



张德利, 游华建, 鲁增辉, 涂永勤, 陈仕江. 贡嘎钩蝠蛾交配及生殖力的研究 [J]. 环境昆虫学报, 2021, 43 (2): 430–435.

## 贡嘎钩蝠蛾交配及生殖力的研究

张德利, 游华建, 鲁增辉, 涂永勤, 陈仕江\*

(重庆市中药研究院, 重庆 400065)

**摘要:** 为明确交配时长、性比、密度及温度对贡嘎钩蝠蛾 *Thitarodes gonggaensis* 交配、产卵、孵化的影响, 研究了不同交配时长、不同性比、不同成虫密度、不同交配温度对成虫交配、生殖力的影响。结果表明, 成虫正常交配时长差异较大, 交配时长为 22 ~ 270 min, 平均交配时长为 90.85 min, 均能够完成正常的产卵, 平均孵化率达 90.83% 以上, 人为干预交配时长对成虫产卵量没有影响, 但对交配 40 min 以内处理的孵化率显著低于正常交配处理, 因此, 在繁殖虫种过程中, 交配时长不足 40 min 以内的成虫避免人为干扰交配, 导致成虫分开, 以保证交配顺利完成; 通过控制性比发现, 雌雄蛾性比对产卵量无显著影响, 但偏雄性组的交配率和孵化率均显著高于性比大于 1.25:1 的偏雌性组, 在人工饲养过程中, 如果雄虫多余雌虫的情况下, 交配性比建议维持在 1:1 至 1:1.5 之间, 如果雄虫不足, 则可以将已交过的雄虫放回交配箱与未交的雌虫继续交配; 成虫密度对产卵量、孵化率没有显著影响, 对交配率有一定的影响, 密度过高会导致交配率下降; 交配温度对成虫的交配时长、产卵量、孵化率均有显著影响, 温度  $\leq 15^{\circ}\text{C}$  处理交配成虫后其交配时长、产卵量、孵化率均显著高于温度  $20^{\circ}\text{C}$  以上处理, 最佳的交配温度维持在  $10^{\circ}\text{C}$  条件下, 交配时长最长, 产卵量、孵化率最高。

**关键词:** 贡嘎钩蝠蛾; 交配时长; 性比; 生殖力

中图分类号: Q965; Q969.97

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2021) 02-0430-06

### Study on the mating and fecundity of *Thitarodes gonggaensis*

ZHANG De-Li, YOU Hua-Jian, LU Zeng-Hui, TU Yong-Qing, CHEN Shi-Jiang\* (Chongqing Academy of Chinese Materia Medica, Chongqing 400065, China)

**Abstract:** This paper studied the mating and fecundity of *Thitarodes gonggaensis* under various mating duration, sex ratios, populous density and temperature, to find out the influence of these four variables on the mating, oviposition and hatch of *T. gonggaensis*. Results indicated that the mating duration of adult *T. gonggaensis* was enormously varied in the range of 22 ~ 270 min and the average duration was 90.85 min. When the mating finished naturally, they could normally oviposit regardless of the mating duration with a fecundity of over 90.83%. When the mating duration was artificially controlled, the amount of oviposition was not affected, but the hatching rate of the treatment within 40 minutes of mating was obviously lower than natural mating. Therefore, during the breeding process of insect species, the adults with mating duration less than 40 minutes should avoid human interference in mating, leading to the separation of the adults, so as to ensure the successful completion of mating. However, the mating rate and hatching rate of groups with more males than females were significantly higher than those of groups with more females than males whose sex ratio was greater than 1.25:1. In the process of artificial breeding, if

基金项目: 重庆市科学技术局技术创新与应用发展专项 (cstc2018jcxmsybx0244); 重庆市科学技术局社会事业与民生保障科技创新专项 (cstc2017shmsA130017, cstc2017shmszdyf0409, cstc2017shmsA130117); 重庆市科学技术局科研机构绩效激励引导专项 (cstc2018jxjl130068)

作者简介: 张德利, 男, 1981, 硕士, 副研究员, 主要从事冬虫夏草人工培植研究, E-mail: zdlizy@163.com

\* 通讯作者 Author for correspondence: 陈仕江, 男, 博士, 研究员, 主要从事冬虫夏草人工培植研究, E-mail: shijiangchen@163.com

收稿日期 Received: 2020-02-25; 接受日期 Accepted: 2020-06-03

there were more males than females, the mating ratio should be maintained between 1:1 and 1:1.5. If there were insufficient males, the mated males could be put back into the mating box and mated with the unmated females. Mating temperature on adult mating duration, spawning, hatching rate have a significant impact, temperature 15℃ or less processing after mating adult mating duration, spawning and hatching rate were significantly higher than the temperature 20℃ above, the best mate temperature to maintain under the condition of 10℃, the mating time the longest, spawning, hatching rate was highest.

**Key words:** *Thitarodes gonggaensis*; mating duration; sex ratio; fecundity

贡嘎钩蝠蛾 *Thitarodes gonggaensis* Fu and Huang 属于鳞翅目钩蝠蛾属, 主要分布在贡嘎山系海拔 3 000 ~ 5 000 m 的高山峡谷区 (尹定华等, 1994)。冬虫夏草是冬虫夏草菌 *Ophiocordyceps sinensis* (Berk.) G. H. Sung *et al.* 寄生在鳞翅目蝙蝠蛾科蝠蛾属昆虫幼虫虫体中形成的菌虫复合体, 目前已经发现冬虫夏草的寄主昆虫多达 60 余种, 贡嘎钩蝠蛾是冬虫夏草的优势寄主昆虫, 具有重要的经济价值, 自其新种发现以来, 相继报道了生物学特性 (黄天福等, 1992; 尹定华等, 1993; 尹定华等, 1995; 黄天福等, 1997; 陈仕江等, 1997)、生态学特性 (尹定华等, 1997)、生态分布 (尹定华等, 1997) 等相关研究, 但未对其交配时长、性比、密度等方面展开深入详细的研究。雌雄虫完成交配过程需要一定的交配时长, 交配时长过短会导致授精不充分或未受精 (周祖琳, 1987), 交配时长是否充足决定授精率、孵化率的高低。性比是昆虫种群生物学的一种重要指标, 也是决定昆虫种群盛衰的重要影响因子 (胡萃等, 1988), 种群中的雌雄比例对雌雄成虫的寿命及交配、产卵、卵孵化等繁殖特性有明显影响 (姚永生, 2008; 何超, 2017), 是种群数量波动的重要影响因子之一。成虫密度及交配时的温度对交配时长、生殖力、孵化率等也有一定的影响, 在人工饲养中, 发现蝙蝠蛾成虫密度过高容易出现雄虫相互干扰、竞争雌蛾, 有的甚至会干扰正在交配的雌雄蛾, 从而影响正常交配。因此, 研究贡嘎钩蝠蛾的交配和生殖力, 对于了解蝙蝠蛾生殖潜能, 优化现有虫种繁育技术, 增加蝙蝠蛾繁育系数, 提高蝙蝠蛾人工饲养技术, 降低冬虫夏草人工培养成本具有重要意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试虫源

供试虫源为贡嘎蝙蝠蛾, 采集来源于重庆市

中药研究院康定冬虫夏草培育基地。将采集到的虫蛹置于放有湿度为 60% 土壤基质的饲养盒中, 置于常温中培养, 定期喷水保湿, 发现成虫羽化后, 收集于交配箱中。

### 1.2 交配时长对交配、产卵量及孵化率的影响

试验设自然交配时间处理和人工干预交配时间处理。自然交配时间处理, 将交配箱内蝙蝠蛾成虫交配后提出到培养皿中并记录交配开始时间和结束时间, 一皿一对, 产卵后记录产卵数量, 单独收集于垫有保湿材料的培养皿中。交配时间记录 200 对, 均为自然脱落, 交配时间按小于 30 min、30 ~ 60 min、60 ~ 90 min、大于 90 min 分组, 各组随机抽 10 对记录卵量, 并测定孵化率, 每对测定 100 粒卵。另设人工干预处理交配时间 6 个, 分别为交配 10、20、30、40、50、60 min 时人为拆开交配雌雄蛾, 每个时间处理 10 对, 每对单独置于培养皿中, 待产卵后单独收集于垫有保湿材料的培养皿中, 记录产并测定孵化率, 日常管理中发现长霉立即清除, 并用酒精消毒处理。

### 1.3 雌雄性比对交配、产卵量及孵化率的影响

将刚羽化的雌雄蛾按 1:1、1:1.25、1:1.5、1:1.75、1.25:1、1.5:1、1.75:1 的比例置于交配箱中, 为保证交配空间不受密度影响, 每个交配箱内固定雌雄蛾总数为 90 头, 投放雌、雄蛾数见表 1, 各配比处理设 5 个重复, 交配后提出放到产卵箱中, 待雌雄蛾分开后将雄蛾再放回原交配箱中, 记录各自的交配蛾数量。

### 1.4 成虫密度对交配、产卵量及孵化率的影响

将刚羽化的雌雄蛾按试验设计的数量置于不同的交配箱中待交配高峰前半小时以 1:1 的比例置于交配箱中, 成虫密度分别为 130、110、90、70 和 50 头/箱, 交配箱内部大小为 80 cm × 60 cm × 60 cm, 体积为 0.29 m<sup>3</sup>, 每个密度处理 3 个重复, 交配后提出放到产卵箱中, 待雌雄蛾分开后将雄蛾再放回原交配箱中, 记录各自的交配雌蛾数量, 从各处理中各抽 5 对交配蛾统计产卵量。

1.5 交配温度对交配时长、产卵量及孵化率的影响

成虫交配后立刻置于培养皿中，转移到不同温度处理的培养箱中。试验设 5、10、15、20 和 25℃ 共计 5 个处理，另设室温条件下交配为对照，每个处理交配成虫 10 对。观察记录交配时长、产卵量、孵化率的影响。

1.6 数据处理及说明

原始数据用 Microsoft Excel 软件处理，统计数据采用 SPSS 25.0 数据分析软件进行处理，对数据进行正态和方差齐性检验，必要时将数据进行反正弦平方根或对数转换，不同交配时长处理的数据经单因素多重比较进行差异显著性分析 ( $P \leq 0.05$ )，通过最小差异法 (LSD 法) 比较蝙蝠蛾交配时长间平均数的差异程度，比较雌雄性比与交配率之间的关系。

交配率：各处理交配雌蛾数占总雌蛾数的百分比。

2 结果与分析

2.1 交配时间与产卵量、孵化率的关系

交配时间统计结果 (表 1) 表明，雌雄蛾交配自然脱落条件下，平均交配时长为 90.85 min，交配时长最长为 275 min，最短为 22 min，交配时长在 30 min 以内占比最少为 3.00%，交配时长在 90 min 以上的占比最多达 40.00%，交配时长大于 90 min 组产卵量和孵化率最高，分别为 529.50 粒/雌和 92.80%，交配时长在 30~60 min 之间产卵量和平均孵化率最低，分别为 520.90 粒/雌和 90.83%；人工干预交配时长对雌蛾产卵量没有显著影响 ( $F = 0.354, P > 0.05$ )，但是对孵化率有显著影响 ( $F = 12.98, P < 0.05$ )，在实验条件下交配时间越长进行人工干预对孵化率影响越小，交配时长 50 min 后拆开与交配自然脱落情况下的孵化率无显著差异，人工干预交配时长为 40 min 及以下时，孵化率显著低于自然脱落情况下。

表 1 贡嘎钩蝠蛾自然与人为干预交配统计表  
Table 1 The statistics on mating of natural and artificial intervention

| 交配时长 (min)<br>Mating duration | 交配数量 (对)<br>Mating logarithm | 各时段交配<br>占比 (%)<br>Proportion | 交配平均<br>时长 (min)<br>Average mating time | 平均产卵量 (粒/雌)<br>Average spawning | 平均孵化率 (%)<br>Average hatching rate |
|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| 自然脱落 Natural shedding         |                              |                               |                                         |                                 |                                    |
| <30                           | 6                            | 3.00                          | 26.33 a                                 | 525.33 ± 34.20 a                | 92.00 ± 2.19 a                     |
| 30~60                         | 52                           | 26.00                         | 44.40 b                                 | 520.90 ± 27.52 a                | 90.83 ± 1.62 a                     |
| 60~90                         | 62                           | 31.00                         | 72.53 c                                 | 528.60 ± 22.63 a                | 91.60 ± 1.89 a                     |
| >90                           | 80                           | 40.00                         | 140.09 d                                | 529.50 ± 29.44 a                | 92.80 ± 2.04 a                     |
| 人为干预 Artificial intervention  |                              |                               |                                         |                                 |                                    |
| 10                            | 10                           |                               |                                         | 510.50 ± 33.46 a                | 0.00 d                             |
| 20                            | 10                           |                               |                                         | 497.50 ± 22.73 a                | 12.40 ± 29.72 cd                   |
| 30                            | 10                           |                               |                                         | 527.20 ± 28.45 a                | 33.20 ± 44.21 c                    |
| 40                            | 10                           |                               |                                         | 539.10 ± 41.28 a                | 60.70 ± 44.80 b                    |
| 50                            | 10                           |                               |                                         | 513.70 ± 25.67 a                | 91.40 ± 2.12 a                     |
| 60                            | 10                           |                               |                                         | 520.10 ± 20.32 a                | 91.80 ± 2.35 a                     |

注：表中同列数字后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下表同。Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference at 0.05 level. The same below.

2.2 雌雄性比对交配及生殖力的影响

实验结果 (表 2) 表明，蝙蝠蛾性比对交配率有显著的影响 ( $F = 4.482, P < 0.05$ )。偏雄性组

(雌雄性比 < 1) 以 1:1.5 组的交配率最高为 96.11%，以 1:2 性比下交配率最低为 93.33%，偏雌性组 (雌雄性比 > 1) 中，性比为 1.25:1 组

的交配率最高为 92.00%，性比为 2:1 时交配率最低为 83.66%，偏雄性组交配率高于偏雌性组，偏雄性组交配率显著高于性比大于 1.25 的偏雌性处理；蝙蝠蛾性比对产卵量没有显著影响 ( $F = 0.306, P > 0.05$ )，性比 1:1.75 组平均产卵量最高为 524.40 粒/雌。蝙蝠蛾性比对孵化率有显著影响 ( $F = 51.29, P < 0.05$ )，性比 1:2 组的孵化率最高，为 92.42%，性比 1:1.75 组的孵化率最低为 90.80%，偏雌性组中以性比 1.25:1 的孵化率最高为 90.41%，偏雄性组交配率显著高于偏雌性

组中性比高于 1.25:1 的各处理组。

**2.3 成虫密度对交配、产卵、孵化的影响**

实验结果 (表 3) 表明，雌雄性比为 1:1 时，成虫密度对交配率有一定的影响 ( $F = 2.185, P > 0.05$ )，成虫密度为 60 头/箱时交配率最高为 96.57%，成虫密度为 150 头/箱的交配率最低为 92.69%，成虫密度为 60 头/箱的交配率显著高于 150 头/箱，但与其他密度处理无显著性差异。成虫密度对产卵量 ( $F = 0.342, P > 0.05$ ) 和孵化率 ( $F = 0.401, P > 0.05$ ) 没有显著影响。

表 2 性比对交配率、产卵量、孵化率的影响

Table 2 Effect of sex ratio on mating rate ,spawning quantity and hatching rate

| 性比 (雌/雄)  | 雌虫 | 雄虫 | 平均交配率 (%)           | 平均产卵量 (粒/雌)       | 平均孵化率 (%)             |
|-----------|----|----|---------------------|-------------------|-----------------------|
| Sex ratio | ♀  | ♂  | Average mating rate | Average spawning  | Average hatching rate |
| 1:1       | 45 | 45 | 95.66 ± 4.03 a      | 509.60 ± 24.74 a  | 91.60 ± 1.64 a        |
| 1:1.25    | 40 | 50 | 96.00 ± 2.85 a      | 516.60 ± 35.61 a  | 92.20 ± 1.48 a        |
| 1:1.5     | 36 | 54 | 96.11 ± 3.16 a      | 494.40 ± 22.95 a  | 92.20 ± 1.78 a        |
| 1:1.75    | 33 | 57 | 93.94 ± 4.79 a      | 524.40 ± 74.84 a  | 90.80 ± 1.92 a        |
| 1:2       | 30 | 60 | 93.33 ± 5.27 a      | 506.80 ± 52.35 a  | 92.42 ± 1.94 a        |
| 1.25:1    | 50 | 40 | 92.00 ± 4.00 a      | 518.80 ± 28.94 a  | 90.41 ± 1.34 a        |
| 1.5:1     | 54 | 36 | 91.48 ± 3.83 ab     | 513.20 ± 35.34 a  | 86.40 ± 1.52 b        |
| 1.75:1    | 57 | 33 | 85.96 ± 3.92 bc     | 477.40 ± 120.88 a | 84.00 ± 0.96 c        |
| 2:1       | 60 | 30 | 83.66 ± 6.28 c      | 512.80 ± 22.26 a  | 79.00 ± 1.87 d        |

表 3 成虫密度对交配、产卵量、孵化率的影响

Table 3 Effects of adult density on mating ,spawning and hatching rate

| 成虫密度 (头/箱) | 平均交配率 (%)           | 平均产卵量 (粒/雌)      | 平均孵化率 (%)             |
|------------|---------------------|------------------|-----------------------|
| Density    | Average mating rate | Average spawning | Average hatching rate |
| 150        | 92.69 ± 2.28 b      | 520.40 ± 37.54 a | 92.40 ± 1.46 a        |
| 120        | 94.91 ± 2.35 ab     | 526.60 ± 24.26 a | 91.20 ± 1.37 a        |
| 90         | 94.66 ± 2.43 ab     | 508.80 ± 26.34 a | 93.00 ± 1.20 a        |
| 60         | 96.57 ± 2.39 a      | 512.40 ± 31.65 a | 90.80 ± 1.42 a        |
| 30         | 95.20 ± 3.34 ab     | 532.20 ± 25.36 a | 92.20 ± 1.66 a        |

**2.4 交配温度对交配、产卵、孵化的影响**

实验结果 (表 4) 表明，交配时温度对交配时长有显著影响 ( $F = 24.32, P < 0.05$ )。温度为 10℃ 下蝙蝠蛾成虫交配时间最长，平均交配时长为 70.50 min，温度为 10℃ 及其以上，温度越高成虫交配时长越短，25℃ 处理条件下交配时长最短为 8.40 min，温度为 5℃、10℃、15℃ 处理间的交

配时长无显著差异，但显著高于温度为 20℃ 和 25℃ 的处理。交配时温度对产卵量有显著影响 ( $F = 8.6, P < 0.05$ )，温度为 10℃ 下的平均产卵量最多，为 536.40 粒/雌，25℃ 下平均产卵量最少，为 222.80 粒/雌，温度 ≤ 15℃ 条件下处理的平均产卵量显著高于温度 20℃ 以上处理。交配时不同温度处理交配成虫对卵的孵化率有显著影响

( $F = 18.66$ ,  $P < 0.05$ ), 温度为 10℃ 下处理交配成虫所产卵的平均孵化率最高为 92.60%, 温度为 25℃ 处理成虫所产卵的平均孵化率最低为 0, 温度

≤15℃ 处理交配成虫后所产卵的孵化率显著高于温度 20℃ 以上处理。

表 4 温度对交配时长、产卵量及孵化率的影响

Table 4 Effects of temperature on mating duration, spawning quantity and hatching rate

| 温度 (℃)<br>Temperature | 平均交配时长 (min)<br>Average mating time | 平均产卵量 (粒/雌)<br>Average spawning | 平均孵化率 (%)<br>Average hatching rate |
|-----------------------|-------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| 5                     | 53.33 ± 8.87 a                      | 504.40 ± 25.44 a                | 91.60 ± 1.52 a                     |
| 10                    | 70.50 ± 8.81 a                      | 536.40 ± 22.25 a                | 92.60 ± 1.42 a                     |
| 15                    | 59.60 ± 15.85 a                     | 518.60 ± 20.34 a                | 92.40 ± 1.35 a                     |
| 20                    | 25.60 ± 10.92 b                     | 335.40 ± 36.65 b                | 36.40 ± 49.84 b                    |
| 25                    | 8.40 ± 4.56 c                       | 222.80 ± 29.36 c                | 0 b                                |

### 3 结论与讨论

贡嘎钩蝠蛾的自然交配时长及生殖力的研究, 早在上个世纪 90 年代就有报道, 黄天福等 (1992) 在对贡嘎钩蝠蛾的生物学特性研究中表明, 贡嘎钩蝠蛾成虫的交配时长最短为 10 min, 最长为 150 min, 平均交配时长 42 min, 产卵量平均为 437 粒, 而本试验结果表明, 交配时长最短为 22 min, 最长为 270 min, 平均交配时长为 90.85 min, 平均产卵量 500 粒以上, 远高于此前报道的结果, 这可能是二者所研究的贡嘎钩蝠蛾来源于不同的生态型有关, 因生态环境 (海拔、温度、冻土期等) 条件的不同, 贡嘎钩蝠蛾形成了 3 种生态型 (黄天福等, 1996), 因而导致不同生态型种群的交配时长、产卵量有所不同。

贡嘎钩蝠蛾的交配时长的长短, 在成虫自然脱落的情况下, 对产卵量和孵化率没有显著影响, 但通过人工干预其交配时长, 尽管对产卵量没有显著影响, 但是对孵化率有显著的影响, 这可能与雄虫的授精时间不同有关, 从人工干预交配的结果看, 交配时长 10 min 处理下, 没有虫卵孵化, 可以说明没有雄虫完成授精, 甚至交配时长 40 min 情况下, 其孵化率也仅为 60.70%, 还有不少的雄虫没有完成授精, 当交配时长 50 min 及以上, 其孵化率达到了 91.40% 以上, 这与交配自然脱落情况的孵化率没有显著性差异。因此, 可以认为在交配时长达到 50 min 以上时, 雄虫基本完成了授精。这对虫种繁育工作具有一定的指导意

义, 倘若在人工提取交配成虫过程中, 如果其交配时长小于 40 min, 则可考虑放回交配箱中重新交配, 以保证雌雄虫充分交配, 提高虫卵的孵化率。

性比对昆虫成虫的交配率、产卵量、孵化率有一定的影响。自然情况下, 贡嘎钩蝠蛾雌雄虫性比接近 1:1 (尹定华等, 1994), 通过人为控制性比发现, 当雄虫多于雌虫情况下, 对交配率、产卵量、孵化率没有显著影响, 而当雌虫多于雄虫时, 交配率和孵化率都有所下降, 主要是由于部分雌虫由于雄虫过少没有交配而没能授精, 但是也可以看出尽管雌雄比例差距不断加大, 其交配率并没有呈现出快速下降, 说明多数雄虫进行了二次交配, 部分抵消了雄虫不足的问题, 在雄虫不足 25% 的情况下 (性比 1.25:1), 其交配率和孵化率与偏雄性组的雌虫交配率差不多, 没有显著差异, 但是当雄虫不足超过 50% 时, 其交配率明显低于偏雄性组, 说明当雄虫过少的情况下, 二次交配难以弥补雄虫的不足问题, 而且孵化率也明显开始下降, 说明二次交配授精率降低了, 因此, 在虫种数量一定的条件下, 适当增加雌虫的繁育, 有利于提高总体的产卵量, 提高虫种的繁育系数。成虫密度对产卵量、孵化率没有显著影响, 对交配率有一定的影响, 并表现出一定的趋势性, 但影响较小, 在虫种繁育过程中可适当控制密度, 尽量控制在 120 头/箱范围内, 以保证成虫的充分交配。

交配温度对贡嘎钩蝠蛾成虫的交配时长、产卵量、孵化率均有显著影响。在 5 ~ 15℃ 范围内,

各处理间的交配时长、产卵量和孵化率没有显著差异,而当温度在 20℃、25℃ 处理条件下其交配时长、产卵量和孵化率显著下降,说明过高的温度会引起正在交配的雌雄虫提前分开,交配时长缩短至半小时内,雌雄虫不能完成正常的授精过程,从而导致孵化率大大降低,甚至在 25℃ 处理条件下孵化率为 0,完全没有完成受精,而过高的温度也会导致成虫不能充分产卵,这可能是与雌虫在较高温度下寿命缩短有关。因此,高温会导致雌雄蛾不能正常交配,应该控制交配期间温度在 5~15℃ 范围内,以保证雌雄虫能够顺利的完成交配、产卵过程。

本研究明确了贡嘎钩蝠蛾正常的交配时长以及在不同性比、不同密度、不同温度条件下对交配率、交配时长、产卵量、孵化率的影响,所得到的数据将为冬虫夏草寄主昆虫的繁育,特别是贡嘎钩蝠蛾的繁育提供理论依据。尽管性比、密度、温度对交配、产卵等繁育生物学指标有一定的影响,但影响这些参数的主要因素比如昆虫自身的营养条件及环境条件比如湿度、光照等没有进行全面的,以及各个条件下的综合影响等,这些问题将在今后的研究中开展。

### 参考文献 (References)

- Chen SJ, Zeng W, Huang TH. Scanning electron microscopy and biological observation of *Hepialus gonggaensis* egg [J]. *Sichuan Journal of Zoology*, 1997, 16 (3): 102–104, 145. [陈仕江, 曾韦, 黄天福. 贡嘎钩蝠蛾卵的扫描电镜和生物学观察 [J]. *四川动物*, 1997, 16 (3): 102–104, 145]
- He C, Shen DR, Yin LH, et al. Effects of different sex ratio s on longevity and fecundity of adults of *Assara inoue* Yamanaka [J]. *Plant Protection*, 2017, 43 (5): 62–66, 118. [何超, 沈登荣, 尹立红, 等. 不同性比对井上蛀果斑螟成虫寿命及生殖力的影响 [J]. *植物保护*, 2017, 43 (5): 62–66, 118]
- Hu C, Wan XS. Study on sex ratio of *Pteromalus puparum* [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 1988, 31 (3): 332–335. [胡萃, 万兴生. 蝶蛹金小蜂性比的研究 [J]. *昆虫学报*, 1988, 31 (3): 332–335]
- Huang TF, Chen SJ, Fu SQ, et al. Study on the ecotype of the dominant host insect of cordyceps sinensis in Kangding [J]. *Lishizhen Medicine and Materia Medica Research*, 1996, 7 (3): 53–54. [黄天福, 陈仕江, 傅善全, 等. 康定冬虫夏草菌优势寄主昆虫的生态型的研究 [J]. *时珍国药研究*, 1996, 7 (3): 53–54]
- Huang TF, Fu SQ, Luo QM. Biological characteristics of *Hepialus gonggaensis* [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 1992, 35 (2): 250–253. [黄天福, 傅善全, 罗庆明. 康定贡嘎钩蝠蛾的生物学特性 [J]. *昆虫学报*, 1992, 35 (2): 250–253]
- Huang TH, Fu SQ, Chen SJ, et al. Effects of light intensity and light color on sexual behavior of *Hepialus gonggaensis* [J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 1997, 22 (4): 14–16, 61. [黄天福, 付善全, 陈仕江, 等. 光照强度与光色对贡嘎钩蝠蛾性行为的作用 [J]. *中国中药杂志*, 1997, 22 (4): 14–16, 61]
- Jiang FZ, Zeng LY, Guo JX, et al. Effects of temperature stress on insect fertility and its physiological and biochemical mechanisms [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2015, 37 (3): 653–663. [蒋丰泽, 郑灵燕, 郭技星, 等. 温度对昆虫繁殖力的影响及其生理生化机制 [J]. *环境昆虫学报*, 2015, 37 (3): 653–663]
- Yao YS, Zhang M, Pan CJ, et al. Effects of different sex ratio structure of *Helicoverpa armigera* adults on fecundity [J]. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 2008, 36 (10): 4351–4353. [姚永生, 张敏, 潘存建, 等. 棉铃虫成虫不同性比结构对繁殖力的影响 [J]. *安徽农业科学*, 2008, 36 (10): 4351–4353]
- Yin DH, Fu SQ, Li QS. Biological characteristics of *Hepialus gonggaensis* pupa [J]. *Special Wild Economic Animal and Plant Research*, 1993, 1: 3–4, 63. [尹定华, 傅善全, 李泉森, 等. 贡嘎钩蝠蛾蛹的生物学特性 [J]. *特产研究*, 1993, 1: 3–4, 63]
- Yin DH, Li L, Huang TH, et al. Study on the ecology of different stages of *Hepialus gonggaensis* [J]. *Special Wild Economic Animal and Plant Research*, 1994, 4: 5–7, 60. [尹定华, 李黎, 黄天福, 等. 贡嘎钩蝠蛾各虫态生态学的研究 [J]. *特产研究*, 1994, 4: 5–7, 60]
- Yin DH, Li QS, Li L, et al. Study on the ecological distribution of *Hepialus gonggaensis* [J]. *Special Wild Economic Animal and Plant Research*, 1994, 1: 6–9. [尹定华, 李泉森, 李黎, 等. 贡嘎钩蝠蛾生态分布的研究 [J]. *特产研究*, 1994, 1: 6–9]
- Yin DH, Fu SQ, Li QS. Observation of biological characteristics of *Hepialus gonggaensis* larvae [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 1995, 32 (5): 289–291. [尹定华, 付善全, 李泉森. 贡嘎钩蝠蛾幼虫生物学特性的观察 [J]. *昆虫知识*, 1995, 32 (5): 289–291]
- Zhou ZL. How do insect cells form? [J]. *Science*, 1987, 4: 301–302. [周祖琳. 昆虫的精包是怎样形成的? [J]. *科学*, 1987, 4: 301–302]