

枯叶蛱蝶规模化人工繁育研究

周成理 史军义 陈晓鸣 易传辉 石雷

(中国林业科学研究院资源昆虫研究所)

摘要:通过对成虫繁殖的空间条件、补充营养、卵期保育和幼虫饲养技术等的研究,找出了枯叶蛱蝶规模化繁育中的关键条件。在 $2\text{头}/\text{m}^2$ 的成虫密度条件下,雌蝶在一个高 3m 、占地 50m^2 的网室空间内平均产卵量达到 245.7 粒; $10\%\sim 20\%$ 蜂糖水溶液能满足成虫营养需要,雌蝶平均产卵量为 $236.8\sim 243.3$ 粒;在蜂糖水中加入 5% 乙醇后,雌蝶平均产卵量最高达到 279.8 粒;将每日产下的卵收集起来在小玻璃瓶内保育,在卵临近孵化时将小瓶夹在寄主叶片附近;幼虫 $1\sim 2$ 龄期间在室外寄主上套袋放养,放养虫口密度为 $100\sim 150$ 头/袋; $3\sim 5$ 龄期在室内饲养,饲养密度为 $600\sim 800$ 头/ m^2 ,室内温度控制在 $19\sim 28^\circ\text{C}$;健康蛹不需要附着在物体下亦能正常羽化,但不宜在低温下贮存。

关键词:枯叶蛱蝶, 规模化, 饲养

中图分类号: S763.42 文献标识码: A 文章编号: 1000-1522(2006)05-0107-07

ZHOU Cheng-li; SHI Jun-yi; CHEN Xiao-ming; YI Chuan-hui; SHI Lei. **Large-scale artificial breeding of *Kallima inachus* Doubleday.** *Journal of Beijing Forestry University* (2006) **28**(5) 107-113 [Ch, 6 ref.] Research Institute of Resource Insects, Chinese Academy of Forestry, Kunming, 650224, P. R. China.

Some essential conditions for the large-scale breeding of *Kallima inachus* Doubleday were studied, including the spatial need and the supplementary nutrients for reproduction, and those for egg hatching, larva growing and pupa emerging. At the density of $2\text{ adults}/\text{m}^2$, each female adult laid 245.7 eggs on average in a net garden of 50 m^2 and 3 m high; $10\%\sim 20\%$ concentration of water solution of honey was adequate for the adults to reproduce, with the average egg-laying of $236.8\sim 243.3$ per female, and an addition of alcohol of 5% concentration in the food can tempt them to feed, with the average egg-laying rising up to 279.8 per female. Eggs laid everyday must be collected into small glass bottles in time to prevent the damage from natural enemies, afterward put aside the foliage of host plant nearing hatching. Larvae of 1st and 2nd instars should be raised on live host plants and protected by a nylon bag, with a density of $100\sim 150$ larvae per bag and those of 3rd to 5th instars could be raised indoors, and the proper density should be $600\sim 800$ larvae/ m^2 , the temperature should be controlled between $19\sim 28^\circ\text{C}$. Pupae emerged perfectly when picked off from the objects they attached, but should not be preserved at low temperatures.

Key words *Kallima inachus* Doubleday, large-scale, breeding

枯叶蛱蝶(*Kallima inachus* Doubleday)属鳞翅目蛱蝶总科蛱蝶科蛱蝶亚科斑蛱蝶族枯叶蛱蝶属^[1],由于其精致的拟态和保护色,被认为是生物进化理论的经典例证之一。该种成虫具有极高的观赏和收藏价值,是众多博物馆、标本室、生态蝴蝶园和昆虫工艺产品中不可缺少的种类,也是学校生物教学和科普宣传的好材料;其保护色的形成机制在遗传学、

军事仿生研究中亦具有重要价值。在自然界,该种主要分布于我国的长江流域及其以南地区,国外分布于越南、缅甸等地,以爵床科马蓝属多种植物为寄主,以滞育成虫越冬^[2]。

对鳞翅目蝶类繁育的研究是随着近年来昆虫生态观赏园的开发而发展起来的。城市蝴蝶园的兴起,对于活体蝴蝶的需求量越来越大,野生蝴蝶种群在

收稿日期: 2005-08-25

<http://journal.bjfu.edu.cn>

基金项目: 国家科技部基础性研究项目(2000DEB100035)、“948”国家林业局引进项目(2005-4-59)、国家林业局野生动植物保护资金项目(2005-56)。

第一作者: 周成理, 博士生。主要研究方向: 资源昆虫生态学及其繁育利用。电话: 13116226123 Email: buttzhou@163.com 地址: 650224 云南昆明白龙寺中国林业科学研究院资源昆虫研究所。

责任作者: 陈晓鸣, 研究员, 博士生导师。主要研究方向: 资源昆虫生态学。电话: 3700672628 Email: xmchen@vit.km169.net 地址: 同上。

数量和质量上已远远不能满足需要,那些具有较高观赏价值的种类的规模化人工繁育成为一项紧迫的任务.一些研究者对金凤蝶(*Papilio machaon* Linnaeus)^[3]、玉带凤蝶(*Papilio polytes* L.)^[4]和中华虎凤蝶(*Luehdorfia chinensis* Leech)^[5]等凤蝶科种类的人工繁育进行了尝试,杨萍等^[6]2005年报道了枯叶蛱蝶的生物学特性和实验量饲养方法,而其更具市场和经济价值的规模化养殖技术目前少见报道.本文作者自1991年开始,对该种峨眉种群的生物学特性、天敌和规模化人工饲养技术等做了全面系统的研究,并实现了其规模化、集约化人工养殖,且连续饲养16代未发现遗传退化.本文即是对该项研究结果的系统报道.

1 材料与方 法

1.1 材 料

9种规格的成虫繁殖园:底部为正8边形,顶部中央平坦,四边形,周边高2 m,以30目尼龙防虫网防止成虫逃逸;中部高2~4 m;占地面积25~300 m².

幼虫放养袋:以70目的尼龙纱网制作,口宽65 cm,袋深90 cm.

幼虫饲养笼:标准饲养笼长、宽、高各80 cm,正面和后面距地面25 cm处各有1根80 cm长的木条,将直径约2~4 cm的实心小竹杆截成78~80 cm长,放置在木条上面,每根相距约15 cm.在竹杆上放置1张孔径0.8~1.0 cm的塑料网.笼的四周及上部以70~75目尼龙纱封闭,下方敞开,供加料的开口留在上部.小型饲养笼长、宽、高各40 cm,其他构造同上.

供试虫源:1996年8月从四川峨眉山伏虎寺(海拔约550 m)采集枯叶蛱蝶的卵和成虫作为人工饲养的种源.成虫放入试验繁殖园内,以半腐烂的李等水果作为补充营养源,繁殖后代作为试验虫源.越冬成虫保存在室外繁殖园内.

主要试验地点:四川峨眉山市符溪镇(海拔450 m).

寄主植物:以大叶马蓝(*Kalimeris cusia*)作为成虫受卵植物和幼虫食料植物.大田栽培大叶马蓝时,以60%遮光率的黑色遮阳网覆盖在距离地面1.8 m的地方.

1.2 方 法

1.2.1 成虫繁殖的空间条件

修建9种规格的成虫繁殖园:A.底面积25 m²,高2 m;B.底面积25 m²,高3 m;C.底面积25 m²,高4 m;D.底面积50 m²,高2 m;E.底面积50 m²,高3 m;F.底面积50 m²,高4 m;G.底面积100 m²,高3 m;H.底面积200 m²,高3 m;I.底面积300 m²,高3 m.以2头/m²的密度,按照1:1比例在各园中同期

投放第1代初羽化雌雄成虫.以1.0 kg半腐烂的李作为成虫的补充营养,每2 d更换一次.以单雌产卵量作为选择修建何种规格繁殖园的依据.

1.2.2 补充营养选择

分别用半腐烂李,5%、10%、20%、30%蜂糖水溶液,15%蜂糖+5%酒精水溶液,在D型繁殖园中饲喂50头初交配第1代雌成虫.李每2 d一换,每次1.0 kg;各种浓度的蜂糖水溶液于每日9:00、11:00、13:00、15:00、16:00和17:00各提供1次,每次100 mL;记载雌蝶每日产卵量.根据雌蝶取食不同成分补充营养后的产卵量和卵的孵化率来确定最佳的补充营养组配.

1.2.3 卵和1龄幼虫保育

1.2.3.1 卵保育

分别将200粒新产卵放置在青霉素瓶和培养皿内在室内变温条件下保育,观察孵化率差异;临近孵化时,将盛卵容器与马蓝叶片相接触,让初孵化幼虫自动爬上植物栖息,至2龄休眠时检查存活率.

1.2.3.2 1龄幼虫对放养和饲养的适应性比较

以采摘的马蓝枝叶,在室内小型饲养笼内以100头/笼的密度饲养初孵幼虫500头(共10组),每2 d更换一次食料;以室内盆栽寄主植物上放养500头幼虫为对照.通过比较幼虫历期、化蛹率和健蛹率,来选择1龄幼虫的放养或饲养模式.

1.2.3.3 初孵幼虫的上叶能力测试

将临近孵化的卵各100粒,分别以清水粘附在寄主叶片上和装在空青霉素瓶内放置于距寄主植物叶片不同的位置,记录初孵幼虫的上叶数和至3龄初的活虫数.

1.2.4 放养虫口密度试验

分别以20、40、60、100、150和200头/袋的密度,在室外寄主植物上套袋放养初孵幼虫600头.幼虫生长至3龄初时记录成活数和死亡数.

1.2.5 3龄幼虫对饲养和放养的适应性比较

以采摘的马蓝枝叶,在室内小型饲养笼内以100头/笼的密度饲养3龄初幼虫500头(共10组),每2 d更换一次食料.以室外田间寄主植物上放养500头作对照.通过比较幼虫历期、化蛹率和健蛹率,来确定放养和饲养模式对于3龄幼虫的适用性.

1.2.6 室内饲养密度试验

分别以200、400、600、800和1 000头/m²的密度,在标准饲养笼内饲养3龄初幼虫各2 000头至化蛹.记载幼虫化蛹数、健蛹数和畸形蛹数量.以最高健蛹率来确定最佳的养殖密度.

1.2.7 室内饲养的温度条件

将室内温度分别调节至15、20、25、30和35℃水

平, 以 600 头/m² 的密度各饲养 2 000 头 3 龄初幼虫. 比较各温度条件下幼虫化蛹率和健蛹率的差异.

1.2.8 蛹的羽化和贮存

1) 选取 200 只外表健壮的蛹, 将其尾部悬挂在毛巾下; 另以 200 只蛹平放于木板上, 观察羽化情况.

2) 选取外观健康的第一代蛹 900 头分为 9 组, 每组 100 头, 分别保存在 5、8 和 12℃ 冷藏箱内, 每周取出喷一次水. 分别在 5、10 和 20 d 后取出, 检查其羽化情况. 以 100 头蛹在室内自然变温条件下羽化为对照.

2 结果与分析

2.1 不同空间条件的成虫产卵量

本实验设计建造了 9 个不同空间的成虫繁殖园. 在繁殖园 A、B 和 C 中, 单雌平均产卵量分别为 56.3、124.5 和 157.4 粒. 在繁殖园 E、F 和 G 中, 单雌平均产卵量最高, 分别为 245.7、258.4 和 247.3 粒 (图 1), 且无明显差异.

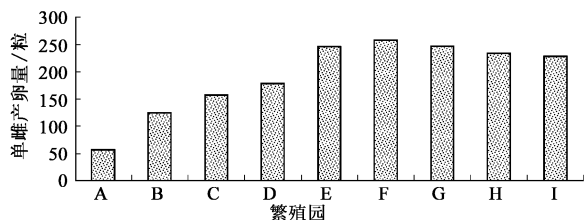


图 1 枯叶蛱蝶雌蝶在不同空间繁殖园内的产卵量
FIGURE 1 Egg production ability of female *K. inachus* in different size gardens

在占地面积更大的 H 和 I 园内, 单雌产卵量反而下降. 这与侵入园内的鼠类、蜘蛛、螳螂等成虫天敌难以及时清除, 造成部分成虫受害有关. 此外, 在较大的园中, 雌蝶产卵飞行范围过大, 减少了有效产卵时间; 有些卵分散在泥土和寄主附近物体上, 给收集造成困难, 造成计数误差.

繁殖园是枯叶蛱蝶成虫取食、交配、产卵和栖息的人工小生境. 在园内, 成虫喜群栖于荫凉的角落或大树的枝叶下, 并产卵在这些地方的寄主上. 成虫在园内表现出明显的向光性, 且趋向角落处试图逃逸. 雌蝶将卵分散产在各处寄主上. 雄蝶有占地习性, 故当园内空间低矮或狭小时, 外逃趋向较为强烈. 雌蝶只交配 1 次 (极少情况下会被迫交配 2 次), 交配后的雌性温顺, 寻找寄主产卵时常近地面飞行, 这可能与野生天然寄主植物的高度一般在 1 m 以下有关.

因此, 枯叶蛱蝶成虫繁殖对空间的要求较低. 在 2 头/m² 的密度条件下, 一个高 3 m、占地 50 m² 的网室空间已完全适宜其取食、交配和产卵等活动.

2.2 获取不同补充营养后的雌虫产卵量

分别以半腐烂的李, 5%、10%、20%、30% 蜂糖水溶液, 以及 15% 蜂糖 + 5% 乙醇混合水溶液喂养成虫, 雌蝶平均产卵量分别为 261.4、202.9、243.3、236.8、183.6 和 279.8 粒. 在蜂糖水中加入 5% 酒精吸引成虫取食, 雌蝶平均产卵量最高; 半腐李的效果居其次. 当蜂糖浓度降至 5% 和达到 30% 时, 卵的发育受到一定影响, 单雌产卵量有所下降 (图 2).

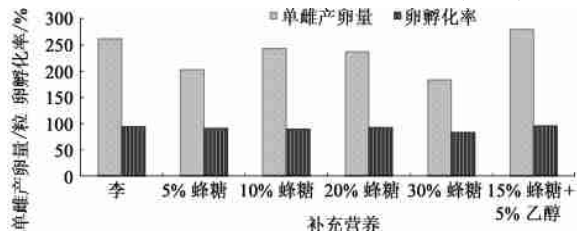


图 2 取食不同补充营养后枯叶蛱蝶雌蝶产卵量比较
FIGURE 2 Comparison of egg production ability among female *K. inachus* fed by different nutrients

因此, 10%~20% 蜂糖水溶液基本能满足成虫营养需要. 枯叶蛱蝶成虫对乙醇有强烈的趋向性, 可以帮助其迅速找到食物. 这也可能是用发酵李喂养成虫产卵量较高的原因, 因其中含有一定浓度的乙醇. 乙醇仅起诱食作用, 还是具有营养价值, 目前还不十分清楚. 过高浓度的蜂糖可能是引起成虫吸收或消化的障碍, 从而导致寿命缩短、产卵量和孵化率降低.

2.3 卵和初龄幼虫保育条件

2.3.1 卵保育

在自然条件下, 雌蝶单粒分散产卵, 约 97% 的幼虫在孵化后不久取食卵壳. 为了防止天敌对卵的危害, 在大规模饲养生产中, 必须将卵及时收集起来在室内保育. 当卵堆积在小瓶内时, 绝大多数初孵化幼虫不能取食卵壳, 而是急于爬到卵堆表面. 重叠在青霉素瓶内的 200 粒卵孵化率为 88.0%, 而卵分散在培养皿内时孵化率为 84.5%, 无显著差异; 2 种不同方式保育的卵孵化出的幼虫成活率也无显著差异, 分别为 83.0% 和 81.1% (图 3). 这表明卵壳物质非幼虫发育所必需.

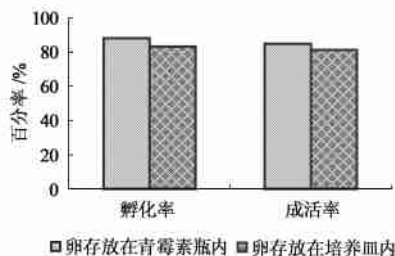


图 3 2 种方式保育卵的孵化率和幼虫成活率比较
FIGURE 3 Hatching rates of eggs preserved in two different ways

2.3.2 初孵幼虫的爬行上叶能力测试

让在室内保育的卵孵化出的幼虫及时回到寄主植物上,取食到幼嫩叶片对于其成活至关重要.同日收集的、保育在室内的卵孵化整齐,91.3%会集中在24 h内孵化,难以用人工方法将初孵幼虫转移到寄主叶片上.将临近孵化的卵直接粘附(如用毛笔涂抹)在幼嫩叶片上是一种为幼虫考虑的好方法,但卵极易散落到地面,在规模化生产上难以操作.必须以一种简便有效的方式使幼虫及时找到叶片定栖.在卵临近孵化时,用夹子将盛卵小瓶夹在距离适龄叶片一定距离的地方,观察初孵幼虫上叶定栖的能力和成活力(图4).

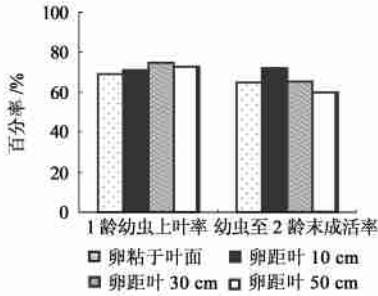


图4 初孵化幼虫的爬行上叶能力

FIGURE 4 Ability of larvae early hatched to crawl and get on the leaves

从图4可见,即使在距离寄主叶片50 cm处,上叶率也达72.9%,幼虫至2龄末的成活率为60.0%,与对照组无显著差异.因此,初孵幼虫具有较强的活动能力,能够在远离寄主的地方发现食物.

2.3.3 幼虫自1龄始在室内饲养对幼期生长发育的影响

放养和饲养是鳞翅目幼虫饲养的2种基本模式.与室外相比,室内环境条件稳定,天敌种类和数量较少,因此是理想中的幼虫饲养场所.但1~2龄期幼虫食量很小,且分散栖居在叶片背面.枝叶少时,绝大多数幼虫根本不上叶,在四处游荡中饿死;若提供大量枝叶,低龄幼虫食量很小,长时间取食不完,叶片变黄,食后多罹病死亡.室内集群饲养小虫时遇到的最大问题是枝叶失水,频繁更换食料工作量极大,且易造成小虫受伤.以盆栽寄主在室内放养又将花费极多的人工,大幅增加生产成本.

本研究以在室内盆栽马蓝上放养为对照,比较在室内以采摘马蓝枝叶饲养初孵幼虫至化蛹的化蛹率和健蛹率.与室内放养相比较,初龄枯叶蛱蝶幼虫群体在室内饲养至化蛹的幼虫历期延长4.5 d,化蛹率(幼虫成活率)也较低.但室内饲养的健蛹率却高于对照22.7个百分点(图5).这主要是因为老熟幼虫在枝条下部叶片下面化蛹,发育慢的幼虫在叶片下爬动或将叶片取食时造成表皮未硬化的蛹脱落致

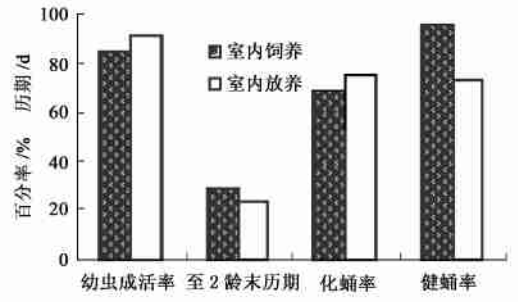


图5 幼虫自1龄初在室内饲养对生长发育的影响

FIGURE 5 Growth of larvae raised in cages from 1st to 5th instars

畸.因此,1龄期小虫适宜放养,而不适宜饲养.前已述及,转移1龄小虫容易造成机械损伤,而且2龄幼虫的习性、虫体大小和食量与1龄接近.因此,大规模生产上1~2龄期只宜连续放养.

2.4 1龄幼虫放养的虫口密度

刚出卵壳的幼虫迅速爬到枝梢的嫩叶下面定栖下来,自然状态下一片叶背面只固定一头.当大量幼虫被高密度地限制在一株植物上时,仍能见2~3头幼虫栖息在同一叶片下的情况.2龄幼虫仍喜栖息在嫩梢,但在虫口密度大时,部分个体不得不向下部较老的叶片转移.随着虫口密度增加,当叶面不能提供充足的栖息位置时,部分幼虫将死亡.用口宽65 cm、袋深90 cm的标准放养袋,分别以20、40、60、100、150和200头/袋的密度放养初孵幼虫至3龄初,幼虫成活率见图6.随着放养袋内虫口密度增大,幼虫成活率从95.3%降至53.2%,死亡率从4.7%上升至46.8%(图6).

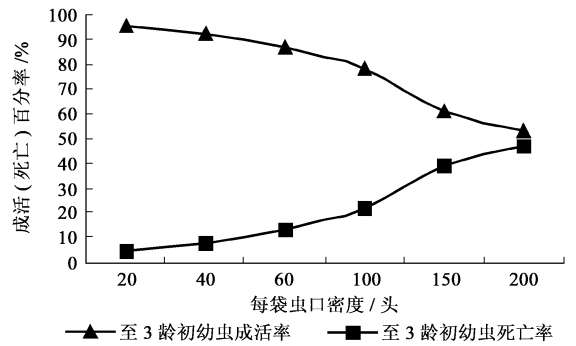


图6 密度对放养初龄幼虫生长的影响

FIGURE 6 Effects of density on the living of larvae fed in live hosts

导致高密度放养时幼虫死亡增多的主要原因有两个:①由于幼虫习性分散栖居,密度过大,幼虫定叶场所不足,四处乱爬,在游荡中死亡;②大量粪便和幼虫分泌的丝垫交织在一起,积留在叶片上,严重污染食物,幼虫食后罹病.但过低的虫口密度在实现很高的幼虫成活率的同时,也增加了工作量.因此,生产上应选择每袋内放养100~150头的幼虫放养密度.

2.5 幼虫自3龄始在室内饲养的生长发育

幼虫进入3龄后转入笼内饲养,至化蛹的历期

为20.0 d, 幼虫化蛹率为84.2%, 与对照放养组的82.8%无显著差异; 而其健蛹率98.1%高于放养群体的健蛹率(74.6%)。幼虫在放养袋内生长至3龄期, 食量和抗机械损伤的能力都大幅提高, 转移方便。因此, 自3龄期开始, 枯叶蛱蝶幼虫应采用饲养模式在室内饲育(图7)。

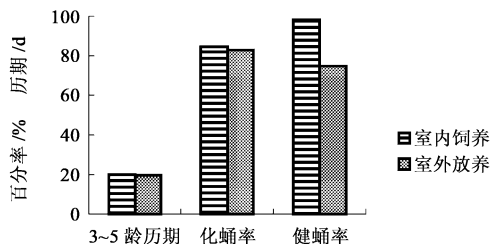


图7 幼虫自3龄始在室内饲养和室外放养的生长发育情况比较

FIGURE 7 Comparison of larva growth raised indoors and outdoors from 3rd instar

2.6 饲养幼虫的虫口密度

随着密度增加, 幼虫化蛹率从88.4%降至71.4%, 健蛹率从92.9%降至69.5%, 而畸蛹率则自6.4%升至26.8%, 病蛹率从12.2%升至31.3%(图8)。

室内饲养面临的主要问题是疾病传染和化蛹空间不足。虽然在600~1000头/m²虫口密度下, 幼虫化蛹率都非常接近, 但当饲养密度达到1000头/m²时, 畸蛹率和病虫(蛹)率急剧上升。室内饲养中幼虫死亡的主要原因是罹病。由于幼虫体表密布尖硬棘刺, 且头角很脆, 相互磨擦极易导致表皮损伤和头角断裂, 从而感染疾病。此外, 末龄幼虫有相残行为, 尤

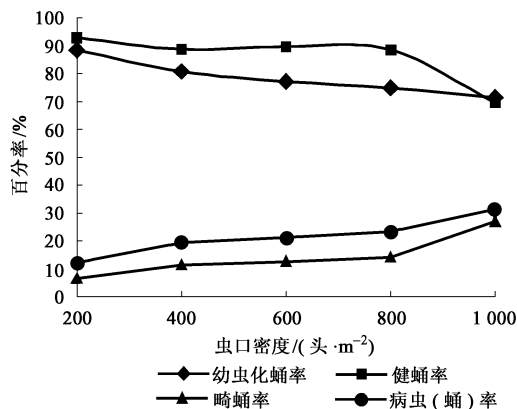


图8 幼虫在不同密度下饲养的生长发育比较

FIGURE 8 Growth comparison of larvae raised at different densities

其是在取食虫口密度高时, 除了互相撕咬, 一部分幼虫还会爬到饲养笼下部取食新化的蛹。老熟幼虫喜欢在饲养笼下部相对荫暗的场所化蛹, 大量幼虫群集在这些角落, 互相拥挤, 造成大量前蛹、新蛹脱落或受伤, 形成畸形蛹和病蛹。但饲养虫口密度越低, 饲养同等数量幼虫占用的场地越大, 需要的器具越多。因此, 生产上应采用600~800头/m²的饲养虫口密度。

2.7 室内饲养的温度条件

在20、25和30℃下, 1~4龄期都能正常生长发育, 成活率均在86.6%以上, 但末龄幼虫和蛹期在30℃时死亡率增加。在15和35℃两个温度下, 枯叶蛱蝶幼虫各龄期的成活率都低于另外3个处理。15℃下1龄幼虫行动迟缓, 取食很少, 成活率只有65.0%, 5龄期的成活率为74.1%; 而在35℃下, 1~4龄期尚有较高成活率, 5龄幼虫成活率只有

表1 不同温度下室内饲养的枯叶蛱蝶幼虫的生长发育

TABLE 1 Effects of temperature on larva living and pupating

处理温度/℃	供试幼虫数/头	初龄幼虫		2龄幼虫		3龄幼虫		4龄幼虫		5龄幼虫		蛹	
		成活数/头	成活率/%	成活数/头	成活率/%	成活数/头	成活率/%	成活数/头	成活率/%	化蛹数/头	化蛹率/%	羽化数/头	羽化率/%
15	300	195	65.0	173	88.7	162	87.9	147	90.7	109	74.1	23	21.1
20	300	281	93.7	267	89.0	252	94.4	245	97.2	233	95.1	218	93.6
25	300	273	91.0	266	97.4	257	96.6	249	96.9	231	92.8	224	97.0
30	300	265	88.3	251	94.7	236	94.0	205	86.9	157	76.6	103	65.6
35	300	214	71.3	183	85.5	154	84.2	117	76.0	51	43.6	12	23.5

注: 相对湿度为57%~68%。

表2 室外自然温度下饲养的枯叶蛱蝶幼虫生长发育情况(四川峨眉, 2001年)

TABLE 2 Living rates of larvae raised in cages outdoors (2001, at Emeishan Mountain, Sichuan Province)

供试幼虫世代	温度/℃ 湿度/%	供试幼虫数/头	初龄幼虫		2龄幼虫		3龄幼虫		4龄幼虫		5龄幼虫		蛹	
			成活数/头	成活率/%	成活数/头	成活率/%	成活数/头	成活率/%	成活数/头	成活率/%	化蛹数/头	化蛹率/%	羽化数/头	羽化率/%
第1代(室内)	19~27 62~94	300	265	88.3	251	94.7	240	95.6	219	91.3	199	90.9	173	86.9
第2代	室内 24.4~29.5 60~82	300	278	92.7	255	91.7	241	82.4	211	87.6	193	91.5	160	82.9
	室外 23.4~33.5 58~88	300	273	91.0	247	90.5	206	83.4	152	73.8	66	43.4	34	51.5

注: 室外为田间遮雨棚内。

43.6%，蛹的羽化率仅为23.5%（表1）。1~4龄期幼虫显然对高温有较强的耐受力。

低温造成幼虫取食减少、龄期延长，而在幼虫生长后期则影响蛹的发育。在高温下，蛹的羽化率低可由3个原因引起：第一，幼虫在高温下容易感染病菌，死亡率和病蛹率上升；第二，高温直接杀死一部分蛹；第三，高温下食料失水快，幼虫取食后营养不良，对疾病抵抗力降低。总的来看，低龄期幼虫对高温有更强的耐受性。

室外自然变温条件下的饲养结果也表明，夏季高温导致枯叶蛱蝶4龄和5龄幼虫大量死亡（表2）。从2001年6月18日雌蝶产卵至7月27日幼虫羽化结束，田间遮雨棚内最低气温24.4℃（6:20），最高气温33.5℃（14:00记录）；白天30℃以上高温可持续3~4h（约13:00—16:30），相对湿度58%~88%条件下，枯叶蛱蝶第2代4龄幼虫的成活率为73.8%，5龄幼虫化蛹率43.4%，蛹的羽化率仅有51.5%，远远低于室内饲养。同样，高死亡率发生在5龄和蛹期。

因此，幼虫饲养室的温度宜控制在20~28℃之间。在这个范围内调节温度高低，可控制产品供应时间。

2.8 蛹的羽化和贮藏

羽化是人工繁育枯叶蛱蝶的最后一步，至此完成一个生产周期。老熟幼虫在饲养笼下部的竹竿下或食料植物枝杆下化蛹，需要将其采摘下来，包装后运输到异地蝴蝶观赏园。脱离附着物后离散平放的正常蛹羽化率高达92.0%，与对照88.0%的羽化率无显著差异（图9）。

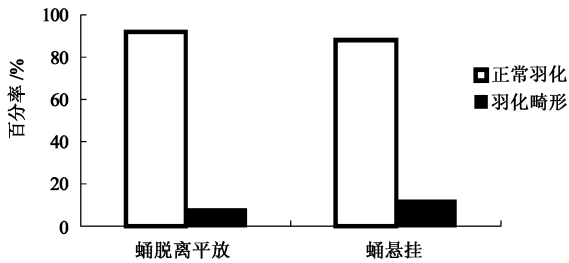


图9 附着与否对枯叶蛱蝶蛹羽化的影响

FIGURE 9 Effects of connection on the emerging of pupae

冷藏蝴蝶蛹的目的是为了调节蛹的供应和蝴蝶观赏园中活蝶的放飞时期。分别将300头枯叶蛱蝶蛹贮存在5、8和12℃下不同时间后，取出在常温下羽化。以300头在常温下羽化作为对照。对照组蛹的羽化率为87.0%，而在5℃贮藏5d后羽化率为56%，低于对照组31个百分点；贮藏10d后，羽化率为12%，20d后全部死亡。在8℃贮藏，其蛹也会受冻伤，20d后的羽化率仅6%；在12℃贮存5d后，羽化率只有72%，低于对照15个百分点。因此，枯叶蛱蝶的蛹不宜在低温下贮藏（图10）。

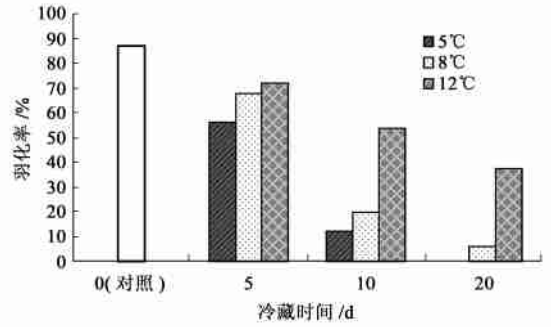


图10 冷藏对枯叶蛱蝶蛹羽化的影响

FIGURE 10 Effects of low temperature on the emerging of pupae

3 讨论

3.1 养殖园选址

枯叶蛱蝶喜欢温暖阴凉湿润的环境，在选址建园时至少有以下6个因素必须加以综合考虑。

1) 纬度和海拔：一般来说，温带地区和高海拔地带不适宜建养殖园，因为马蓝的生长量低或生长期短；在热带地区建园，建在山地高湿度地区效果会更好。大型养殖园建在亚热带地区，尤其是南亚热带最为适宜。

2) 环境条件：要求空气中的尘埃和有毒物质（尤其是含硫、含氟化合物）少，最好靠近空气新鲜的天然常绿阔叶林。

3) 交通便利：有利于原料和产品的运输，以及后勤保障。

4) 土壤与水分：土层深厚肥沃对马蓝生长非常重要，但良好的水分和湿度条件也是枯叶蛱蝶养殖所必不可少的。

5) 地势地貌：要求地势较高，地表平坦，不积水、易于施工和日常管理。

6) 建园面积：通常根据养殖规模确定建园面积。一般情况下，每100 m²地可养枯叶蛱蝶等5000只。此外，还需要留出一定面积建立繁殖园和苗圃。

3.2 成虫滞育对生产造成不利影响

枯叶蛱蝶以滞育成虫越冬。第2代成虫的大多数个体在7月底8月初即行滞育，尽管此时气温还非常适宜其繁殖；第3代雌性个体完全滞育。至少在有的年份，第1代的个别雌性成虫发生滞育，其比例最高可达到15.6%。总的说来，滞育在生产上是不利的。因为在峨眉山，寄主植物马蓝的生长期到11月下旬才结束。过早的滞育发生带来8—9月份虫源的不足，造成饲料浪费。但滞育成虫寿命很长，在观赏经营活动中是有利的。从滞育发生的时间来看，引起成虫滞育的原因可能主要与光照周期有关^[2]，因为自夏至后日照时间渐短。马蓝是常绿小半灌木，叶薄而质脆，即使很老的叶片也完全适宜初孵化幼虫

取食,此时也正处于生长旺期,食物应当不是引起滞育的主要原因.因此,枯叶蛱蝶的这种滞育特性在进化过程中的意义很难解释.有趣的是,部分进入滞育的雌成虫,当受到某种伤害后,能主动解除滞育代谢,卵巢重新开始发育,交配产卵.这种现象是否具有普遍性,还有待进一步研究.为了人工打破其成虫期滞育,需要对诱发滞育的临界条件进行研究.这应是今后研究工作的重点之一.

致谢 感谢资源昆虫研究所峨眉山蝶类生态定位观察点胡芳女士对试验基地的精心管理,本所研究生赵敏和王健敏协助整理资料,在此一并致谢.

参 考 文 献

- [1] 周尧. 中国蝶类志[M]. 郑州:河南科学技术出版社,1999.
ZHOU Y. *Monographia rhopalocerorum sinensium*[M]. Zhengzhou: He'nan Scientific & Technical Publishers, 1999.
- [2] 周成理,史军义,易传辉,等. 枯叶蛱蝶的生物学特性[J]. 四川动物,2005,24(4):445-450.
ZHOU C L, SHI J Y, YI C H, *et al.* Research on biology of *Kallima inachus*[J]. *Sichuan Journal of Zoology*, 2005,24 (4): 445-450.
- [3] 袁荣才,宗秋菊,袁雨. 长白山区金凤蝶的研究[J]. 农业与技术,2000,20(1):36-41.
YUAN R C, ZONG Q J, YUAN Y. Research on *Papilio machaon* in Changbai Mountain [J]. *Agriculture & Technology*, 2000, 20 (1): 36-41.
- [4] 陈志兵,斐恩乐,俞渊,等. 玉带凤蝶的饲养和繁殖研究[J]. 上海农学院学报,1998,16(3):204-208.
CHEN Z B, PEI E L, YU Y, *et al.* A preliminary study on the rearing and breeding of white-banded swallowtail *Papilio polytes* L. (LEPIDOPTERA: PAPILIONIDAE) [J]. *Journal of Shanghai Agricultural College*, 1998, 16(3): 204-208.
- [5] 汪永俊,孙巧云. 中华虎凤蝶的饲养技术及其保护园的建立[J]. 江苏林业科技,1998,25(3):39-43.
WANG Y J, SUN Q Y. An experimental report on rearing technique and establishing conservation garden of *Luehdorfia chinensis* Leech [J]. *Journal of Jiangsu Forestry Science and Technology*, 1998, 25 (3): 39-43.
- [6] 杨萍,漆波,邓合黎,等. 枯叶蛱蝶的生物学特性与饲养[J]. 西南农业大学学报(自然科学版),2005,27(1):44-49.
YANG P, QI B, DENG H L, *et al.* The biology of *Kallima inachus* and its rearing [J]. *Journal of Southwest Agricultural University (Natural Science)*, 2005,27(1): 44-49.

(责任编辑 董晓燕)