

DOI: 10.12101/j.issn.1004-390X(n).201710027

虫口密度对蝠蛾幼虫迁移行为的影响*

张灿明¹, 潘鹏飞^{2**}, 阿金¹, 张聪¹, 刘英³,
王顺和³, 姚建文³

(1. 香格里拉市宜康宝生物科技有限公司, 云南香格里拉 674499;
2. 云南农业大学 经济管理学院, 云南昆明 650201;
3. 香格里拉市人民政府发展生物产业办公室, 云南香格里拉 674499)

摘要:【目的】对蝠蛾(*Hepialus* sp.)幼虫的迁移与虫口密度关系展开研究,一方面可确定蝠蛾在一定空间下的适宜饲养密度,另一方面可查明某些蝠蛾种类2龄虫饲养得率过低的原因,以利于制定蝠蛾的科学饲养计划,提高存活率,集约利用养殖空间。【方法】在室内其他饲养条件相同的情况下,对不同虫口密度饲养至蛹期的3种蝠蛾进行观察,统计初孵幼虫的迁移数量,测量2龄末期至蛹期幼虫在土壤中的迁移距离。【结果】不同种的蝠蛾幼虫从起始养殖环境中的迁出数量、迁移持续时间有差异,人支蝠蛾迁出数量最多、迁移时间最长,白马蝠蛾次之,云南蝠蛾再次之;蝠蛾主要在初孵幼虫阶段迁出,2龄末期后,在土壤中向四周迁移,不迁出土表,不同种的蝠蛾幼虫在土壤中迁移后形成不同的分布模式。【结论】不同种的蝠蛾幼虫迁移行为不同,在进行室内饲养时,要针对不同种的蝠蛾制定针对性的养殖计划,防止因起始养殖密度过大造成大量初孵幼虫流失;在2龄末期后的养殖过程中,要根据蝠蛾的存活数量及其分布模式科学确定养殖空间。研究成果为蝠蛾的高效扩繁提供了重要的科学依据。

关键词:蝠蛾; 幼虫; 室内养殖; 迁移行为

中图分类号: Q 968.1 文献标识码: A 文章编号: 1004-390X (2019) 01-0169-06

Effect of Population Density on the Migration Behavior of *Hepialus* sp. Larvae

ZHANG Canming¹, PAN Pengfei², A Jin¹, ZHANG Cong¹, LIU Ying³,
WANG Shunhe³, YAO Jianwen³

(1. Shangri-La Yikangbao Biotechnology Co., Ltd., Shangri-La 674499, China;
2. College of Economics and Management, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;
3. The Shangri-La Development Bioindustry Office of Shangri-La Municipal People's
Government, Shangri-La 674499, China)

Abstract: [Purpose] To explore the relation between the migration and population density of *Hepialus* sp. larvae, on the one hand, it is possible to determine the suitable breeding density of the moth in a certain space; on the other hand, it is possible to find out the reasons for the low breeding rate of 2nd larva of some species, which could help to make out the scientific breeding plan of the *Hepi-*

收稿日期: 2017-10-28 修回日期: 2018-03-14 网络出版时间: 2019-01-11

*基金项目: 云南省科技惠民计划项目(2014RE004); 云南省“三区”科技人才项目。

作者简介: 张灿明(1966—), 男, 云南维西人, 学士, 副研究员, 主要从事冬虫夏草培育研究。

E-mail: yikangbao520@163.com

**通信作者 Corresponding author: 潘鹏飞(1966—), 男, 江西九江人, 学士, 副教授, 主要从事农村区域发展研究。
E-mail: 798514419@qq.com

网络出版地址: [http://dx.doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X\(n\).201710027](http://dx.doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X(n).201710027)

alus sp. larvae, to improve the survival rate and to increase the intensive use level of breeding space. [Methods] Three species of *Hepialus* sp. larvae were fed and observed till pupa stage under the same laboratory conditions except the population density, the emigration numbers of initial larva were tallied, the migration distances of the larvae developing from the end of second instar larva stage to pupa stage in soil were measured. [Results] The emigration numbers of different species were different, so did the duration days of emigration; the emigration numbers of *H. renzhiensis* Yang were the most and their migration period was the longest, followed by *H. baimaensis* Liang, and *H. yunnanensis* Yang, Li et Sheng came the last; the migration of *Hepialus* sp. larvae took place in the initial larva stage, their larvae dispersed in soil slowly and didn't move out from the soil after the end of second instar larva stage, they developed different distribution pattern at last. [Conclusion] Different species of *Hepialus* sp. had own migration behavior. The indoor breeding plan should be made in accordance with the species to prevent the loss of initial larvae caused by high initial breeding density; the breeding space should be suitable for the survival numbers and the distribution pattern of the species of *Hepialus* sp. from the end of second instar larva stage. The research results provided an important scientific basis for rapid propagation of *Hepialus* sp.

Keywords: *Hepialus* sp.; larvae; population density; dispersal behavior

蝠蛾属 (*Hepialus* sp.) 幼虫是名贵中药冬虫夏草 [*Ophiocordyceps sinensis* (Berk.) G.H. Sung et al.] 的寄主。冬虫夏草是中国药典收载的中药品种^[1], 是名贵的滋补品, 被誉为中华医药的瑰宝。冬虫夏草是中国青藏高原高海拔地区的珍贵物种, 因其滋补效果优良、采集困难、资源稀缺, 故而价格昂贵。中国对冬虫夏草资源的利用长期处于“越挖越贵, 越贵越挖”的困局, 冬虫夏草资源日趋减少, 产地生态环境遭到破坏的程度日趋增大。冬虫夏草的人工培育研究从 20 世纪 80 年代起成为研究热点^[2]。要培育冬虫夏草全草, 首先必须解决其寄主昆虫的规模化养殖问题。由于冬虫夏草寄主昆虫蝠蛾主要在高寒地区繁衍^[3-4], 对生长环境要求极为苛刻, 生长期长, 大部分种类需要 3 年才能完成 1 个世代^[4], 而且大部分时间在土壤中生活, 不便观察研究, 蝶蛾的人工养殖在冬虫夏草的人工培育中成为难点之一。笔者在初期的养殖研究工作中发现: 有的蝠蛾幼虫种类存活率极低, 难以实现继代养殖, 而且在养殖过程中总是出现孵化率很高, 但 2 龄期幼虫存活率低, 在饲养土壤中又找不到死虫的奇怪现象, 这极有可能是初孵幼虫大量迁出了养殖器皿, 因虫体过小而难以觉察到。昆虫的迁移与虫口密度有着密切的关系^[5], 本研究一方面可确定蝠蛾在一定空间下的适宜饲养密度, 另一方面可查明某

些蝠蛾种类 2 龄虫饲养得率过低的原因, 为制定科学合理的养殖计划、提高养殖效率提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验所用白马蝠蛾 (*H. baimaensis* Liang)、人支蝠蛾 (*H. renzhiensis* Yang) 和云南蝠蛾 (*H. yunnanensis* Yang, Li et Sheng) 卵均为人工室内繁殖而得, 产卵年份为 2013 年。

1.2 研究方法

本研究在香格里拉市宜康宝生物科技有限公司冬虫夏草种源扩繁中心进行。

1.2.1 试验材料和用具的准备

尼龙纱网 (100 筛目, 宽 1 m)、滤纸 (直径 11 cm)、培养皿 (规格 90 mm)、无纺布 (宽 2 m, 厚 2.8 mm)、一次性注射器 (规格 50 mL) 和土壤 (腐殖土, 湿度 40%~50%) 用 90 °C 蒸汽灭菌 40 min。医用搪瓷方盘 (鹅牌, 50 cm×35 cm×3.5 cm, 上海白鹅搪瓷有限公司生产)。灭菌前尼龙纱网按 10 cm×10 cm 裁剪, 无纺布裁剪成 28 cm×21 cm 和直径 80 cm 两种尺寸。

1~2 龄虫期选用无毒、无味的圆形一次性塑料食品餐盒 (上口直径 12 cm、高 8 cm、底部直径 10 cm) 作为养殖盒, 用透明塑料储物箱 (箱口长 23 cm、宽 16 cm, 高 9 cm, 底部长 22 cm、宽

15 cm)作为观察箱, 储物箱盖的正中央开直径0.5~1 cm的孔。2龄以后用塑料盆(盆口直径60 cm、高35 cm、盆底直径50 cm)作为养殖盆。养殖用具经自来水清洗、0.1%次氯酸钠浸泡、紫外线消毒等处理。

1~2龄期、2龄期以后的饲料分别选用直径1~2 cm、3~4 cm的胡萝卜。胡萝卜切去顶端叶片着生部分和须根, 在经紫外灯消毒的洁净室内用1%次氯酸钠(纯度AR, 广东汕头市西陇化工厂生产)浸泡10 min, 再用冷开水冲洗, 淋干水分后使用。

1.2.2 1~2龄期迁移行为观察

按每种蝠蛾分3种投卵数量设置处理, 投卵数量分别为100粒(T1)、70粒(T2)和40粒(T3), 每种虫的每个处理设置5个重复。选用同一日期交配雌蛾达到20只以上时各雌蛾所产的混合卵。

在超净工作台上, 卵用尼龙纱网包裹, 在凉开水中清洗3~4次, 连纱网置于垫有3~5层滤纸的培养皿内吸水、风干表面水分, 按试验设置分装于用滤纸手工叠制的滤纸盒(2 cm×2 cm×1 cm), 放置于底部垫有1层滤纸的培养皿中, 每皿放5盒, 盖上盖子, 做好标记, 置于经紫外线消毒的洁净饲养室黑暗条件下孵化, 孵化温度为(14±0.5)℃。孵化期需保持滤纸盒的湿润, 加湿时, 用一次性注射器在培养皿底部滴加少量凉开水, 湿度不宜过大, 滤纸稍有湿润即可, 以摇动培养皿时卵可以自由滚动为宜。日常管理时, 每日摇动培养皿1次, 摆动时使卵翻滚2~3次。白马蝠蛾和人支蝠蛾卵孵化天数为30 d, 云南蝠蛾为28 d。

在卵开始孵化前2 d, 将准备好的土壤分装入养殖盒, 深度7 cm, 在土壤表面铺满饲料, 相互之间间隔0.5~1 cm, 再用土填埋饲料之间的空隙, 但不覆盖饲料表面。将放有卵的滤纸盒移入填充好土壤和饲料的养殖盒中, 再将养殖盒放入观察箱中, 每个观察箱中放1盒, 按试验设置做好标记。为防止幼虫再次从观察箱中迁出而影响观察结果, 观察箱口先用无纺布盖住, 再盖紧盖子, 置于9~13℃、相对湿度40%~60%、黑暗的养殖室内养殖至2龄虫末期, 当土壤干燥时用洁净的喷壶喷洒冷开水, 使土壤湿度保持在40%~50%; 当相对湿度低于40%时, 在地板上用洁净的喷壶喷洒冷开水, 以保持养殖环境的相对湿度。饲养

开始2 d后, 每天观察和记录幼虫从养殖盒中迁出到观察箱中的数量, 并立即将迁出的幼虫移出。初孵幼虫会自行爬出滤纸盒, 到饲养盒中觅食, 待初孵幼虫全部爬出(幼虫孵出的4 d后), 取出滤纸盒, 用解剖镜(放大倍数40倍)统计各处理及其重复的孵化率。

本研究设定的养殖环境下, 白马蝠蛾和人支蝠蛾初孵幼虫养殖120 d后进入冬眠期, 并发育到2龄期, 将温度降至5~9℃饲养90 d, 全部幼虫发育到2龄末期; 云南蝠蛾初孵幼虫养殖60 d后发育到2龄末期。2龄末期时, 在超净工作台上将养殖盒中的虫和土倒在洁净的医用搪瓷盘内, 分别检查和统计各虫种的存活数量。在养殖过程中每天开启养殖室通风换气系统, 换气15 min, 同时开启紫外灯照射30 min, 土壤干燥时用凉开水平加湿。

1.2.3 2龄末期至蛹期迁移行为观察

各虫种试验设置、卵的孵化、1~2龄期的饲养方法同1.2.2节。将幼虫饲养到2龄末期后, 将养殖盒移到养殖盆中饲养。在移动前先在养殖盆中放入20 cm深的土壤, 捡去养殖盒中残余饲料, 将养殖盒移到养殖盆正中央, 从底部剪去盒壁, 并小心除去盒壁, 立即用土壤埋藏, 加土壤深度达到30 cm, 然后在土壤表面放置新鲜饲料, 饲料的前后、左右间隔约1~1.5 cm, 使饲料处于半埋状态。养殖盆口用无纺布盖住, 并用橡皮筋扎好, 预防幼虫迁出盆外遗失而影响试验结果。

2龄期后供试蝠蛾幼虫继续在黑暗条件下养殖, 因各虫种发育历期不同, 2龄后须采用不同的温度养殖。从2龄末期开始, 云南蝠蛾发育到蛹期的养殖温度及时间为9~13℃90 d、5~9℃90 d和9~13℃70 d; 白马蝠蛾和人支蝠蛾为9~13℃270 d、5~9℃120 d和9~13℃80 d。养殖过程中每30 d观察取食情况, 及时补充饲料。养殖土壤加湿、养殖室通风、紫外灯灭菌同1.2.2节。

蛹期, 按后述方法界定和划分迁移范围, 测量和统计在各个迁移范围内的蛹存活数量, 随机选择各虫种各个处理的1个重复, 测量迁移距离、方位、数量, 绘制蛹在土壤中的平面分布图。幼虫在土壤中的迁移距离为与地面平行的横向迁移距离。迁出边界以原养虫盒的上下口直径的平均值界定, 即以原养殖盒正中央为圆点, 半

径5.5 cm以外为迁出范围。在蛹期，蛹的栖息场所均位于养殖盆底部，幼虫迁移的最远界线以盆底边缘为界。将迁移范围从迁出边界开始由近到远依次分为0~5 cm、>5~10 cm、>10~15 cm和>15~20 cm。

1.2.4 数据统计与分析

试验数据采用SAS 8.0软件进行统计分析，采用单因素方差分析法(ANOVA)比较不同蝠蛾种类1~2龄幼虫和蛹的迁移行为，应用Duncan法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 1~2龄虫的迁移行为

由表1可知：各供试虫种1~2龄虫的迁移行为存在显著差异。人支蝠蛾初孵幼虫从孵出的第

3天开始迁移，白马蝠蛾初孵幼虫从第6天开始迁移，且投放的卵越多迁出的幼虫越多，迁移持续的时间越长；云南蝠蛾在1~2龄虫阶段不迁移。人支蝠蛾初孵幼虫为每盒平均90.4条时，迁出的数量最多，迁出数量平均65.6条，迁移时间最长，平均37.4 d。在试验设置的最小密度下，白马蝠蛾不迁移，但人支蝠蛾仍有迁移。

在观察统计2龄期实际存活数量时未见幼虫死亡尸体。每个饲养用盒土壤体积为766 cm³，根据表1的2龄虫存活数量，可初步确定供试蝠蛾初孵幼虫的适宜养殖密度。实际饲养时，因器皿堆码空隙、预留的通风空隙和操作过道等因素占用养殖空间，养殖空间净利用率为50%~70%。当养殖室空间净利用率为50%时，单位体积蝠蛾2龄虫养殖数量见表2。

表1 不同虫口密度时蝠蛾初孵幼虫的迁移情况 (mean±SD)

Tab. 1 Migration condition of *Hepialus* sp. initial larvae on different population densities

虫种 species	处理 treatment	初孵幼虫数量 initial larva number	初孵幼虫迁移数量 migration larva number	从孵出至迁移开始的时间/d the time from hatching to migration beginning	从迁移至结束的时间/d the time from the migration beginning to finishing	2龄虫存活数量 the 2 nd larva survival number
白马蝠蛾 <i>H. baimaensis</i>	T1	89.6±1.14 A	25.6±3.36 B	6.4±0.55 A	11.8±1.48 B	61.6±4.39 B
	T2	62.4±0.89 A	1.8±0.87 B	9.4±1.14 A	11.2±1.30 A	56.0±3.75 A
	T3	35.0±0.71 B	0 B	0 B	0 B	31.0±1.58 A
人支蝠蛾 <i>H. renzhiensis</i>	T1	90.4±1.14 A	65.6±2.14 A	3.00±0.00 B	37.4±3.85 A	23.0±2.25 C
	T2	63.4±0.55 A	34.6±3.05 A	3.00±0.00 B	11.2±1.30 A	26.0±2.00 C
	T3	36.2±0.45 A	10.6±2.3 A	4.40±0.55 A	9.8±1.48 A	22.8±2.39 B
云南蝠蛾 <i>H. yunnanensis</i>	T1	79.6±1.14 B	0 C	0 C	0 C	70.6±1.82 A
	T2	47.0±1.00 B	0 B	0 C	0 B	42.2±1.92 B
	T3	31.8±0.84 C	0 B	0 B	0 B	29.2±1.64 A

注：同列不同大写字母表示经Duncan法检验不同蝠蛾种类迁移行为种间差异显著($P<0.01$)；下同。

Note: Different capital letters in the same columns indicate significant difference on the migration behavior among different *Hepialus* species by Duncans test; the same as below.

表2 2龄蝠蛾幼虫的适宜饲养密度

Tab. 2 Suitable breeding density of the 2nd larvae

虫种 species	每立方米土壤饲养数 breeding number per cubic meter soil	每立方米养殖空间养虫数 breeding number per cubic meter breeding space
白马蝠蛾 <i>H. baimaensis</i>	77 023	38 512
人支蝠蛾 <i>H. renzhiensis</i>	31 332	15 666
云南蝠蛾 <i>H. yunnanensis</i>	91 384	45 692

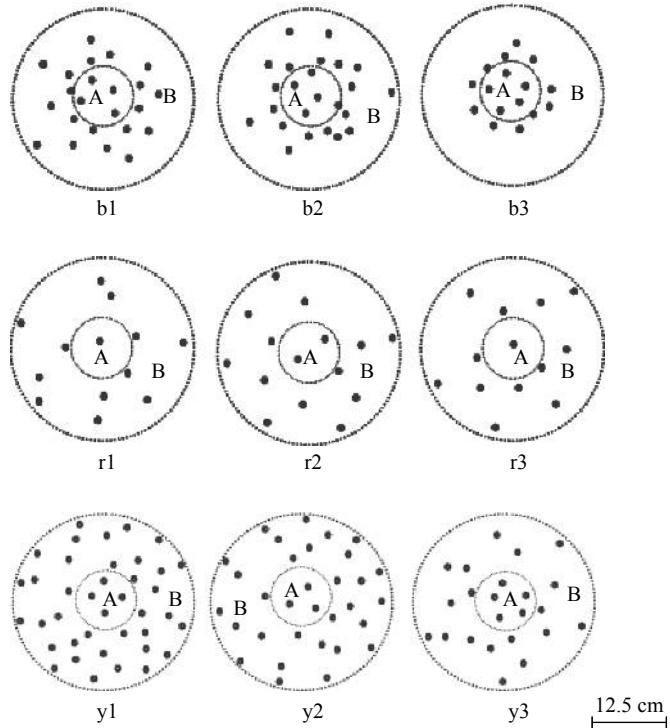
2.2 2龄末期至蛹期的迁移行为

2龄末期后未见迁出到土壤表面的幼虫。幼虫在土壤中从原生存环境向四周迁移，在土壤中形成不同的分布模式(图1)。白马蝠蛾为聚集分

布，在土壤中集中分布于原2龄末期生存环境四周，虫口密度低时聚集分布明显，迁移距离短；人支蝠蛾3个处理的虫口密度无显著差异，均呈均匀分布；云南蝠蛾在虫口密度高时呈均匀分布，虫口密度低时倾向于聚集分布(表3)。蛹在土壤中栖息的深度为15~25 cm，幼虫和蛹有被白色粉状菌包裹或因感染而死亡的现象。

3 讨论

对贡嘎蝠蛾(*H. gonggaensis* Fu et Huang)初孵幼虫迁移行为的初步观察结果表明：该种蝠蛾初孵幼虫的迁移行为与其习性、虫口密度、环境



注: 圆点表示蛹的栖息位置。A. 在原2龄期幼虫生长发育区内的蛹数量; B. 迁出的数量和范围; b1、b2 和 b3. 白马蝠蛾处理1、处理2 和 处理3; r1、r2 和 r3. 人支蝠蛾处理1、处理2 和 处理3; y1、y2 和 y3. 云南蝠蛾处理1、处理2 和 处理3。

Note: Dots represent the habitat of a pupa. A. Pupa numbers in the original growth range of the 2nd larvae; B. Emigration numbers and range; b1, b2, b3. Treatment 1, treatment 2 and treatment 3 of *H. baimaensis*; r1, r2, r3. Treatment 1, treatment 2 and treatment 3 of *H. renzhiensis*; y1, y2, y3. Treatment 1, treatment 2 and treatment 3 of *H. yunnanensis*.

图1 不同种蝠蛾蛹在容器中的生长发育位置示意图

Fig. 1 Growth sites of *Hepialus* pupae in containers

表3 蝶蛾2龄末期至蛹期在土壤中的迁移情况

Tab. 3 Migration condition of *Hepialus* sp. after the end of the 2nd larvae

虫种 species	处理 treatment	在原生长范围的蛹数 pupa number in the original growth range	迁出范围及其数量 emigration range and its number				蛹存活数 survival number
			0~5 cm	>5~10 cm	>10~15 cm	>15~20 cm	
白马蝠蛾 <i>H. baimaensis</i>	T1	4.0±1.00 A	10.2±1.92 A	5.6±1.82 A	3.2±0.84 B	1.2±0.45 C	24.2±2.17 B
	T2	4.4±1.14 A	10.2±2.39 A	4.6±1.34 AB	3.0±0.71 B	1.4±0.55 C	23.6±2.19 B
	T3	4.6±0.89 A	10.4±1.52 A	2.0±1.00 B	0.0 C	0.0 B	17.0±1.41 B
人支蝠蛾 <i>H. renzhiensis</i>	T1	1.6±0.55 B	2.0±0.71 C	2.2±0.84 B	3.4±0.55 B	3.8±1.64 B	13.0±2.12 C
	T2	1.8±0.45 B	1.8±1.30 C	2.6±1.52 B	2.4±1.14 B	4.8±1.79 B	13.4±2.07 C
	T3	1.6±1.14 B	1.8±1.48 C	2.8±1.10 B	2.6±0.89 B	3.6±1.82 A	12.4±2.14 C
云南蝠蛾 <i>H. yunnanensis</i>	T1	4.2±1.12 A	6.4±1.16 B	7.0±1.58 A	9.2±1.48 A	10.0±2.12 A	36.8±4.15 A
	T2	4.6±1.52 A	5.4±1.82 B	6.4±1.67 A	7.6±1.95 A	8.0±2.24 A	32.0±2.12 A
	T3	4.4±1.14 A	4.8±1.79 B	5.2±1.30 A	5.6±1.34 A	4.4±1.63 A	24.4±1.34 A

湿度、栖居场所、食料等因素有关^[6]。本研究重点考察虫口密度对蝠蛾幼虫迁移行为的影响, 首次将研究时间延长至蛹期, 首次采用将卵投入到养殖环境的方法研究蝠蛾初孵幼虫的迁移行为, 研究结果更贴近自然, 研究方法侧重于实践应用, 结果表明: 不同种的蝠蛾幼虫迁移行为有差异, 发育到蛹期时在土壤中形成不同的分布模式。

蝠蛾因初孵幼虫的迁移行为不利于集中养殖^[7], 在养殖过程中产生外逃现象^[7]。本研究表明: 在其他饲养条件相同的情况下, 只要控制好蝠蛾初孵幼虫的虫口密度, 可在室内进行集中养殖。对不同种的蝠蛾应在实践验证的基础上确定单位体积下初孵幼虫的养殖密度。根据本研究结果: 用敞口容器饲养时, 白马蝠蛾、人支蝠蛾初

孵幼虫在土壤中的饲养密度可分别确定为 77 000 条/m³、31 000 条/m³，该数据根据 2 种蝠蛾的 2 龄幼虫存活数量推测而得，可确定为最大养殖密度。而云南蝠蛾在本研究设定的最大虫口密度下不迁移，表明在此基础上还可提高其饲养密度，其最高饲养密度还需要进一步的验证。利用密闭透气的养殖容器或许可以阻断蝠蛾初孵幼虫的迁移，从而提高有迁移习性种类的养殖密度，但需要开展进一步的研究工作，准确查清此养殖模式下蝠蛾的存活率及繁殖力。人支蝠蛾初孵幼虫表现出强烈的迁移习性，是因为本研究所设定的环境条件不适，或是因为其固有的生物学特性，还需要进一步的研究。

在本研究设定的饲养条件下，2 龄末期幼虫存活数量并不等于初孵幼虫迁移后的剩余数量，在初孵幼虫到 2 龄期的生长阶段存在未知死亡因素，可能被病菌感染死亡后，因尸体腐烂而未能观察到；在 2 龄末期后的饲养过程中有因病菌感染引起的死亡，可能由粉状拟青霉 [*Paecilomyces farinosus* (Dick ex Fr.) Brown et Smith] 感染所致^[8]。这些致死因素尚待进一步研究。

蝠蛾幼虫在土壤中可能经过曲折的迁移路线才达到测量时的位置，本研究得到的数据尚不能代表蝠蛾在土壤中的实际迁移距离。此外，由于

难以选择到尺寸精确的养殖器皿，2 龄末期后迁移行为的研究观察存在迁出边界定位和迁移范围划分不够精确的缺陷，但研究结果仍反映出了供试蝠蛾在室内养殖条件下的基本迁移规律。本研究为蝠蛾的饲养提供了一种确定初孵幼虫饲养密度和单位空间饲养量的方法，有利于制定科学的饲养规范，提高养殖效率。

[参考文献]

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典 2015 版:一部[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015.
- [2] 刘飞, 李兵, 伍晓丽, 等. 从文献计量分析国内外对冬虫夏草的研究状况[J]. 中国草地学报, 2010, 32(增): 14.
- [3] 杨大荣, 李朝达, 舒畅, 等. 中国蝠蛾昆虫种类和地理分布研究[J]. 昆虫学报, 1996, 39(4): 413.
- [4] 刘飞, 伍晓丽, 尹定华, 等. 冬虫夏草寄主昆虫的生物学研究概况[J]. 重庆中草药研究, 2005(1): 45.
- [5] 孙儒泳. 动物生态学原理[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 1992.
- [6] 曾纬, 银福军. 贡嘎蝠蛾初孵幼虫迁移行为观察[J]. 应用昆虫学报, 2004, 41(3): 265. DOI: [10.3969/j.issn.0452-8255.2004.03.020](https://doi.org/10.3969/j.issn.0452-8255.2004.03.020).
- [7] 钱敏, 曾纬, 刘从军. 贡嘎蝠蛾幼虫外逃及其成活因素的探讨[J]. 重庆中草药研究, 2005(1): 8.
- [8] 曾纬, 陈士江. 冬虫夏草寄主昆虫拟青霉病研究[J]. 中国中药杂志, 2001, 26(7): 455. DOI: [10.3321/j.issn:1001-5302.2001.07.007](https://doi.org/10.3321/j.issn:1001-5302.2001.07.007).

责任编辑: 何馨成