

DOI: 10.3969/j.issn.2095-3704.2012.01.017

# 桑天牛对不同补充营养材料及环境条件的行为响应

廖为财, 魏洪义, 王广利\*

(江西农业大学 农学院, 江西 南昌 330045)

**摘要:** 为明确桑天牛寄主选择行为策略及不同环境条件对其繁殖行为的影响, 在室内选择和非选择性条件下测试了桑天牛对不同补充营养材料的行为响应, 在人工模拟环境条件下观察桑天牛交配行为和产卵量的变化。结果表明, 桑天牛在选择性条件下取食量以构树最多, 单头雌虫总产卵量以杨树最高, 卵孵化率在不同补充营养材料之间无显著差异; 非选择性条件下取食量以桑树最多, 而构树上着卵量达最高, 桑树和杨树次之, 对乌桕和苦楝的取食和产卵选择极少。卵孵化率在构树、桑树和杨树之间无显著差异。以桑树和构树为补充营养材料的桑天牛成虫寿命最长。桑天牛成虫交配行为节律表现出 19:00-24:00 及 08:00 左右是其交配行为高峰期。在人工模拟室外环境条件下, 确定了桑天牛交配和产卵行为活性最佳环境条件为温度 36℃, 相对湿度 40%~50%, 光照时间 8 h。

**关键词:** 桑天牛; 补充营养; 环境条件; 行为反应

中图分类号: S888.82<sup>+</sup>9

文献标志码: A

文章编号: 2095-3704 (2012) 01-0078-07

## Behavioral Responses of *Apriona germari* to Different Supplementary Nutrition Materials and Environmental Conditions

LIAO Wei-cai, WEI Hong-yi, WANG Guang-li\*

(College of Agronomy, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

**Abstract:** To clear the host selection strategies for *Apriona germari* and influence of environmental conditions on their reproductive behavior, the behavioral responses to different supplementary nutrition materials were tested indoor under selective and nonselective conditions, and changes of mating behavior and oviposition were observed in the artificial environmental conditions. The results revealed that the feeding area on *Broussonetia papyrifera* was the maximum by *A. germari* under selective conditions, the total oviposition for single female was the highest on poplars, and no significant difference was showed on the hatching rate of eggs among different supplementary nutrition materials. However, the feeding area on mulberry was the most under non-selective conditions, but eggs produced on *Broussonetia papyrifera* reached the highest, and those on mulberries and poplars was secondary, while the feeding and oviposition on *Sapium sebiferum* and *Melia azedarach* were rare. There was no obvious difference at the egg hatching rates among *Broussonetia papyrifera*, mulberries and poplars. The longevity of *A. germari* adults feeding on mulberries and *Broussonetia papyrifera* was the longest. The activity rhythms of *A. germari* adults showed that the peak of their mating behaviors occurred at 7: 00-9: 00 pm and 8: 00am or so. In the artificial simulation of outdoor environmental conditions, the optimal environmental conditions for mating and oviposition behavior of *A. germari* was the temperature of 36

收稿日期: 2012-03-01

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31060116)、江西省科技支撑计划项目 (2010BNA06500) 和江西省教育厅青年科学基金项目 (GJJ10105)

作者简介: 廖为财, 男, 硕士生, 从事昆虫化学生态学和害虫综合治理研究。\* 通信作者: 王广利, 女, 讲师, 博士, 主要从事昆虫化学生态学和害虫综合治理研究, E-mail: wgl-2002@126.com。

degrees, relative humidity of 40% ~ 50% and illumination time of 8h.

**Key words:** *Apriona germari*; supplementary nutrition, environmental conditions; behavioral response

桑天牛(*Apriona germari*)是一种食性杂、危害重的鞘翅目重要蛀干害虫之一,其成虫具有轮换寄主的特点,在桑科植物如桑树(*Morus alba*)、构树(*Broussonetia papyrifera*)上取食补充营养后,迁飞到杨树(*Populus*)或多种果树上刻槽产卵,幼虫蛀食枝干,对我国桑蚕业和林业造成严重威胁<sup>[1]</sup>。尽管在天牛的防治上讨论应用无污染的印象提取物等天然化合物<sup>[2]</sup>,并且在生物防治上对桑天牛长尾啮小蜂寄主定向的挥发性信息物质进行了研究<sup>[3]</sup>,但这些无公害控制技术目前尚处于研究阶段,化学防治在害虫综合治理中仍然占据主导地位。目前已知桑天牛成虫在不同寄主上进行取食和产卵,那么在仅有一种寄主植物存在的情况下,桑天牛的繁殖行为是否会顺利完成?不同环境条件又将如何影响桑天牛的繁殖行为?这些问题尚未有相关报道,而天牛繁殖行为的顺利完成及其在不同寄主和环境条件下的生存适应,直接关系到天牛种群的消长。本研究对桑天牛在不同补充营养材料及环境条件下的取食和繁殖行为进行比较分析,旨在进一步理解桑天牛与寄主植物之间的相互关系及其交配行为活动规律,为制定桑天牛无公害控制技术策略提供重要的参考思路和科学依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 供试虫源与材料

供试虫源:桑天牛采自江西省永修县立新乡;每隔3 d进行野外采集,将天牛置于室内塑料养虫盒中饲养。养虫盒为圆形,直径17 cm,高11 cm,塑料盒盖中央改为直径14 cm的200目不锈钢网,保持盒内空气新鲜。盒内斜放一根直径1 cm左右的1a构树枝条供天牛补充营养,每天更换新鲜枝条。室内温度为(26±3)℃,相对湿度为40%~60%。为避免天牛相互打斗,每盒只放入一头天牛。选择日龄为3~5 d的天牛进行嗅觉行为反应测定。

试验材料:选择直径在1~2 cm的桑树、构树、苦楝、乌桕和杨树枝条作为桑天牛补充营养材料,枝条两端封蜡处理,防止水分流失。

### 1.2 试验方法

桑天牛对不同补充营养材料的选择及其繁殖行

为响应研究,包括选择性和非选择性试验,均在室内自然条件下进行。

(1) 选择性试验条件设计:将桑树、构树、苦楝、乌桕和杨树枝条合放在一起,同时供桑天牛取食和产卵。测试指标包括取食量、产卵量和卵孵化率,其中取食量以在枝条上取食面积的大小作为衡量标准。

(2) 非选择性试验条件设计:对上述5种不同补充营养材料单独进行试验,即在仅提供一种补充营养材料的条件下,观察测试桑天牛的行为反应。测试指标包括取食量、产卵量、卵孵化率和天牛寿命。

1.2.1 选择性条件下桑天牛对不同补充营养材料的选择及其成虫活动节律 准备5个60 cm×60 cm×60 cm的养虫笼,每个笼内同时放入桑树、构树、苦楝、乌桕和杨树枝条供其补充营养和产卵,每种枝条各一根,枝条直径均在1~2 cm,长度为60~80 cm,各枝条叠放于笼内中央。每个笼内接入雌雄比例为1:1的健康成虫6对。试验期间若发现有成虫死亡,即补充一头同性健康成虫。连续观察18 d,每天更换新鲜枝条,用画有刻度的硫酸纸测算更换出枝条的被取食面积,同时检查枝条是否有产卵痕迹,并将带有产卵痕的枝条装入牛皮纸档案袋中,在档案袋上标记当天放入培养箱的时间,培养箱(T=28℃,RT=(40±5)%) 24 h均设为暗期。各批次放入的枝条分别于20 d后取出,剥查卵量及其孵化情况,计算单头雌虫产卵总量和卵孵化率。同时,在试验开始72 h后,每20 min观察记录成虫在笼内各枝条上分布的虫数和交配对数,连续观察记录5 d。

1.2.2 非选择性条件下不同补充营养材料对桑天牛行为的影响 将桑天牛按其雌雄比例为1:1放入28 cm×16 cm×10 cm的透明塑料养虫盒内,每盒各放1对。塑料盒盖中间改为200目的不锈钢网。试验准备50个养虫盒,每10盒为1组处理,处理组内每盒放入1根同一种枝条供天牛补充营养和产卵,共计5组处理,即分别为桑树、构树、苦楝、乌桕和杨树枝条处理组。取食面积、产卵量和卵孵化率的测试步骤同1.2.1。试验期间若养虫笼内有成虫死亡(不再补充试虫),统计试虫在室内的存活天

数，则试虫寿命=在室内存活的天数-实验开始前的存活天数。

1.2.3 环境条件对桑天牛交配行为及产卵量的影响  
采用室内模拟外界环境条件，观察记录不同温度、相对湿度和光照时间 3 种处理下桑天牛交配行为及产卵量变化情况。将桑天牛雌、雄成虫以 1:1 比例放入每种处理的养虫笼内，每个笼中 6 对天牛，每种处理观察 30 对。同时笼中放入构树枝条和杨树枝条供其补充营养和产卵。观察时间为 06:00~18:00。每天每隔 1 h 记录笼中桑天牛交配对数，连续观察 5 d，累加记录总交配对数。每天早上更换新鲜枝条，同时查数原有枝条上的产卵量，统计 5 d 单头雌虫总产卵量。各个处理参数设置如下：

(1) 温度：设置 5 个温度梯度，分别为 24 ℃、27 ℃、30 ℃、33 ℃和 36 ℃，在室内以空调和加热器进行调节，同时保持实验室的相对湿度与室外相同，即相对湿度保持 40%~50%之间，光照时间为 8h，观察各个温度处理下桑天牛的交配情况，记录交配对数及产卵量。

(2) 相对湿度：设置 40%、50%、60%和 70% 的相对湿度梯度，通过多台加湿器控制相对湿度的稳定，实验室内温度保持在 28~30 ℃，观察各个相对湿度条件下桑天牛的交配情况，记录交配对数及

产卵量。

(3) 光照时间：以 24 h 为一光周期，其中光照时间分别设定为 8 h、10 h、12 h、14 h、16 h 五个处理，实验室内温度保持在 28~30 ℃，相对湿度保持在 40%~50%范围内，观察记录不同光照时间下桑天牛的交配对数及产卵量。

### 1.3 数据处理

利用 SPSS 12.0 软件进行数据处理，差异显著性采用多重比较 Duncan's 分析。

## 2 结果分析

### 2.1 桑天牛对不同补充营养材料的行为响应

2.1.1 桑天牛在不同植物上的分布及其交配行为节律  
桑天牛成虫在不同植物枝条上的分布和交配行为呈现一定的时间节律。在 07:00—19:00 有 70% 以上的成虫均停留在构树枝条上取食，19:00 后雌雄成虫开始快速爬行，寻找有交配欲望的异性，试图进行交尾，而后雌虫开始产卵，仅在凌晨 02:00—05:00 时呈随机分布状态，静止不动，且少有取食，05:00 后开始爬向构树枝条。桑天牛的交配行为日高峰主要集中在 19:00—21:00 之间，其次在 08:00（图 1）左右交尾活动频繁。

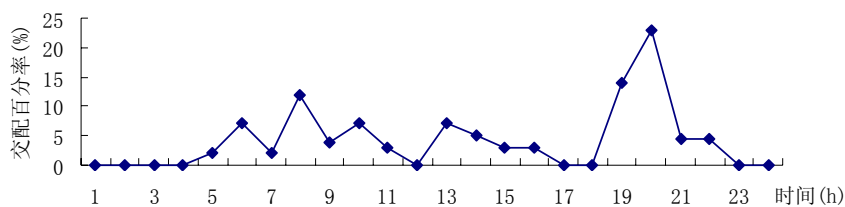


图 1 桑天牛日交配行为节律

2.1.2 桑天牛对不同补充营养材料的取食选择及其取食量  
当对桑天牛同时供以 5 种不同补充营养材料的情况下，桑天牛主要选择构树进行取食，且取食面积最多，日平均取食面积达到 11.48 cm<sup>2</sup>/头，其次是桑树，平均取食面积为 5.10 cm<sup>2</sup>/头，而对杨树、苦楝和乌桕取食极少，均小于 0.17 cm<sup>2</sup>/头（图 2a）。当对桑天牛仅提供一种植物枝条供其补充营养，而无其他材料可供选择的情况下，桑天牛在桑树枝条上的取食面积最大，日平均取食面积达 15.38 cm<sup>2</sup>/头，其次是构树，取食面积为 12.32 cm<sup>2</sup>/头，杨树枝条取食面积为 3.31 cm<sup>2</sup>/头，对苦楝和乌桕很

少取食（图 2b）。

2.1.3 桑天牛的产卵选择及其在不同补充营养材料上的产卵量  
在同时提供杨树、构树、桑树、苦楝和乌桕枝条供桑天牛产卵试验中，桑天牛的产卵选择显著趋向于杨树，在杨树枝条上日平均产卵量为 5.84 粒；其次是构树，为 3.7 粒，桑树为 2.73 粒，苦楝和乌桕上产卵极少（图 3a）。而在仅有一种植物枝条供其产卵时，桑天牛在构树上产卵量最多，日平均产卵量为 1.37 粒，显著高于其他树种；其次是桑树，日平均产卵量为 0.49 粒；杨树为 0.42 粒，乌桕为 0.03 粒，苦楝枝条上无产卵（图 3b）。

2.1.4 桑天牛在不同补充营养材料上的卵孵化率 在选择性试验条件下，桑天牛卵在桑树上孵化率最高，为 95.8%；其次是杨树和构树，孵化率分别为 95.2%和 92.4%；苦楝和乌桕分别为 85%和 75%，卵孵化率在各个树种间无显著差异（图 3a）。非选

择性试验条件下，桑天牛卵在构树、杨树和桑树枝条上孵化率均较高，桑天牛产于构树上卵的孵化率为 51.05%，在杨树上孵化率为 47.5%，桑树上为 39.64%，三者之间无显著差异，苦楝和乌桕均为 0（图 3b）。

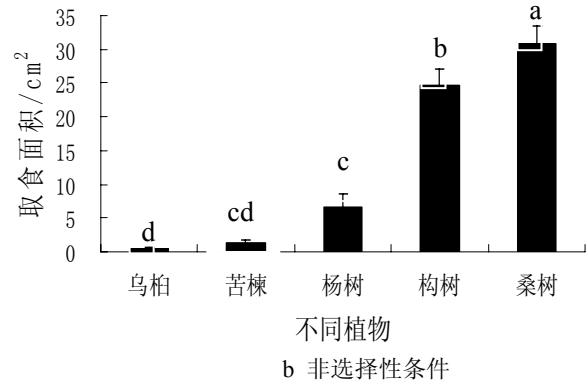
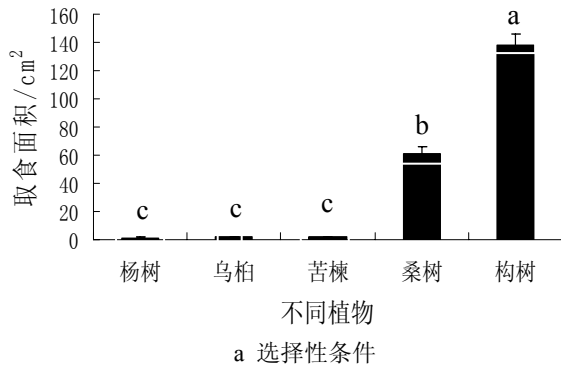


图 2 选择和非选择性条件下桑天牛在不同植物枝条上的取食面积

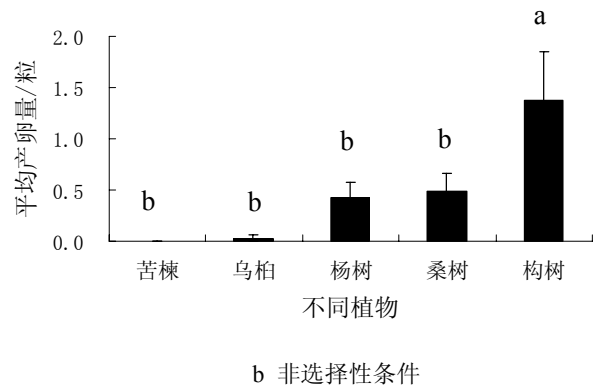
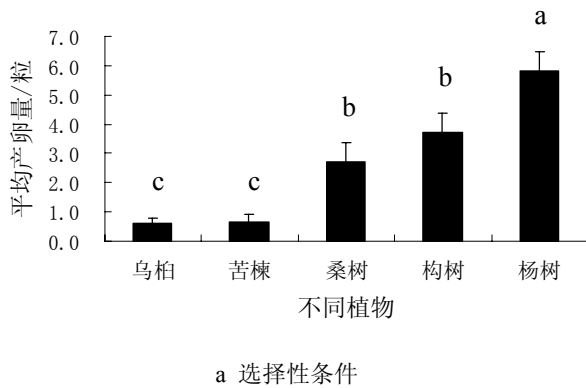


图 3 桑天牛的产卵选择及其在不同植物上的产卵量

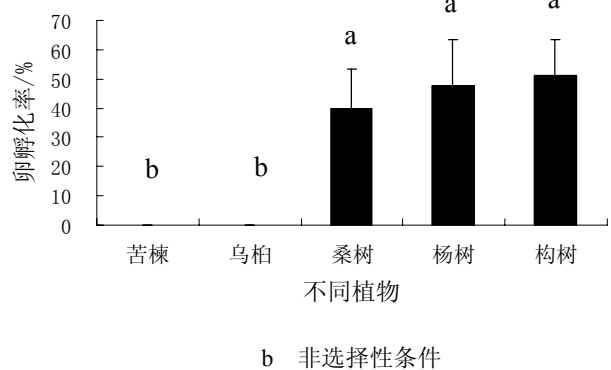
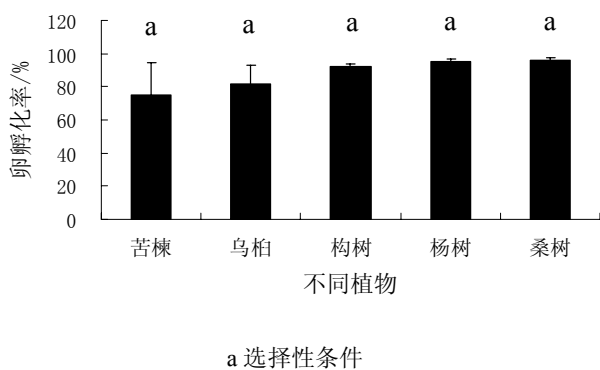


图 4 选择性和非选择性条件下桑天牛在不同植物上的卵孵化率

2.1.5 桑天牛取食不同补充营养材料的寿命 在选择性条件下，取食桑树和构树枝条的桑天牛成虫寿命最长，且二者之间无显著差异。其中，取食桑树

的雌、雄成虫平均寿命分别为 18 d 和 17 d，取食构树的雌、雄成虫平均寿命分别为 16.6 d 和 16.5 d，显著高于取食其他树种的雌、雄成虫寿命。取食乌桕

的雌雄成虫寿命分别为 6.6 d 和 5.7 d，取食杨树的分别为 4.3 d 和 4.4 d，取食苦楝的雌虫寿命比雄虫寿命更长，分别为 5.7 d 和 3.05 d (图 5)。

### 2.2 环境条件对桑天牛繁殖行为的影响

2.2.1 温度对桑天牛交配行为和产卵量的影响 当相对湿度保持 40%~50%，光照时间为 8 h 条件下，

桑天牛的交配行为活性在 24~36 °C 的温度范围内随着温度的升高而升高。当温度在 24 °C、27 °C、30 °C 和 33 °C 时，桑天牛的交配对数分别为 2、7、10 和 16 对，单头雌虫产卵量分别为 3、9、20 和 36 粒。当温度达到 36 °C 时，雌雄成虫活性达到最高，总交配对数为 33 对，产卵量达 50 粒/头 (见图 6)。

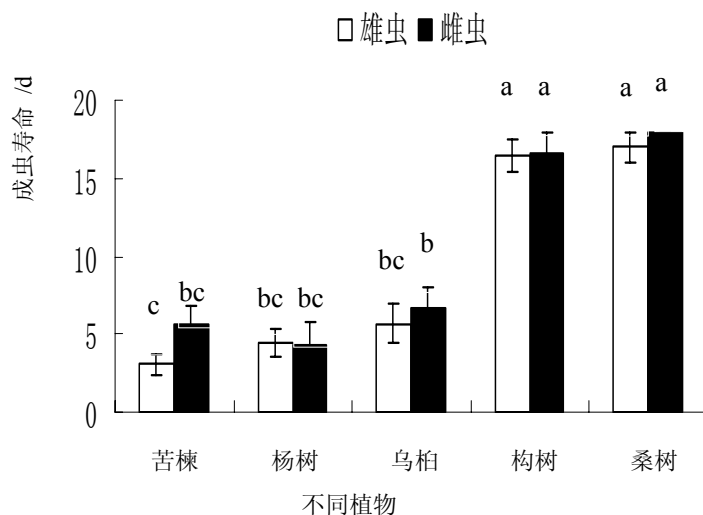


图 5 非选择性条件下桑天牛取食不同补充营养材料的存活天数

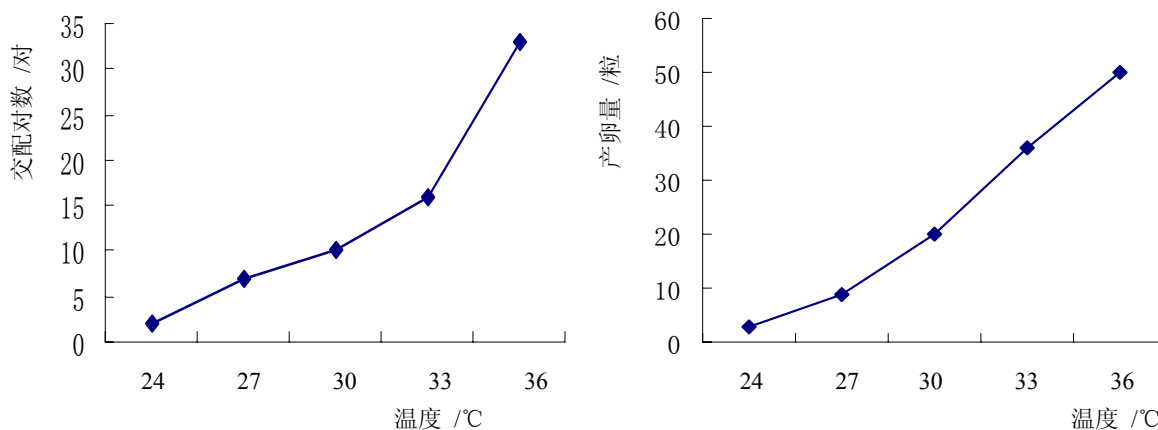


图 6 桑天牛在不同温度条件下的交配对数和产卵量

### 2.2.2 相对湿度对桑天牛交配行为和产卵量的影响

在温度为 28~30 °C，相对湿度为 40%和 50%的条件下，桑天牛的交配对数均为 7 对，产卵量在相对湿度为 40%的条件下最高，为 20 粒，其次是相对湿度为 50%时产卵量为 13 粒。在相对湿度为 60%的条件下交配对数仅为 1 对，产卵量仅为 1 粒。当相对湿度达到 70%时，桑天牛的活性显著降低，交配对数和产卵量均为 0 (表 1)。由此可见，桑天牛

交配行为和产卵的适宜湿度在 40%~50%范围内。

### 2.2.3 光照时间对桑天牛交配行为和产卵量的影响

在温度为 28~30 °C，相对湿度在 40%~50%范围内，桑天牛的交配对数和产卵量随着光照时间的延长而增加。当光照时间为 8 h、10 h 和 12 h 时，交配对数分别为 1 对、5 对和 10 对，产卵量分别为 3 粒、9 粒和 20 粒；当光照时间增加到 14 h 和 16 h 时，交配对数和产卵量基本保持一致，不再增加，

即交配对数均为 16 对，产卵量分别为 33 粒和 34 粒。由此可认为，10L : 14D 的光周期是桑天牛进行交配和产卵行为的最适宜光照时间（图 7）。

表 1 不同相对湿度条件下桑天牛的交配对数和总产卵量

	相对湿度			
	40%	50%	60%	70%
交配对数 /对	7	7	1	0
总产卵量 /粒	20	13	1	0

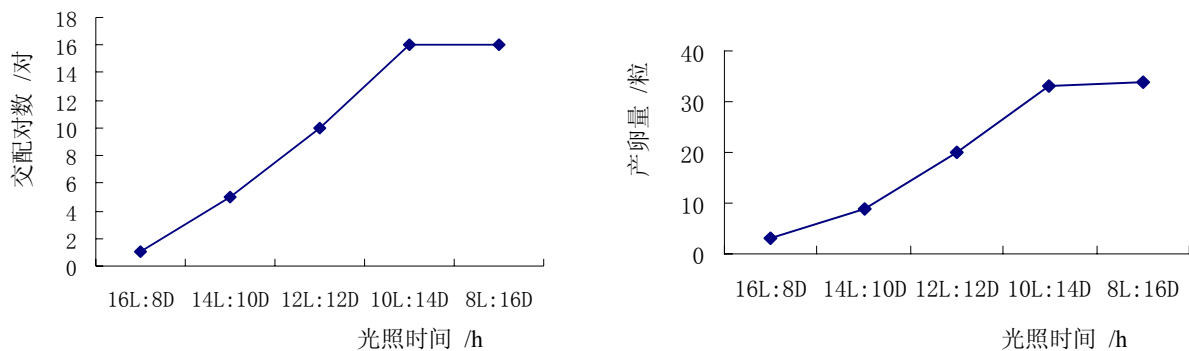


图 7 光照时间对桑天牛交配行为和产卵量的影响

### 3 讨论

昆虫对寄主植物的成功选择是保障其生存的必要条件。桑天牛在选择性条件下以构树和桑树作为主要取食寄主，其中对构树取食量最大，显著高于桑树，杨树作为重要产卵寄主其着卵量最多，但卵孵化率在其不同寄主之间无显著差异。乌桕和苦楝作为其非寄主植物则无明显被取食和产卵选择，其中苦楝挥发物中的 $\beta$ -蒎烯和 $\beta$ -丁香烯对天牛具有驱避作用<sup>[4]</sup>。而在非选择性条件下，取食量最多的是桑树，其次是构树和杨树，产卵量则在构树上最多，其次是桑树和杨树，卵孵化率在桑树、构树和杨树之间无显著差异，而取食桑树和构树的成虫寿命显著高于其他树种。这一实验结果揭示，不同补充营养材料上的桑天牛取食量和产卵量在选择性和非选择性试验条件下表现不一致，这与桑天牛的寄主选择顺序密切相关。在桑天牛寄主选择机制中，首先是对取食寄主的选择，自然状态下构树和桑树释放的植物挥发物可能对桑天牛的取食行为产生一定的引诱效应。在天牛类昆虫中，云斑天牛成虫在补充营养阶段对法国冬青和光皮桦产生较强的嗜食性，通过对其寄主植物挥发物进行化学组成比较分析，

推测可能与这两种植物挥发物中的醇类物质相关<sup>[5]</sup>。同时，取食不同树种枝条的云斑天牛成虫的取食量、寿命及产卵量与植物体内的含糖量呈正相关<sup>[6]</sup>。桑天牛寄主构树枝皮的总含糖量和氨基酸总量显著高于杨树<sup>[7]</sup>，这可能是桑天牛选择取食寄主的重要因素，也是以构树和桑树为补充营养材料的桑天牛成虫寿命相对较长的主要原因。除嗅觉及昆虫性信息素物质可影响天牛的寄主选择外，视觉也是重要影响因素，不同树种之间的形态特征可能影响桑天牛的取食选择<sup>[8]</sup>。由于桑天牛卵在枝条的韧皮部孵化，枝皮下内环境稳定，湿度适宜，因此卵孵化率在不同树种间无显著差异，只是在产卵寄主选择上差异显著。

最近有报道指出，补充营养材料和温度对桉树枝瘿姬小蜂雌蜂存活时间具有显著影响<sup>[9]</sup>。栗山天牛(*Massicus raddei*)成虫羽化与林间气温呈显著的正相关关系，与相对湿度则呈显著负相关关系<sup>[10]</sup>，这将为天牛发生期预测预报及防治适期的确定提供重要依据。关于环境条件对天牛繁殖行为的影响尚未有相关报道，本研究首次确定了桑天牛交配和产卵行为活性最高的环境条件，温度为36℃，湿度为40%~50%，光照时间为8h。同时掌握了桑天牛

