the age of sexual maturity after the eclosion of male and female adults was 2 d. 16.55% pairs engaged in mating activity with a success rate of about 8.27%. 【Conclusion】It was not possible to perform a complete the study of the breeding behavior of *S. populnea* in a simulated mating season.

Key words *Saperda populnea*, mating behavior, mating rate

青杨楔天牛 *Saperda populnea* Linnaeus 是国内外杨柳科植物重要的枝梢和蛀干害虫, 以幼虫蛀入枝条危害, 被害寄主呈虫瘿状, 虫瘿会阻碍养分运输, 常使枝梢干枯, 严重时影响树木成材 (Plavilshnikov, 1955; 刘娥和李成德, 2009)。

天牛以幼虫蛀干危害隐蔽, 成虫一般暴露繁殖后代, 因而成虫暴露活动期是控制天牛种群数量进行防治的关键时期 (Allison *et al.*, 2001)。青杨楔天牛成虫暴露期的生物学特性与其种群控制密切相关, 目前国内外科学工作者已研究了青杨

*资助项目 Supported projects: 国家自然科学基金项目 (31100483); 山西省自然科学基金 (2012021027-4)

**通讯作者 Corresponding author, E-mail: whx25@126.com

收稿日期 Received: 2016-09-30, 接受日期 Accepted: 2017-05-25

楔天牛生物学习性、分布型、生殖行为及基本防治等内容(张晓军等, 2004; 李桂如, 2007; 李永福等, 2015), 但对该成虫的生存状态、交配状态、交配成功率、性成熟周期以及触角对交配成功率的影响暂无详细报道。为了掌握更多有关青杨楔天牛成虫的繁殖生物学特性, 进行成虫暴露期的防治工作, 本研究假设具有相同温湿度条件的秋季适合青杨楔天牛交配, 这样既可有效地提高试验效率, 又能探寻青杨楔天牛成虫不同时期室内生物活性和交配行为。充分掌握青杨楔天牛生殖行为活动规律, 就能为探索其有效的控制技术和策略提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

青杨楔天牛虫瘿由山西省朔州市金沙滩林场提供, 从 2015 年 4—9 月间 4 冷藏于山西农业大学森林保护实验室冷藏柜中, 待用。2015 年 4 月 20 日将青杨楔天牛的虫瘿枝条插入含湿润沙土的培养盒中, 外罩 24 目纱网, 置于培养箱(温度 26 , 相对湿度 40%~70%, 24 h 光照)中培养, 每日早晚各喷一次清水, 保持枝条湿润, 直至青杨楔天牛羽化。

1.2 实验方法

1.2.1 交配行为观察 采用木椴饲养法研究。选择直径为 20 cm 培养皿, 随机放入 3 对青杨楔天牛雌雄成虫, 培养皿内放入新鲜的 1~3 年生带杨树叶片的枝条, 叶片每隔 1 d 更换 1 次。室内保持与室外温度、湿度、光线一致, 实验时间为 8:00—20:00, 12 h 为一个周期。每隔 2 h 记录青杨楔天牛生存状态、交配时的羽化日龄、交配的行为过程、交配时触角完整度等。实验以 25 d 连续试验累计记作重复。

1.2.2 青杨楔天牛性成熟期观测 采用颜色标记法观测。青杨楔天牛羽化后, 挑选出健康活泼的雌、雄成虫, 按照羽化时间分别对其鞘翅进行标记。其标记方法见表 1, 标记的雌雄成虫羽化期分为 1、2、3、4、5、6、6 d 以上, 分为雌雄各 7 种羽化日龄。

表 1 青杨楔天牛羽化日龄的标记方法
Table1 Notation method of emergency days of *Saperda populnea*

龄期 Instar	左翅 Left wing	右翅 Right wing
1 d 羽化成虫 1-day-old emerged adult	白色 White	
2 d 羽化成虫 2-day-old emerged adult	红色 Red	
3 d 羽化成虫 3-day-old emerged adult	蓝色 Blue	
4 d 羽化成虫 4-day-old emerged adult	黄色 Yellow	
5 d 羽化成虫 5-day-old emerged adult		白色 White
6 d 羽化成虫 6-day-old emerged adult		红色 Red
>6 d 羽化成虫 >6-day-old emerged adult		蓝色 Blue
交配完成及刻槽后雌虫 Mated or grooved female adult		黄色 Yellow

将表 1 中 7 种羽化日龄雌雄虫进行配对, 共 49 种组合, 观测各组合中青杨楔天牛成虫交配特征。每组合有 3 对雌雄成虫置于直径 20 cm 的培养皿, 用新鲜的带杨树叶片的枝条饲喂青杨楔天牛, 每日换新鲜枝叶补充营养, 观察成虫交配行为。交配时以雄成虫将白色体液输入雌成虫, 输精成功才是交配成功, 此时记作性成熟(罗亚萍等, 2012; 李永福等, 2015)。

1.2.3 不同时期青杨楔天牛的交配率 选择触角完整、健康活跃的雌雄成虫, 观察它们的求偶、交配能力。适宜交配期指青杨楔天牛在自然界正常交配产卵的时间, 在华北地区一般是 5 月中下旬, 本试验指 2015 年 5 月 5 日至 5 月 25 日。交配高峰期是指在适宜交配期交配率大于 30% 的 10 d 时间。模拟交配期指与适宜交配期具有相似的交配温度、光照的秋季时期, 在华北地区一般是 9 月上中旬, 本试验指 2015 年 9 月 5 日至 9 月 25 日。交配率是指将性成熟的的天牛自由配对构成总配对数, 实验过程中有交配趋势配对数占总配对数的比例, 包括交配成功率和交配失败率。日交配率指青杨楔天牛在适宜交配期内每日的交配率。

1.2.4 青杨楔天牛触角完整度与交配率的关系
采用木楔饲养法进行研究，方法同 1.2.1。
本试验设置 4 个处理见表 2。

表 2 实验处理设计
Table 2 Treatment design

处理组 Treatments	雌 Female	雄♂Male
处理 1 Treatment 1	完整 Complete	完整 Complete
处理 2 Treatment 2	完整 Complete	损伤 Damaged
处理 3 Treatment 3	损伤 Damaged	完整 Complete
处理 4 Treatment 4	损伤 Damaged	损伤 Damaged

本试验将两对触角完整且外观无损伤的触角定义为完整触角，而将任一触角外观损伤、仅有一个触角、无触角 3 种情况都定义为损伤触角。

1.3 数据分析

实验所得数据均采用 SPSS 19.0 进行统计分析，采用 Duncan’s 多重比较法分析交配率差异，采用卡方检验分析触角完整度对交配影响的差异性。

2 结果与分析

2.1 不同时期青杨楔天牛成虫的繁殖生理活性

在适宜交配期，初羽化的青杨楔天牛成虫活跃性较低，部分成虫呈现假死现象（指天牛六足蜷缩不动，呈现假死状态，若触碰其身体，足会伸展），羽化 2 d 后成虫似复苏开始活跃；部分成虫由假死状态转为死亡状态，死亡率约 50%。成虫存活时间为 7~15 d。青杨楔天牛交配活跃，以雌雄（♀-♂）交配为主，零星发现雌雌（♀-♀）交配、雄雄（♂-♂）交配、三重交配等异常交配现象。

在模拟交配期，初羽化成虫的活跃性较适宜交配期的高，几乎没有假死现象，羽化 2 d 后成虫活跃性降低。成虫生存周期缩短，大概 5~10 d。青杨楔天牛交配并不活跃，两时期的交配过程基本相同，但不再出现异常交配现象。

2.2 青杨楔天牛性成熟的羽化日龄

不同羽化日龄青杨楔天牛的交配现象如表 3 所示。在适宜交配期，青杨楔天牛雌虫羽化 2 d 开始存在交配现象，雄成虫在羽化 3 d 开始存在交配现象。在模拟交配期，青杨楔天牛雌雄成虫均于羽化 2 d 时存在交配现象。实验中观察到有交配经历雌雄成虫比未有交配经历的具有更高的交配成功率。

表 3 青杨楔天牛具有交配行为的羽化日龄
Table 3 Emergence day of *Saperda populnea* on mating behavior

雄成虫 Male adult	雌成虫 Feamale adult						刻槽后 Groove d
	2 d	3 d	4 d	5 d	6 d	>6 d	
2 d	±						
3 d	+	+ ±					±
4 d	+	+ ±	+ ±				
5 d	+	+	+ ±	+ ±			±
6 d	+	+	+ ±	+	+ ±		+
>6 d	+		+	+	+	+	+
交配后 Mated	+	+	+ ±			+	+ ±

+ 代表适宜交配期有交配现象；±代表模拟适宜交配期有交配现象；空白代表该试验设置了相应的雌雄配对情况，还未观测到交配现象，需要完善。

The mating phenomenon is recorded by plus sign (+) in the suitable mating season; The mating phenomenon is recorded by plus and minus sign (±) in the simulated mating season; Blank form represents the trial setting of the corresponding pairing, and mating phenomenon is not observed and needed to be improved.

2.3 不同时期的青杨楔天牛交配率

不同交配期青杨楔天牛交配情况并不相同。在适宜交配期，共有 878 对青杨楔天牛雌雄成虫配对，其中有交配趋势的青杨楔天牛配对数占总配对的 29.16%（256 对），交配成功的占总配对的 14.24%（125 对）。在交配高峰期，共有 415 对雌雄成虫配对，其中有交配趋势的占 46.27%（192 对），交配成功的占 21.45%（89 对）。在模拟交配期，共有 233 对雌雄成虫配对，有交配

趋势的占 16.55% (46 对), 交配成功的占 8.27% (23 对)。

不同交配期青杨楔天牛日均交配率见表 4。

在适宜交配期, 有交配趋势的占总配对的 27.92%, 交配成功的占总配对的 14.32%。在交配高峰期, 有交配趋势的占 45.86%, 交配成功的占 22.18%。在模拟交配期, 有交配趋势的占 18.12%, 交配成功的占 8.68%。

表 4 不同交配期青杨楔天牛日交配率 (%)
Table 4 Daily mating rate with different mating *Saperda populnea* (%)

时期 Period	成功 (%±SE) Success		未成功 (%±SE) Failure		交配趋势 (%±SE) Mating tendency
	♀---♂	♀---♂	♀----♀	♂---♂	
交配高峰期 Mating peak	22.18±2.11a	20.57±3.62a	0.44±0.44	2.67±0.77	45.86±4.12a
适宜交配期 Suitable mating season	14.32±1.91b	11.90±2.33b	0.19±0.19	1.50±0.43	27.92±3.92b
模拟交配期 Simulated mating season	8.68±2.64b	9.45±2.2b	-	-	18.12±3.47b
P 值 P value	0.003	0.037	-	-	0.001
F 值 F value	6.644	3.542	-	-	8.818

数据后标有不同字母表示差异显著 ($P<0.05$, Duncan’s 多重分析法)
Data followed by the different letters indicate significantly different at 0.05 level by Duncan’s multiple range test.

交配高峰期在交配趋势、交配成功率 ($P=0.003$)、交配失败率 ($P=0.037$) 均明显高于整个适宜交配期。适宜交配期的青杨楔天牛有交配趋势的比率 (27.92%) 高于模拟交配期 (18.12%)。

2.4 触角完整度对青杨楔天牛交配率的影响

从表 5 可以看出, 触角完整度对青杨楔天牛交配率的影响, 具有完整触角的青杨楔天牛在两个时期的总交配成功率 47.49%, 损伤触角的为 52.51%, 两种情况下交配成功率间无显著差异

($P=0.56>0.05$); 具有完整触角的交配失败率 45.81%, 损伤触角的为 54.19%, 两种情况交配失败率间也无显著差异 ($P=0.41>0.05$)。实验数据表明, 完整触角和损伤触角对青杨楔天牛成虫交配成功率无明显影响。

3 讨论

3.1 不同时期青杨楔天牛生理活性的差异

青杨楔天牛成虫在适宜交配期内 (4—6 月) 和模拟交配期内 (9—10 月) 活跃性存在差异, 前者初期假死后期活跃, 交配率高; 后者羽化初期活跃性高, 交配率低。这两个时期的青杨楔天牛虫瘿来源相同, 同一时间在相同条件下保存, 但保存时间长短不同, 模拟交配期比适宜交配期保存时间较长。在模拟交配期, 发育不良的青杨楔天牛营养消耗殆尽, 导致不能正常发育和羽化, 生长健壮且营养充足的青杨楔天牛顺利羽化, 羽化时表现为群体活跃。产生这种现象的原因可能在于, 成虫羽化后取食小叶杨、毛白杨寄主植物的次生代谢物含量在春秋两个时期不同。次生代谢物是植物中一大类对于细胞生命活动

表 5 不同完整度触角青杨楔天牛的交配率 (%)
Table 5 Mating rate of different state of the antennae of *Saperda populnea* (%)

触角状态 Antenna state	交配率 Mating rate		P 值 P value
	成功 (%±SE) Success	未成功 (%±SE) Failure	
完整触角 Complete antenna	47.49±6.01	45.81±7.12	0.59
损伤触角 Damaged antenna	52.51±6.01	54.19±7.12	0.86
P 值 P value	0.56	0.41	-

卡方检验 $P<0.05$ 存在差异显著性。Chi square test indicates significant difference at $P<0.05$ level.

或植物生长发育正常进行并非必需的小分子有机化合物 (Gershenzon, 1984), 特别是其中的酚类和单宁等物质的含量对昆虫具有忌避或拒食行为等特征 (李春明, 2007a, 2007b; 王聪慧等, 2015), 这对于天牛科昆虫具有显著影响 (孙萍等, 2008)。随着生长季节的变化, 这些物质的含量也会发生显著的变化 (李春明, 2007a)。青杨楔天牛有羽化后取食寄主的习性, 春秋两个时期寄主体内次生代谢物水平存在差异, 不同代谢物的营养物质, 可能导致青杨楔天牛雌雄虫内分泌活性存在差异, 决定着表现出不同的行为差异。另外, 两时期环境因子存在差异。任何一种环境因子对于生物的生长发育过程存在重要的生态作用, 且环境因子的改变都会对其造成一定的影响 (朱锦茹等, 2001; 王小平等, 2004)。尽管两个时期内的气候特征相似, 试验时保证两时期温度和湿度一致, 但两个时期的影响生物发育的非生物因子还是存在, 如光照作为重要的环境因子, 在实验过程中是无法精确控制。

3.2 青杨楔天牛的交配现象与生殖进化

青杨楔天牛羽化期存在交配高峰期, 在交配高峰期交配成功率并不是很高, 这使得青杨楔天牛种群的繁衍并不容易成功, 青杨楔天牛可能进行生殖进化来提高它的适应性。

本实验中发现青杨楔天牛雄虫触角探寻雌虫并进行交流, 继而开始交配, 这与郭能伟等 (2015) 报道的巨瘤天牛交配行为一致。本试验结果与课题组之前的研究结果存在差异, 李永福等 (2015) 指出, 在林间模拟养虫笼内, 青杨楔天牛雌虫靠近并吸引雄虫注意, 而后雄虫抱住雌虫, 产生交配行为。研究已经证实天牛存在长距离信息素、短距离性信息素和接触性信息素 (江望锦等, 2005)。林间模拟养虫笼中雄成虫散发远距离性信息素, 吸引雌虫靠近, 完成交配行为; 本试验在培养皿内完成, 雄虫可以通过短距离性信息素和接触性信息素吸引, 从而完成交配行为。可见青杨楔天牛采用多样化的性信息素散发方式实现生殖适应性进化。

青杨楔天牛通过特殊生物学特性提高其生

殖适应性进化。青杨楔天牛在华北地区通常在下午 17:00—18:00 存在明显的交配高峰期, 在阴雨天气前也存在明显的交配高峰期。青杨楔天牛适应了相应的气候条件, 通过温度和气压等预知环境恶化, 进行恶化环境前生物种群的保留, 也是一种繁衍种群的本能, 生物生殖进化的表现。

昆虫感受器类型或变异可能是昆虫为适应自身生活环境所产生的进化现象 (陈湖海和康乐, 1998)。青杨楔天牛提高其生殖进适应性化也表现在生理结构上。触角的完整度并不会明显影响成虫交配成功率, 原因之一魏建荣等 (2013) 认为天牛感受器类型少, 数量少, 不同感受器兼具不同功能, 青杨楔天牛的嗅觉感受器在触角鞭节上分布广泛, 即使损伤了, 未损伤部位的感受器同样会承担着青杨楔天牛对信息素的反应, 从而不影响天牛的信息交流。另外一种原因是除触角外, 青杨楔天牛采用下唇须、下颚须、跗节进行交流, 这也是许多昆虫具有嗅觉感器的部位 (江望锦等, 2005), 这些感器与天牛取食、交配、产卵等活动关系密切, 在桑天牛 (郭丽, 2006)、松墨天牛 (江望锦, 2005)、光肩星天牛 (李建光, 2001) 等已得到验证。

参考文献 (References)

- Allsion JD, Borden JH, McIntosh RL, de Goot P, Gries R, 2001. Kairomonal response by four *Monochamus* species (Coleoptera: Cerambycidae) to bark beetle pheromones. *Journal of Chemical Ecology*, 27(4): 633–646.
- Chen HH, Kang L, 1998. Antennal sensilla of grasshoppers in relation to ecological factors. *Chinese Journal of Zoology*, (3): 47–50. [陈湖海, 康乐, 1998. 蝗虫触角感受器及其生态学意义. *动物学杂志*, 33 (3): 47–50.]
- Gershenzon J, 1984. Changes in the Levels of Plant Secondary Metabolites under Water and Nutrient Stress. New York: Plenum Press. 273–320.
- Guo L, 2006. Research on incentive mechanism of mulberry to *Apriona germari*. Master dissertation. Baoding: Agricultural University of Hebei. [郭丽, 2006. 桑树对桑天牛引诱机制的研究. 硕士学位论文. 保定: 河北农业大学.]
- Guo NW, Xie GL, Wang WK, LinYP, 2015. Preliminary observation on reproductive behavior of *Morimospasma paradoxum* Ganglbauer, 1890. *Huibe Agricultural Science*, 54(6): 1368–

1371. [郭能伟, 谢广林, 王文凯, 林亚平, 2015. 巨瘤天牛生殖行为初步观察. 湖北农业科学, 54(6): 1368–1371.]
- Jiang WJ, Ji BZ, Liu SW, Song J, 2005. Advances in the studies on semiochemicals and olfactory receptor mechanism in adults of cerambycid beetles. *Acta Entomologica Sinica*, (3): 427–436. [江望锦, 嵇保中, 刘曙雯, 宋杰, 2005. 天牛成虫信息素及嗅觉感受机制研究进展. 昆虫学报, 48(3): 427–436.]
- Jiang WJ, 2005. Preliminary studies on chemical information communication mechanism between *Monochamus alternatus* Hop and host plants. Master dissertation. Nanjing: Nanjing Forestry University. [江望锦, 2005. 松墨天牛成虫与寄主间化学信息联系机制的初步研究. 硕士学位论文. 南京: 南京林业大学.]
- Li CM, Wang Y, Yu WX, 2007b. Change of condensed tannins in poplar. *Forestry Science & Technology*, 32(5): 17–18. [李春明, 王洋, 于文喜, 2007b. 杨树中缩合单宁含量的变化. 林业科技, 32(5): 17–18.]
- Li CN, 2007a. Studies on seasonal dynamics of phenolic compounds in poplar. Haerbin: Northeast Forestry University. Master dissertation. Haerbin: Northeast Forestry University. [李春明, 2007a. 杨树中酚类物质含量季节动态的研究. 硕士学位论文. 哈尔滨: 东北林业大学.]
- Li GR, 2007. Occurrence and forecast of *Saperda populnea* L. *Forestry of Shanxi*, (5): 37–38. [李桂如, 2007. 论青杨楔天牛发生规律及预测预报. 山西林业, (5): 37–38.]
- Li JG, 2001. Behavioral responses and mechanism of *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) to host volatile compounds. Master dissertation. Beijing: Beijing Forestry University. [李建光, 2001. 光肩星天牛对寄主植物挥发性物质的行为反应及作用机理的研究. 博士学位论文. 北京: 北京林业大学.]
- Li RF, Dong DB, Guo KK, Deng CP, Wang HX, 2015. Mating, incision and oviposition of *Saperda populnea* L. *Forest Pest and Disease*, (3): 27–29. [李永福, 董德北, 郭康康, 邓彩萍, 王海香, 2015. 青杨楔天牛成虫交配刻槽产卵习性初步研究. 中国森林病虫, (3): 27–29.]
- Liu E, Li CD, 2009. Pest risk analysis for *Saperda populnea* L. *Forestry Science and Technology*, 23(2): 70–72. [刘娥, 李成德, 2009. 青杨楔天牛危险性分析. 林业科技开发, 23(2): 70–72.]
- Luo YP, Xu HC, Meng JG, Fan JT, 2012. Mating behavior and characteristics of *Monochamus alternatus*. *Journal of Zhejiang A & F University*, 29(5): 795–798. [罗亚萍, 徐华潮, 孟俊国, 樊建庭, 2012. 松墨天牛交配行为及其规律初步研究. 浙江农林大学学报, 29(5): 795–798.]
- Plavilshnikov NN, 1955. Cerambycidae// Pavlovskii EN (ed.). *Forest Pests*. Part 2 (in Russian). Moscow: Academy of Science Publish. 493–546.
- Sun P, Guo SP, Li HX, 2008. Relationship between Tannin content of poplar and damage of *Saperda populnea* L. *Journal of Northeast Forestry University*, 36(5): 50–52. [孙萍, 郭树平, 李海霞, 2008. 杨树单宁含量与青杨楔天牛危害的关系. 东北林业大学学报, 36(5): 50–52.]
- Wang CH, Zhang J, Xie ZC, Wang JG, Mao H, Zhao Z, 2015. This insect attack induced different cultivars *Populus* secondary metabolites seasonal variation. *Journal of Jilin Forestry Science and Technology*, 44(3): 14–20. [王聪慧, 张健, 谢振才, 王建国, 毛赫, 赵直, 2015. 虫害诱导的杨树不同品种次生代谢产物季节变化规律. 吉林林业科技, 44(3): 14–20.]
- Wang XP, Xue FS, Hua A, You LS, 2004. Influences of food on insect diapause and post-diapause development. *Acta Agriculturae University Jiangxiensis*, 26(1): 10–16. [王小平, 薛芳森, 华爱, 游兰韶, 2004. 食料因子对昆虫滞育及滞育后发育的影响. 江西农业大学学报, 26(1): 10–16.]
- Zhang XJ, Gao CQ, Sun SH, Song LW, 2004. Research on biology and occurrence disciplinarian of *Saperda populnea* L. *Jilin Forestry Science and Technology*, 33(6): 35–38. [张晓军, 高长启, 孙守慧, 宋丽文, 2004. 青杨楔天牛生物学及发生规律的研究. 吉林林业科技, 33(6): 35–38.]
- Zhu JR, Cai XM, He ZH, 2001. Effect of temperature and light on growth of *Monochamus alternatus*. *Journal of Zhejiang Forestry Science & Technology*, 21(4): 18–20. [朱锦茹, 柴希民, 何志华, 2001. 温度和光照对松褐天牛生长的影响. 浙江林业科技, 21(4): 18–20.]
- Wei JR, Ding BF, Tang YL, Li XM, 2013. Morphology and distribution of the antennal sensilla of adult *Massicus raddei* (Blessig) (Coleoptera: Cerambycidae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(5): 1289–1294. [魏建荣, 丁保福, 唐艳龙, 李秀敏, 2013. 栗山天牛触角感受器形态与分布观察. 应用昆虫学报, 50(5): 1289–1294.]