环境昆虫学报 2022，44（3）：713－721
Journal of Environmental Entomology
http：//hjkcxb. alljournals. net
doi：10. 3969/j. issn. 1674－0858. 2022. 03. 23



王冰洋，马莹，汤冰洁，黄庭发，周强，张古忍. 基于自然寄主的稻虱缨小蜂规模化饲养的条件优化［J］. 环境昆虫学报，2022，44（3）：713－721.

基于自然寄主的稻虱缨小蜂规模化饲养的条件优化

王冰洋[1]，马　莹[2]，汤冰洁[1]，黄庭发[1]，周　强[1*]，张古忍[1]
（1. 中山大学生命科学学院，有害生物控制与资源利用国家重点实验室，广州 510275；2. 中山大学农学院，广州 510006）

摘要： 稻虱缨小蜂 *Anagrus nilaparvatae* Pang *et* Wang 是稻飞虱卵期的主要寄生性天敌，是调控稻飞虱种群密度的关键因子。本研究用正交试验设计的方法，对影响稻虱缨小蜂及其自然寄主褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 产卵的主要因子（温度、光照强度、水稻品种、水稻苗龄、寄主卵龄以及接蜂雌雄比）进行分析和比较，优化带褐飞虱卵苗生产和稻虱缨小蜂生产的方法和条件。生产带卵苗时，25℃强光照条件下用 10 日龄的黄华占稻苗为佳，扩繁稻虱缨小蜂时，30℃强光照条件下用 1 日龄的褐飞虱卵接入雌雄比 5∶3 的蜂为佳，平均产蜂量可达 481. 3 头/盆。以此为基础建立四室繁蜂法进行稻虱缨小蜂规模化饲养，该技术能够进行连续饲养，并提供同一发育阶段产品，稻虱缨小蜂培养与收集室在 18 m^2 的规模下，每批次可以生产约 58 万头蛹或成蜂，且有提升空间。

关键词： 稻虱缨小蜂；自然寄主；褐飞虱；饲养条件；规模化饲养
中图分类号： Q968. 1；S476　　**文献标识码：** A　　**文章编号：** 1674－0858（2022）03－0713－09

Optimization of mass rearing of *Anagrus nilaparvatae* Pang *et* Wang on natural hosts

WANG Bing-Yang[1]，MA Ying[2]，TANG Bing-Jie[1]，HUANG Ting-Fa[1]，ZHOU Qiang[1*]，ZHANG Gu-Ren[1]（1. State Key Laboratory of Biocontrol，School of Life Sciences，Sun Yat-sen University，Guangzhou 510275，China；2. School of Agriculture，Sun Yat-sen University，Guangzhou 510006，China）

Abstract: The egg parasitoid *Anagrus nilaparvatae* Pang *et* Wang，major natural enemy of rice planthopper，was the key factor to control the population density of rice planthopper. The orthogonal experiment was used to study the effects of temperatures，strengths of illumination，rice varieties，rice seedling ages，host egg ages and inoculation female-male proportions on the oviposition of *A. nilaparvatae* and *Nilaparvata lugens*. Based on those results，the methods to produce seedlings with eggs of brown planthopper and parasitoids were established and optimized. Accordingly，we concluded that it would be better to use 10-day-old rice plant Huanghuazhan in the condition of strong irradiation intensity at 25℃ to produce seedlings with eggs，and it would be better to import 1-day-old brown planthopper's eggs into 5∶3 female-male proportion of parasitoid in the condition of strong irradiation intensity at 30℃ to propagate the parasitic wasps，which yields 481. 3 parasitoid per-tub. Furthermore，a mass rearing method of *A. nilaparvatae* based on four culture rooms was established，which could achieve continuously rear and provide same development stage *A. nilaparvatae*. Our experiment results showed that at least 580

基金项目： 广州市重点项目专题（201804020062）；广东省现代农业产业技术体系创新团队（2020KJ113）
作者简介： 王冰洋，女，1995 年生，内蒙古阿拉善人，硕士研究生，研究方向为害虫生物防治，E－mail：wangbingyang121@qq. com
* **通讯作者** Author for correspondence：周强，男，博士，教授，研究方向为昆虫与植物相互关系，E－mail：lsszhou@mail. sysu. edu. cn
收稿日期 Received：2021－02－25；**接受日期** Accepted：2021－05－27

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

thousand *A. nilaparvatae* pupae or adults were produced in 18 m^2 rearing and collection room every batch.

Key words: *Anagrus nilaparvatae*; natural host; *Nilaparvata lugens*; rearing condition; mass rearing

稻虱缨小蜂 *Anagrus nilaparvatae* Pang *et* Wang 广泛分布于我国各水稻主产区，是飞虱的重要卵寄生性天敌，对迁飞性害虫褐飞虱 *Nilaparvata lugens* Stål 和白背飞虱 *Sogatella furcifera* Horváth 卵的寄生率可达 10% ~80%（毛润乾等，2002；林庆胜等，2009）。稻虱缨小蜂对生态因子如温度（祝增荣等，1991；刘淑平等，2012；王冰洋等，2020）、营养（郑许松等，2003；汪庚伟等，2014）、水稻品种（娄永根和程家安，1996）、化学因子（李婷等，2018；Zhu *et al.*，2018）等的响应方面的研究取得不少成果。目前，利用稻虱缨小蜂防控稻飞虱的工作主要是保护田间稻虱缨小蜂种群，利用天敌田间种群的自然控害能力。如，种植显花植物和诱虫植物增加寄生蜂种群密度，调整杀虫剂使用时间和种类提高天敌的存活率（朱平阳等，2015；Zhu *et al.*，2020）。另外，以植物挥发物为中心的“植物－稻飞虱－稻虱缨小蜂”三级营养关系也有较深入的研究，验证了多种水稻和田埂植物挥发物对稻虱缨小蜂的吸引或趋避作用，展现出巨大的生防应用潜力（汪鹏和娄永根，2013；Mao *et al.*，2018；Hu *et al.*，2020；Li *et al.*，2020）。

保护和利用田间稻虱缨小蜂种群能够为当前稻飞虱治理工作提供重要的技术手段，但稻飞虱种群的爆发具有突然性和毁灭性，而田间稻虱缨小蜂的高峰期明显滞后于稻飞虱的大发生时期，以致于在稻飞虱爆发时，寄生蜂无法对害虫进行有效控制，从而造成巨大的经济损失。在以生态系统控制理论为基础的害虫治理策略中，当生态系统的稳定和平衡需要系统外力介入时，适当的介入外力可维持生态系统的平衡和稳定。因此，规模化繁育稻虱缨小蜂，在稻飞虱种群发展的早期或爆发前释放一定数量的稻虱缨小蜂，不仅可以加强其在野外种群的基数，还可以有效抑制稻飞虱的数量，达到持续控害的目的。

目前寄生蜂的主要扩繁方式有 3 种，分别为替代寄主扩繁、人工卵扩繁和自然寄主扩繁。替代寄主扩繁指利用替代自然宿主的宿主进行繁育，该法通常饲养成本低、繁殖过程简洁、易于规模繁殖。常见的有柞蚕卵扩繁松毛虫赤眼蜂 *Trichogramma dendrolimi* Matsumura，蓖麻蚕卵繁育拟澳洲赤眼蜂 *Trichogramma confunsum* Viggiani，米蛾卵扩繁稻螟赤眼蜂 *Trichogramma japonicum* Ashmead 和玉米螟赤眼蜂 *Trichogramma ostriniae* Pang *et* Chen（Zang *et al.*，2021）等。人工卵扩繁指利用人工配制的卵液制成卵卡进行寄生蜂繁育，与替代寄主扩繁相比，使用更加灵活方便，目前已初步应用人工卵繁殖松毛虫赤眼蜂、螟黄赤眼蜂 *Trichogramma chilonis* Ishii 和平腹小蜂 *Anastatus* sp.（刘志诚等，1986；李丽娟等，2008）等。自然寄主扩繁指利用天敌的自然寄主进行繁育，该法具有能保持天敌的生活力和对原寄主的寄生成功率的特点，目前利用自然寄主进行繁育的寄生蜂有丽蚜小蜂 *Encarsia formosa* Gahan、烟蚜茧蜂 *Aphidius gifuensis* Ashmead、白蜡窄吉丁柄腹茧蜂 *Spathius agrili* Yang 和椰心叶甲啮小蜂 *Tetrastichus brontispae* Ferrière 等（Wang *et al.*，2008；Pan and Liu，2014；Liu *et al.*，2015；尹园园等，2018）。

用替代寄主或人工卵扩繁寄生蜂的优势在于经济方便和可以在短时间内获得大量天敌。但寄生蜂的产卵选择受其寄生期经历的影响，代寄主卵或人工卵繁育的寄生蜂，其防控效果常不如自然寄主扩繁的寄生蜂（宋静等，2015）。所以对食性专一的寄生蜂种类，常应用自然寄主进行培养（任顺祥和陈学新，2012）。为满足水稻害虫防控的实际需求，本研究选择褐飞虱卵作为稻虱缨小蜂的繁育寄主，为该蜂的大规模繁育摸索和积累经验。

稻虱缨小蜂繁殖力受寄主卵龄、光照强度、接蜂雌雄比和温度等生态因子的影响。寄主卵龄是影响寄主适合度的重要因子，寄生蜂在寄生前会对寄主的适合度进行检验，排除营养状态不足以支撑子代稻虱缨小蜂发育成熟的寄主（Vinson and Iwantsch，1980）。光照强度则会影响稻虱缨小蜂的飞行能力和交配行为，不适宜的光照条件会降低缨小蜂的最终产卵量（Liao *et al.*，2017）。稻虱缨小蜂既可两性生殖，又可孤雌生殖，雌蜂交配与否会影响子代性比，合适的接蜂雌雄比能够使生产得到的雌性寄生蜂数量最大化。温度影响

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

稻虱缨小蜂的飞行能力、求偶和交配行为、寿命以及生殖力（Nguyen *et al.*，2013；刘莎等，2018；王冰洋等，2020）。针对上述影响稻虱缨小蜂繁殖力的关键因子，本研究采用不同温度、光照强度、寄主卵龄和接蜂雌雄比等参数对稻虱缨小蜂规模繁育技术进行研究，探索适合稻虱缨小蜂规模繁育的最优化条件，研究结果可为今后大规模工业化天敌生产提供参考。

1　材料与方法

1.1　供试昆虫

褐飞虱虫源于 2016 年在广东省华南农业大学苗圃农场采集，用水稻水培苗长期室内饲养，营养液的配制参考 Hoagland 法（毛达如，1994），饲养条件参照尤珂珂等（2018）。

稻虱缨小蜂虫源于 2019 年在广东省华南农业大学苗圃农场用带有新鲜褐飞虱卵的水稻苗诱集，经纯化和鉴定后，以水稻幼苗和褐飞虱混合虫态进行饲养，饲养条件参照王冰洋等（2020）。

1.2　带卵苗生产条件优化

1.2.1　试验因子和水平

标准 L_8（2^7）正交设计表如表 1 所示。带卵苗生产条件选择水稻品种、水稻苗龄、温度与光照强度 4 个因子 2 个水平（表 2），具体试验过程按照表 1 进行。试验实施的顺序按照随机化的原则，依照随机化处理后的正交表实施试验，记录所得数据。

表 1　L_8（2^7）正交设计表

Table 1　L_8（2^7）orthogonal design table

试验号	1	2	3	4	5	6	7
Test number	A	B	A × B	C			D
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

表 2　试验因素及水平

Table 2　Experimental factors and experimental levels

	A-水稻品种 Rice variety	B-水稻苗龄（d） Rice seedling age	C-温度（℃） Temperature	D-光照强度（Lux） Strength of illumination
1	TN1	10	25	32000
2	HHZ	15	30	12800

注：TN1，台中 1 号；HHZ，黄华占。Note：TN1，Taichung Native 1；HHZ，Huanghuazhan.

1.2.2　稻苗培育

育苗盆（长 20 cm × 宽 14 cm × 高 5 cm）中放入 25 g 水稻种子，浸泡洗净，除去秕谷和杂物，用营养液培养，取第 10 天和第 15 天的水稻苗，根据种子的发芽率，平均每盆有 600 ~ 1 000 根可供褐飞虱产卵的水稻苗。

1.2.3　褐飞虱产卵

将一盆长势良好的水稻苗转移至养虫笼（长 25 cm × 宽 25 cm × 高 25 cm，100 目尼龙网）内，接入新羽化 2 ~ 3 d 的雌、雄褐飞虱各 50 头交配、产卵，置于人工气候箱（GXZ-380D 型，浙江宁波江南仪器厂）培养，根据表 2 设定温度和光照，3 d 后移除成虫。

1.2.4　若虫计数

褐飞虱结束产卵 10 d、13 d、16 d 后，统计孵化出的若虫数，将 3 次计数结果的总和粗略定义为褐飞虱产卵量。

1.3　缨小蜂生产条件优化

1.3.1　试验因子和水平

根据 1.2 试验结果选择水稻品种进行此试验。缨小蜂生产条件选择接蜂雌雄比、寄主卵龄、温度与光照强度 4 个因子 2 个水平（表 3），具体试验过程按照表 1 进行。试验实施的顺序按照随机化的原则，依照随机化处理后的正交表实施试验，记录所得数据。

1.3.2　带卵苗生产

利用 1.2.1 方法得到的优化条件生产带卵苗。

1.3.3　缨小蜂产卵

移除褐飞虱成虫，将带褐飞虱卵的苗转移至养蜂笼（规格同 1.2.3 养虫笼）内，用透明玻璃管（Φ1 cm × 7 cm）收集 50 头新羽化（< 8 h）的稻虱缨小蜂雌蜂以及 40 头雄蜂，接入养蜂笼，寄

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

生蜂寄生时间为 2 d，置于人工气候箱培养，根据表 3 设定温度和光照。移除飞虱当天接蜂，寄主卵龄记为 1 d；移除飞虱 3 d 后接蜂，寄主卵龄记为 4 d。

表 3 试验因素及水平

Table 3 Experimental factors and experimental levels

	A-接蜂雌雄比 Inoculation female-male proportion	B-寄主卵龄（d） Host egg age	C-温度（℃） Temperature	D-光照强度（Lux） Strength of illumination
1	5∶1	1	25	32000
2	5∶3	4	30	12800

1.3.4 成蜂计数

出蜂后，连续 3 d 分别记录羽化的雌、雄成蜂数，总和即为稻虱缨小蜂产卵量。

1.4 数据处理方法

利用极差法分析正交试验数据。通过原始数据计算 K 值和 R 值，K = 因素所在列中相同数字所对应的指标值之和，$R = max\{K_1, K_2, K_3\} - min\{K_1, K_2, K_3\}$。极差直观分析法中正交试验数据分析表中 R 越大，表示因素越重要，K 越大，表示产量越高。

2 结果与分析

2.1 带卵苗生产条件的优化

带褐飞虱卵的苗是缨小蜂的寄主来源，褐飞虱卵的数量决定了最终生产缨小蜂的数量。根据正交试验的极差分析方法，比较极值 R，发现影响褐飞虱繁殖力的因子作用效果由高到低分别为温度、水稻品种、水稻苗龄和光照强度，水稻品种和苗龄之间存在相互作用；比较 K 值大小，可知生产带卵苗时以 25℃强光照的条件下用 10 日龄的 HHZ 植株为佳，此条件下，每盆带卵苗上的褐飞虱卵数约为 2 000 头（表 4）。

2.2 稻虱缨小蜂生产条件的优化

根据正交试验的极差分析方法，比较极值 R，发现影响稻虱缨小蜂繁殖力的因子作用效果由高到低分别为寄主卵龄、光照强度、接蜂雌雄比和温度，接蜂雌雄比和寄主卵龄之间存在一定的相互作用；比较 K 值大小，可知扩繁缨小蜂时采用 30℃强光照的条件下用 1 日龄的褐飞虱卵接入雌雄比 5∶3 的缨小蜂为佳（表 5）。

表 4 水稻品种、水稻苗龄、温度和光照强度对褐飞虱产卵的影响

Table 4 Effects of rice variety, rice seedling age, temperature and strength of illumination on the oviposition of *Nilaparvata lugens*

	A	B	A × B	C	D	若虫数 Number of *N. lugens*
1	1	1	1	1	1	1935
2	1	1	1	2	2	617
3	1	2	2	1	2	639
4	1	2	2	2	1	632
5	2	1	2	1	2	1261
6	2	1	2	2	1	549
7	2	2	1	1	1	1173
8	2	2	1	2	2	1670
K_1	3823	4362	5395	5008	4289	
K_2	4653	4114	3081	3468	4187	
k_1	956	1091	1349	1252	1072	
k_2	1163	1029	770	867	1047	
R	830	248	2314	1540	102	

注：K_i，水平号为 i 的试验结果之和；$k_i = K_i/s$，s 为列上各水平出现的次数；$R = \max\{K_1, K_2, K_3\} - \min\{K_1, K_2, K_3\}$。下表同。Note: K_i, The sum of test results with level i; $k_i = K_i/s$, s was the number of occurrences of each level in the column; $R = \max\{K_1, K_2, K_3\} - \min\{K_1, K_2, K_3\}$. The same below.

根据正交试验获得的最佳的因子和水平组合，采用 30℃强光照的条件下用 1 日龄的褐飞虱卵接入雌雄比 5∶3 的缨小蜂进行验证试验，重复 3 次。结果分别为 447、484 和 513 头蜂，平均产蜂量为 481.30 ± 19.10 头，雌性占比约 0.75 ± 0.02，预计在此条件下，1 盆带蜂苗至少可以生产 450 头蜂，其中，雌蜂 340 头，雄蜂 110 头。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 5　接蜂雌雄比、寄主卵龄、温度和光照强度对缨小蜂产卵的影响

Table 5　Effects of inoculation female-male proportion, host egg age, temperature and strength of illumination on the oviposition of *Anagrus nilaparvatae*

	A	B	A × B	C	D	成蜂数 Number of *A. nilaparvatae*	雌性比 Female ratio
1	1	1	1	1	1	508	0.76
2	1	1	1	2	2	218	0.69
3	1	2	2	1	2	218	0.81
4	1	2	2	2	1	382	0.83
5	2	1	2	1	2	547	0.85
6	2	1	2	2	1	554	0.92
7	2	2	1	1	1	219	0.81
8	2	2	1	2	2	215	0.84
K_1	1326	1827	1160	1492	1663		
K_2	1535	1034	1701	1369	1198		
k_1	332	457	290	373	416		
k_2	384	259	425	342	300		
R	209	793	541	123	465		

3　结论与讨论

田间褐飞虱与稻虱缨小蜂种群的发生存在迟滞效应，若能在稻飞虱迁入的第一代或发生早期及时补充天敌，将有助于田间天敌种群的建立，增强对飞虱种群的控制，尽可能减少害虫爆发造成的损失。本实验室曾用米蛾 *Corcyra cephalonica* Stainton、麦蛾 *Sitotroga cerealella* Olivier、斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* Fabricius 和粉纹夜蛾 *Trichoplusia ni* Hübner 等昆虫卵进行稻虱缨小蜂繁育的代寄主试验，均无法成功寄生。故本文初步研究了利用自然寄主褐飞虱规模化繁育稻虱缨小蜂的适宜条件与技术方法，为进一步开发和利用稻虱缨小蜂的生防潜力提供一定的信息。

稻虱缨小蜂自然寄主褐飞虱卵的生产是规模化繁育的前提和基础。温度显著影响褐飞虱的繁殖，31℃时单头雌性褐飞虱的产卵量分别为 25℃的 85.89%，28℃的 71.53%（石保坤等，2014）。本研究选择 25℃作为带褐飞虱卵苗的生产条件，产卵量和产卵高峰都比较适合规模化生产。与 15 日龄水稻苗相比，褐飞虱在 10 日龄的稻苗上产卵量更大，是带卵苗生产的较优选择，除此以外，10 日龄幼苗比大龄幼苗的生长周期要短，使用更方便，成本更低。30℃下稻虱缨小蜂的寿命较 25℃更短，产卵期短而集中，子代的羽化时间会更统一，便于收集。寄主卵龄代表寄主的营养程度，越新鲜的卵内含的营养物质越多，越适合于稻虱缨小蜂的寄生。一般雌性稻虱缨小蜂一生仅交尾 1 次，而雄性稻虱缨小蜂能交配 3 次以上，甚至能达到 7 次（徐国民等，1987），若接入的雄蜂数量不够，极有可能生产出大批量的雄蜂，无法及时用于控害。

根据上述正交试验获得的带卵苗和稻虱缨小蜂生产的最佳条件，本研究总结了规模化生产稻虱缨小蜂的四室繁蜂法。四室分为水稻清洁苗培育室、褐飞虱接种与培养室、稻虱缨小蜂接种室和稻虱缨小蜂培养与收集室（图 1），具体方法如下。

水稻清洁苗培养室：用于生产供褐飞虱产卵的水稻苗。将感温型常规稻品种黄华占种子用清水洗净，除去秕谷、杂物，35℃恒温培养箱内清水浸泡 24 h，再用清水漂洗多次，沥干水分后盖湿毛巾继续 35℃恒温培养箱培养 24 h。选用长方形的白色塑料盆作为育苗盆（长 20 cm × 宽 14 cm × 高 5 cm），每盆播种约 1 300 粒露白种子（干质量约为 25 g），装盆原则是均匀一致，松紧适中，播种后每 12 h 添加营养液，用量以基本没过种子为宜，此时水稻幼苗的根系之间结合较松散，要避免将水稻苗冲散，第 4 天便可正常浇水，10 d 后水稻苗生长至 8 ~ 9 cm 的高度时即可进行下一步褐飞虱接种工作。每批次培养水稻清洁苗 972 盆，其中 810 盆用于稻虱缨小蜂生产，另外 162 盆用于回收的褐飞虱若虫培养。水稻清洁苗培育室的环境条件控制在温度 28 ± 3℃，光周期 16 L∶8 D，RH 80% ± 10%。

褐飞虱接种与培养室：用于生产带褐飞虱卵的水稻苗。此房间面积为 18 m^2，放置 81 个养虫笼（长 55 cm × 宽 55 cm × 高 55 cm，100 目尼龙网），将清洁苗移入养虫笼，一个养虫笼内放置 10 盆清洁苗，每笼接种 500 头褐飞虱雌虫和500 头雄虫，标记日期。接虫 3 d 后，倒置带有褐飞虱卵的水稻苗将褐飞虱成虫抖至清洁苗，检查带卵苗内是否有褐飞虱成虫残余，若有，则利用吸虫器

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

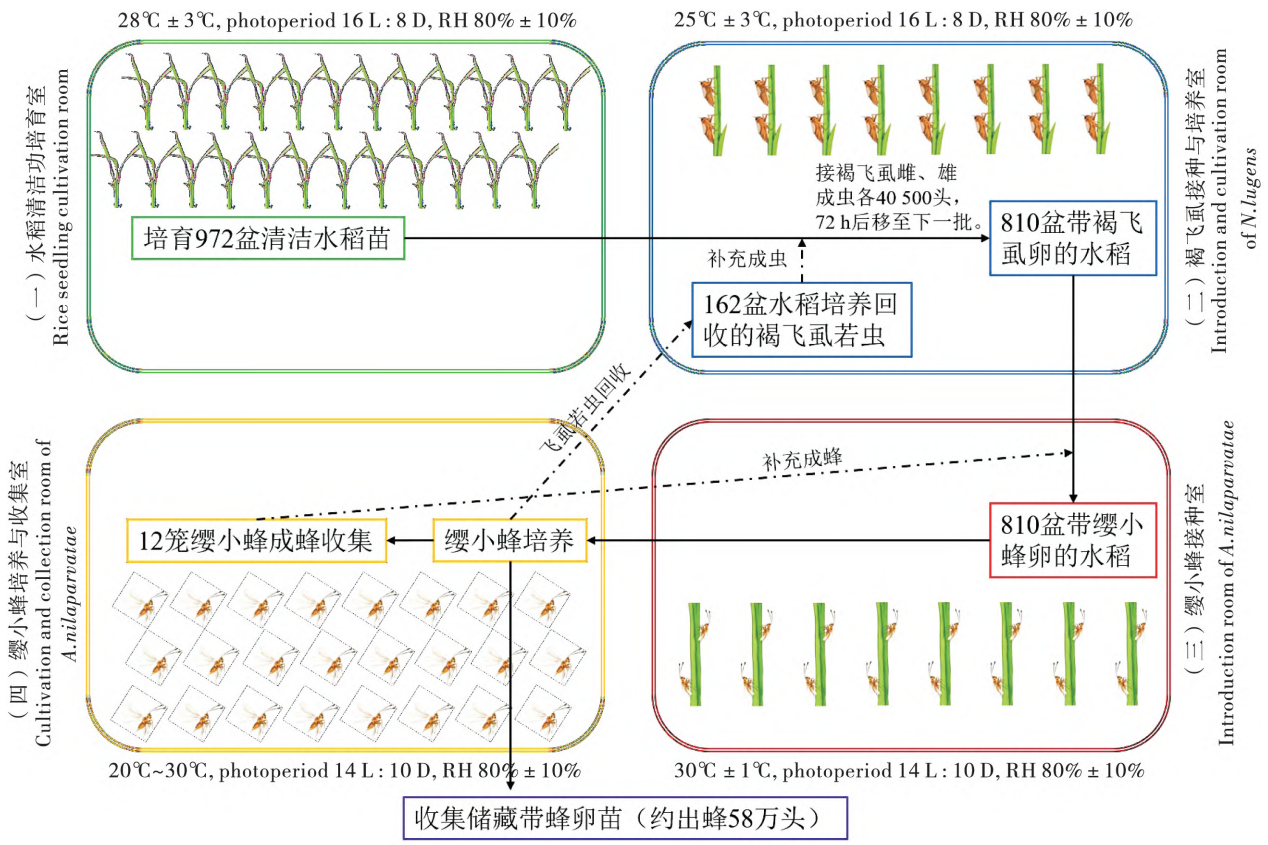


图 1　四室繁蜂法饲养稻虱缨小蜂的流程

Fig. 1　Process of mass rearing method of *Anagrus nilaparvatae* based on four culture rooms

或玻璃指形管（Φ1 cm × 7 cm）转移至养虫笼，每批褐飞虱成虫可生产 2 批带有褐飞虱卵的水稻苗。褐飞虱数量不够时，可用稻虱缨小蜂培养与收集室回收的若虫补充。褐飞虱接种与培养室的环境条件控制在温度 25 ± 3℃，光周期 16 L∶8 D，RH 80% ± 10%。规模化生产前需要准备褐飞虱雌、雄成虫各 4 万头（按照 2. 1 试验结果估算，每盆水稻可饲养出褐飞虱雌、雄成虫各 500 头，准备 81 盆褐飞虱即可），四室法正常运行后回收的飞虱若虫足够下一批次的生产。如果长期繁育，用于产卵的褐飞虱需补充来自田间的种群进行复壮。

稻虱缨小蜂接种室：用于生产带缨小蜂卵的水稻苗。此房间共有 81 个养蜂笼（长 55 cm × 宽 55 cm × 高 55 cm，100 目尼龙网），将带有褐飞虱卵的水稻苗移入养蜂笼内，每个养蜂笼内放置 10 盆带褐飞虱卵的苗，每笼接种 500 头稻虱缨小蜂雌蜂和 300 头雄蜂，标记日期，每 24 h 添加营养液，一般 2 ~ 3 d 后缨小蜂全部死亡，移入缨小蜂培养与收集室。稻虱缨小蜂接种与培养室的环境条件控制在温度 30 ± 1℃，光周期 14 L∶10 D，RH 80% ± 10%。规模生产前需要准备 4 万头雌蜂和 2. 5 万头雄蜂，四室法正常运行后，每次保留的 12 笼蜂足够下一批次的生产。如果长期繁育，用于产卵的稻虱缨小蜂需补充来自田间的种群进行复壮。

稻虱缨小蜂培养与收集室：用于培养与收集稻虱缨小蜂，可根据放蜂计划调整缨小蜂培养与收集室的温度，温度范围以 20 ~ 30℃为宜。这里提供两种收集与释放稻虱缨小蜂的方案，第一种为成蜂收集法，成蜂被收集至管内再进行统一释放，以 30℃为例，接蜂第 8 ~ 9 天后大部分缨小蜂发育至隐成蜂状态，用黑色遮光布将养蜂笼罩住，上方留 4 个圆孔，由于稻虱缨小蜂趋光性很强，可利用透明玻璃管收集成蜂。每盆带有寄生蜂卵的水稻苗可以收集至少 450 头寄生蜂，有 340 头雌蜂，一个养蜂笼可以收集 3 400 头雌蜂，出蜂期将光周期由 14 L∶10 D 调整为 24 L∶0 D，每 4 h 更换新管。收蜂结束后，需要保留部分缨小蜂用于下一批生产，保留和释放的缨小蜂比例为 4∶23，即保留 12 笼稻虱缨小蜂，另外 69 笼收集成蜂后可用于田间释放。此法主要用于为四室繁蜂法提供稳定和充足的蜂源，一般不建议用于田间释放。水

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

稻苗中未被寄生的褐飞虱卵陆续孵化，收蜂前将若虫转移至褐飞虱接种与培养室，供下一批生产使用。每盆收集完成蜂的水稻苗能够生产大留有约 250 头褐飞虱雌成虫，故每两盆若虫集中移至一盆清洁苗内培养，褐飞虱若虫发育至 4 龄时更换一次清洁苗，避免因营养不良发育为繁殖力较低的长翅型，羽化为成虫后可用来继续繁殖褐飞虱或者补充带卵苗生产过程中褐飞虱的损耗。第二种为蜂蛹收集法，在出蜂 2 ~ 3 d 前将水稻苗上的褐飞虱若虫回收再利用（后续操作参见成蜂收集法中对褐飞虱若虫的处理方式），再将带有缨小蜂卵的水稻苗置于 4℃冰箱保存，接蜂 4 d 内的稻苗保存时间最长可达 60 d 左右，故可以根据害虫防控的需要决定储存时间的长度。使用时把冷藏后的带蜂苗置于田间，缨小蜂可自行羽化。

采用上述饲养流程和方法进行稻虱缨小蜂大规模饲养，一个 18 m^2 的稻虱缨小蜂培养与收集室（长 6 m × 宽 3 m）（图 2）内可放置三排置物架，置物架有三层，一个房间总共能放置（8 + 9 + 10）× 3 = 81 个养蜂笼，一个养蜂笼可放置 10 盆苗，每批次可以生产 450 × 81 × 10 = 364 500 头稻虱缨小蜂。如果在每一个养蜂笼中增加两个层架，每笼可以放置带卵苗 16 盒，每批次可以生产 450 × 81 × 16 = 583 200 头稻虱缨小蜂。若增加养虫笼的隔板，每个笼子放置带卵苗的数量可以增加，生产寄生蜂的能力可以进一步提高。

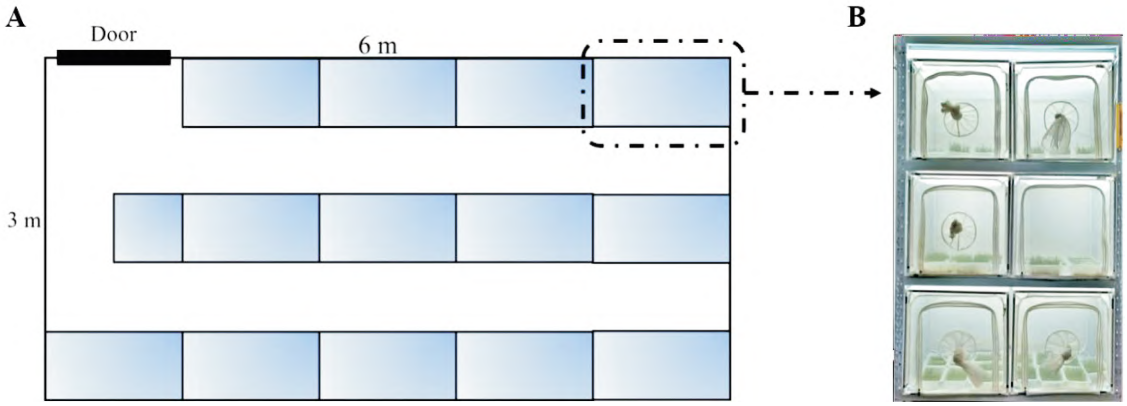


图 2　规模饲养稻虱缨小蜂的房间规划图

Fig. 2　Layout of mass rearing of *Anagrus nilaparvatae*

注：A，平面图；B，三层置物架示意图。Note：A，Planar graph；B，Sketch map of third floor shelf.

根据本研究建立的稻虱缨小蜂四室繁蜂法，缨小蜂培养与收集室在 18 m^2 的规模下，每批次可以生产约 58 万头缨小蜂，生产开始后，可回收充足的褐飞虱若虫进行循环使用，加上回收的成蜂，可以保证持续生产。生产活动刚启动时较难一次性投入上文提及的 4 ~ 6 万头寄生蜂，可先提前准备两笼成蜂，小规模扩繁一批后，就能达到生产初始的需求，出蜂后每批次保留 12 笼寄生蜂作为虫源，便能进行连续生产。因此，如果进行大规模的持续生产和释放，能够及时补充田间稻虱缨小蜂种群的数量，达到控制稻飞虱早期迁入种群密度的目的。本研究仅涉及到稻虱缨小蜂规模化生产中的部分条件，关键因子的数量和水平仍需要进一步增加；初步规划了饲养稻虱缨小蜂的基本条件与流程，其中还有很多技术问题和商品属性问题需要完善，尤其是储存、包装和田间应用技术需要进行更深入的研究。

参考文献（References）

Hu XY，Su SL，Liu QS，*et al*. Caterpillar-induced rice volatiles provide enemy-free space for the offspring of the brown planthopper [J]. *eLife*，2020，9：e55421.

Lin QS，Huang SS，Hu MY，*et al*. Fecundity of *Anagrus nilaparvatae* parasitizing two rice hopper and the evaluation of its application potential [J]. *Acta Ecologica Sinica*，2009，29（8）：4295 – 4302. [林庆胜，黄寿山，胡美英，等. 稻虱缨小蜂 *Anagrus nilaparvatae* 在两种稻飞虱上的生殖力及其应用潜能 [J]. 生态学报，2009，29（8）：4295 – 4302]

Li CZ，Sun H，Gao Q，*et al*. Host plants alter their volatiles to help a solitary egg parasitoid distinguish habitats with parasitized hosts from those without [J]. *Plant，Cell & Environment*，2020，43（7）：1740 – 1750.

Li LJ，Lu X，Zhang GH，*et al*. Studies on storing of the factory product of *Trichogramma chilonis* in low temperature [J]. *Journal of Northeast Agricultural Sciences*，2008，33（3）：27 – 29，36. [李丽娟，鲁新，张国红，等. 螟黄赤眼蜂工厂化产品的低温贮存研究 [J]. 吉林农业科学，2008，33（3）：27 – 29，36]

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

Li T, Wang CP, Jiang NN, *et al.* Attractiveness of rice plant volatiles to *Anagrus nilaparvatae* Pang *et* Wang [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2018, 55 (3): 360 – 367. [李婷, 王成盼, 蒋娜娜, 等. 水稻挥发物对稻虱缨小蜂的引诱效果研究 [J]. 应用昆虫学报, 2018, 55 (3): 360 – 367]

Liao HJ, Shi L, Liu WF, *et al.* Effects of light intensity on the flight behaviour of adult *Tirumala limniace* (Cramer) (Lepidoptera: Nymphalidae: Danainae) [J]. *Journal of Insect Behavior*, 2017, 30 (2): 139 – 154.

Liu S, Lü ZY, Gao HH, *et al.* Research advances on flight capacity of insect [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2018, 40 (5): 536 – 542. [刘莎, 吕召云, 高欢欢, 等. 昆虫飞行能力研究进展 [J]. 环境昆虫学报, 2018, 40 (5): 995 – 1002]

Liu SP, Zheng XS, Yang YJ, *et al.* Impact of temperature on the ecological fitness of successive generations of *Anagrus nilaparvatae* Pang *et* Wang (Hymenoptera: Mymaridae) [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2012, 28 (1): 20 – 26. [刘淑平, 郑许松, 杨亚军, 等. 温度对稻虱缨小蜂生态适应性的持续影响 [J]. 中国生物防治学报, 2012, 28 (1): 20 – 26]

Liu TX, Stansly PA, Gerling D. Whitefly parasitoids: Distribution, life history, bionomics, and utilization [J]. *Annual Review of Entomology*, 2015, 60: 273 – 292.

Liu ZC, Wang ZY, Sun SR, *et al.* Control of *Tessaratoma papillosa* by breeding *Anastatus* sp. with artificial host eggs [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 1986, 2 (2): 54 – 58. [刘志诚, 王志勇, 孙姒纫, 等. 利用人工寄主卵繁殖平腹小蜂防治荔枝蝽 [J]. 生物防治通报, 1986, 2 (2): 54 – 58]

Lou YG, Cheng JA. Effects of rice varieties on the development, survival and reproduction of *Anagrus nilaparvatae* [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 1996, 39 (1): 28 – 36. [娄永根, 程家安. 水稻品种对稻虱缨小蜂发育、存活及繁殖的影响 [J]. 昆虫学报, 1996, 39 (1): 28 – 36]

Mao DR. Methodology of modern plant nutrition science [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 1994, 1: 1 – 5. [毛达如. 近代植物营养科学的方法论 [J]. 植物营养与肥料学报, 1994, 1: 1 – 5]

Mao GF, Mo XC, Fouad H, *et al.* Attraction behaviour of *Anagrus nilaparvatae* to remote lemongrass (*Cymbopogon distans*) oil and its volatile compounds [J]. *Natural Product Research*, 2018, 32 (5): 514 – 520.

Mao RQ, Gu DX, Zhang GR, *et al.* A preliminary investigation on structure and dynamics of egg parasitoid community on the brown planthopper in rice field [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2002, 45 (3): 408 – 412. [毛润乾, 古德祥, 张古忍, 等. 稻田飞虱卵寄生蜂群落结构和动态的初步研究 [J]. 昆虫学报, 2002, 45 (3): 408 – 412]

Nguyen TM, Bressac C, Chevrier C. Heat stress affects male reproduction in a parasitoid wasp [J]. *Journal of Insect Physiology*, 2013, 59 (3): 248 – 254.

Pan MZ, Liu TX. Suitability of three aphid species for *Aphidius gifuensis* (Hymenoptera: Braconidae): Parasitoid performance varies with hosts of origin [J]. *Biological Control*, 2014, 69: 90 – 96.

Ren SX, Chen XX. Biological Control [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2012: 148. [任顺祥, 陈学新. 生物防治 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2012: 148]

Shi BK, Hu CX, Huang JL, *et al.* Modeling the influence of temperature on development, survival and oviposition of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34 (20): 5868 – 5874. [石保坤, 胡朝兴, 黄建利, 等. 温度对褐飞虱发育、存活和产卵影响的关系模型 [J]. 生态学报, 2014, 34 (20): 5868 – 5874]

Song J, Huang J, Wang LY, *et al.* Effects of rearing host on parasitization behavior and capacity of *Trichogramma japonicum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2015, 58 (7): 783 – 790. [宋静, 黄静, 王雷英, 等. 繁育寄主对稻螟赤眼蜂寄生行为及寄生能力的影响 [J]. 昆虫学报, 2015, 58 (7): 783 – 790]

Vinson SB, Iwantsch GF. Host suitability for insect parasitoids [J]. *Annual Review of Entomology*, 1980, 25: 397 – 419.

Wang BY, Huang TF, Ma Y, *et al.* Biological and ecological characteristics of *Anagrus nilaparvatae* thermotolerant strain [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2021, 37 (4): 692 – 700. [王冰洋, 黄庭发, 马莹, 等. 稻虱缨小蜂耐热品系的生物和生态学特征 [J]. 中国生物防治学报, 2021, 37 (4): 692 – 700]

Wang GW, Tian JC, Zhu PY, *et al.* Effects of sugar – rich foods on the longevity, fecundity and pest control capacity of arthropod natural enemies [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2014, 57 (8): 979 – 990. [汪庚伟, 田俊策, 朱平阳, 等. 蜜源食物对节肢动物天敌寿命、繁殖力和控害能力的影响 [J]. 昆虫学报, 2014, 57 (8): 979 – 990]

Wang P, Lou YG. Screening and field evaluation of synthetic plant volatiles as attractants for *Anagrus nilaparvatae* Pang *et* Wang, an egg parasitoid of rice planthoppers [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2013, 50 (2): 431 – 440. [汪鹏, 娄永根. 稻飞虱卵期寄生蜂稻虱缨小蜂引诱剂的筛选与田间试验 [J]. 应用昆虫学报, 2013, 50 (2): 431 – 440]

Wang XY, Yang ZQ, Wu H, *et al.* Effects of host size on the sex ratio, clutch size, and size of adult *Spathius agrili*, an ectoparasitoid of emerald ash borer [J]. *Biological Control*, 2008, 44 (1): 7 – 12.

Xu GM, Zhu ZR, Cheng XN. Studies on the biology of the adults of *Anagrus nilaparvatae* [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 1987, 3: 134 – 136. [徐国民, 祝增荣, 程遐年. 稻虱缨小蜂成虫生物学研究 [J]. 南京农业大学学报, 1987, 3: 134 – 136]

Yin YY, Chen H, Zhai YF, *et al.* Research progress of mass-rearing and application of *Encarsia formosa* [J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2018, 50 (1): 158 – 163. [尹园园, 陈浩, 翟一凡, 等. 丽蚜小蜂的繁育与应用研究进展 [J]. 山东农业科学, 2018, 50 (1): 158 – 163]

You KK, Yuan ZN, Yan J, *et al.* Identification of the electrical penetration graphic waveforms about *Nilaparvata lugens* (Stål) feeding on artificial diet [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2018, 40 (3): 536 – 542. [尤珂珂, 袁志能, 颜静, 等. 褐飞

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

虱取食人工饲料的刺吸电位波形鉴别 [J]. 环境昆虫学报，2018，40 (3)：536 – 542]

Zang LS，Wang S，Zhang F，*et al*. Biological control with *Trichogramma* in China：History，present status，and perspectives [J]. *Annual Review of Entomology*，2021，66：463 – 484.

Zheng XS，Yu XP，Lü ZX，*et al*. Effects of different nutrients on longevity and parasitic ability of *Anagrus nilaparvatae* [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*，2003，14 (10)：1751 – 1755. [郑许松，俞晓平，吕仲贤，等. 不同营养源对稻虱缨小蜂寿命及寄生能力的影响 [J]. 应用生态学报，2003，14 (10)：1751 – 1755]

Zhu J，Li Y，Jiang H，*et al*. Selective toxicity of the mesoionic insecticide，triflumezopyrim，to rice planthoppers and beneficial arthropods [J]. *Ecotoxicology*，2018，27 (4)：411 – 419.

Zhu PY，Zheng XS，Xie G，*et al*. Relevance of the ecological traits of parasitoid wasps and nectariferous plants for conservation biological control：A hybrid meta – analysis [J]. *Pest Management Science*，2020，76 (5)：1881 – 1892.

Zhu PY，Zheng XS，Yao XM，*et al*. Ecological engineering technology for enhancement of biological control capacity of egg parasitoids against rice planthoppers in paddy fields [J]. *China Plant Protection*，2015，35 (7)：27 – 32，56. [朱平阳，郑许松，姚晓明，等. 提高稻飞虱卵期天敌控害能力的稻田生态工程技术 [J]. 中国植保导刊，2015，35 (7)：27 – 32，56]

Zhu ZR，Cheng JA，Chen X. Effects of temperature and food on development，survival and reproduction of *Anagrus nilaparvatae* [J]. *Acta Ecologica Sinica*，1991，11 (1)：66 – 72. [祝增荣，程家安，陈琇. 温度和食物对稻虱缨小蜂发育、存活和繁殖的影响 [J]. 生态学报，1991，11 (1)：66 – 72]

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net