

陈元生, 黄建林, 罗致迪, 等. 林间花绒寄甲种群快速提升的影响因素研究[J]. 福建农业学报, 2025, 40 (3): 307–315.

CHEN Y S, HUANG J L, LUO Z D, et al. Conditions to Rapidly Increase *Dastarcus helophoroides* Population in Pine Forest[J].

Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2025, 40 (3): 307–315.



林间花绒寄甲种群快速提升的影响因素研究

陈元生¹, 黄建林², 罗致迪¹, 范海元³

(1. 江西环境工程职业学院, 江西 赣州 341000; 2. 江西省龙南市林业局, 江西 赣州 341700;

3. 江西省峡江县林业局, 江西 吉安 331409)

摘要: 【目的】探寻影响林间花绒寄甲种群数量积累、快速提升的关键因素, 为林间释放花绒寄甲控制松褐天牛防治松材线虫病的长效控制措施提供安全保障。【方法】于 2020—2023 年在江西部分疫区开展“疫木不砍伐或不清除仅释放花绒寄甲”试验, 通过花绒寄甲亲本来源、体型大小、室内繁育世代数(活性)、释放比率、释放次数等对比试验, 调查分析这些因子对林间花绒寄甲种群密度提升的影响。【结果】疫木不清理有利于林间花绒寄甲种群数量的迅速积累, 而现砍现烧的疫木处理方式则不利于花绒寄甲种群数量积累; 在疫木不清理条件下, 释放当地花绒寄甲种源、室内繁育世代数低(即活性强的 F3 代)亲本、体型更大的个体于林间, 释放比率 1:1 (松褐天牛侵入孔数:花绒寄甲成虫数)、连续释放 3 次(即连续 3 年, 每年 3 月释放 1 次), 这些措施的综合应用可显著、快速提升林间花绒寄甲种群密度, 4 年间可提升 426.16%~706.23%, 是释放前的 5.26~8.06 倍。这些因素综合分析表明, 疫木处理方式是影响林间花绒寄甲快速提升的最重要因素。【结论】释放的花绒寄甲本身特性[包括其亲本来源、体型大小、室内繁育世代数(活性)]、人工释放技术(包括释放时间、释放比率、释放次数)及疫木处理方式等, 是影响林间花绒寄甲种群数量积累、快速提升的关键因素, 可为林业生产上应用花绒寄甲防治松褐天牛控制松材线虫病提供科学依据。

关键词: 花绒寄甲; 松褐天牛; 种群密度; 释放技术; 疫木处理

中图分类号: Q968.2; S763

文献标志码: A

文章编号: 1008-0384 (2025) 03-0307-09

Conditions to Rapidly Increase *Dastarcus helophoroides* Population in Pine Forest

CHEN Yuansheng¹, HUANG Jianlin², LUO Zhidi¹, FAN Haiyuan³

(1. Jiangxi Environmental Engineering Vocational College, Ganzhou, Jiangxi 341000, China; 2. Longnan City Forestry

Bureau of Jiangxi Province, Ganzhou, Jiangxi 341700, China; 3. Xiajiang County Forestry

Bureau of Jiangxi Province, Ji'an, Jiangxi 331409, China)

Abstract: 【Objective】Factors conducive to rapid rise and maintain the *Dastarcus helophoroides* population for a sustainable, long-term control of pine wood nematode disease in a forest were analyzed. 【Method】Experiments were conducted in nematode-infected areas in Jiangxi Province by releasing *D. helophoroides* without cutting down or clearing diseased trees were conducted from 2020 to 2023. Impacts of the body size and indoor breeding generations (activity) of *D. helophoroides* as well as the rate and frequency of the release on the insect density and disease control at the sites were monitored. 【Result】Both the increase rate and accumulation of *D. helophoroides* populations were significantly encouraged by not clearing the infected woods or cutting and burning the diseased trees at the sites. Thus, under the conditions, various *D. helophoroides* release measures were implemented. It was found that the release of the local species from parents with low indoor breeding generations (i.e., the highly active F3 generation) and large body at a rate of 1:1 (i.e., number of nematode invasion holes on trees by *Monochamus alternatus*: number of *D. helophoroides* adults) once in March for 3 consecutive years significantly rose the insect density by 426.16%–706.23% in 4 years. The increase was 5.26 to 8.06 times higher than without the release. 【Conclusion】The experimented method significantly increased *D. helophoroides* population at the sites. The application conditions included, in addition to not clearing, cutting, or burning the diseased trees at the sites, releasing the local

收稿日期: 2024-06-19 修回日期: 2024-10-10

作者简介: 陈元生 (1967—), 男, 博士, 教授, 主要从事昆虫生物学和森林病虫害防治研究, E-mail: cys0061@163.com

基金项目: 江西省重点研发计划项目 (20192BBF60017); 江西省林业科技创新项目 (创新专项 (2023) 22 号、(2018) 17 号)

D. helophoroides of specific parental source, body size, and indoor breeding generations (activity) at the specified time, rate, and frequency. The implementation significantly accelerated the increase of the insect population and effectively helped control the pine wilt disease spread by *M. alternatus* infestation in the forest.

Key words: *Dastarcus helophoroides* Fairmaire; *Monochamus alternatus*; population density; insect releasing method; treatment on infected trees

0 引言

【研究意义】防治松材线虫病 (*Bursaphelenchus xylophilus*) 的关键在于对松褐天牛 (*Monochamus alternatus*) 的有效控制, 但由于松褐天牛生活史的绝大部分时间在树干中度过, 很难把握防治时机。利用花绒寄甲 (*Dastarcus helophoroides*) 等天敌昆虫开展生物防治是一项优良的、长效的措施^[1-2]。该方法对环境友好、成本低、实施方便、省工省力, 更重要的是具有持续、长效控制作用^[3], 对保护松林资源及生态安全, 解决生态和林业建设迫在眉睫的重大问题具有现实意义。【前人研究进展】目前生产上通常把“林间释放花绒寄甲控制松褐天牛”与“现砍现烧方法清理疫木”两种方法结合进行。然而虽“现砍现烧”法对疫木进行清理除害, 但也表现出杀灭天敌 (把释放的和林间自然的花绒寄甲等天敌昆虫连同疫木一同烧毁杀死), 遏杀了其自然控制功能和长效机制, 这也是生产上有人认为天敌昆虫无效的主要原因, 是利用花绒寄甲等天敌昆虫控制松褐天牛防治松材线虫病必须突破的瓶颈。而且, 野生花绒寄甲林间种群数量极低^[4], 松褐天牛种群数量却很大, 要使益害间达到一个平衡, 需要一个较长时间的积累, 才能满足现今亟需快速压制松褐天牛种群密度控制松材线虫病的需要, 为此必须人工大量释放花绒寄甲于林间增加其种群数量。但是适宜释放量以及如何快速提升林间花绒寄甲种群数量从而达到控制松材线虫病的发生的研究还有待深入进行。【本研究切入点】影响花绒寄甲寄生能力、繁殖能力的因素很多, 如, 寄生松褐天牛的花绒寄甲种群存在地理变异^[5]; 成虫的释放时间对其寄生率的影响至关重要^[6]; 寄生率受环境因子影响较大, 其成虫喜欢聚集在上坡位和郁闭度较低的林区^[7]; 在室内繁殖中, 花绒寄甲成虫体型大小明显影响该虫的生殖适合度和子代发育^[8]。而有关花绒寄甲种源、活性、体型大小、释放次数及疫木处理方式对林间花绒寄甲种群数量的影响有待深入研究。【拟解决的关键问题】通过人工大量释放花绒寄甲于林间, 研究花绒寄甲释放量、释放次数、种源、室内繁育世代数 (活性)、体型大小、疫木处理方式等因子对

花绒寄甲林间种群快速提升的影响, 以期探索出一套林间释放花绒寄甲快速压制松材线虫病的林间大面积推广应用技术, 为生产上应用花绒寄甲防治松褐天牛提供有效的案例依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点和时间

选择松材线虫病发生较严重 (平均病死树量 $73 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$) 但未经人工释放过花绒寄甲的老疫区的马尾松 (*Pinus massoniana*) 纯林 (Pure forest, PF) 作为试验林分, 试验设在江西省的南康区龙回镇坳背 (以下简称 NK, 经纬度 $25^{\circ}36'07''\text{N}$ 、 $114^{\circ}48'07''\text{E}$, 海拔 202 m)、万安县百嘉镇竹园村 (以下简称为 WA, 经纬度 $26^{\circ}32'49''\text{N}$ 、 $114^{\circ}45'28''\text{E}$, 海拔 120 m)、峡江县福民乡方家村 (以下简称为 XJ, 经纬度 $27^{\circ}32'06''\text{N}$ 、 $115^{\circ}08'54''\text{E}$, 海拔 67 m)、永丰县佐龙镇龙潭村 (以下简称为 YF, 经纬度 $27^{\circ}15'51''\text{N}$ 、 $115^{\circ}21'03''\text{E}$, 海拔 110 m)、信丰县大塘埠镇新龙村 (以下简称为 XF, 经纬度 $114^{\circ}55'22''\text{N}$ 、 $25^{\circ}23'12''\text{E}$, 海拔 104 m) 和长岗村 (以下简称为 XF, 经纬度 $114^{\circ}56'03''\text{N}$ 、 $25^{\circ}23'56''\text{E}$, 海拔 96 m), 各试验区之间林分结构等相同, 各试验区的各处理之间直线距离均不小于 200 m , 试验地概况见表 1。试验时间 2019 年 1 月至 2023 年 12 月。

1.2 试验材料

林间释放的花绒寄甲成虫来源于江西永福源农林科技有限公司, 其种源均来自松材线虫病疫区松褐天牛幼虫坑道中采集的花绒寄甲成虫, 种源分别采自赣南 (赣州市及吉安市南部, 简称为 GN)、赣北 (都昌县, 简称为 GB), 分别进行室内饲养繁殖, 所采购的用于林间释放的成虫分别为其种源繁殖出的 F2~F4 代 (活性强) 或 F10~F12 代 (活性稍弱)。每指形管含花绒寄甲成虫 30 头 (雌雄各 15 头左右)。

1.3 试验方法

1.3.1 花绒寄甲种源试验

种源试验设在永丰县佐龙镇, 设置 2 个处理 (2 小班): 处理 1 的花绒寄甲种源为种源 GN 繁育的 F2~F4 代 (平均为 F3 代), 处理 2 为种源

表 1 试验地点及试验处理基本情况
Table 1 Experimentation sites and basic information

地点 Location code	处理组数 Number of processing groups	试验区面积 Test area/hm ²	树高 Tree height/m	胸径 DBH/cm	试验前的疫木处理方式 Treatment of phytophthora before the test	试验项目 Experimental project
南康NK	3	16.31	7.06	9.13	现砍现烧CB	释放比率试验 Release ratio test
万安WA	4	39.08	9.43	11.24	不处理NT	繁育世代数试验 Breeding generations test
峡江XJ	2	11.07	7.95	12.72	现砍现烧CB	疫木处理试验 Epidemic wood treatment test
永丰YF	5	35.13	8.07	11.92	现砍现烧CB	释放次数、种源试验 Release frequency and natural enemy source test
信丰XF	4	31.44	9.87	11.69	现砍现烧CB	体型试验 Individual size test

①地点代码为试验地所在县的县名拼音首字母。②疫木处理方式“CB”代表“现砍现烧”，“NT”代表“不处理”。
① Location codes are expressed with first letter of pinyin name of county of test site. ② CB: cutting and burning diseased trees; NT: no treatment.

GB 繁育的 F2~ F4 代（平均为 F3 代）。

1.3.2 花绒寄甲室内繁育世代数（活性）试验

室内繁育世代数（活性）试验设在万安县百嘉镇，设置 2 个处理：处理 1 的成虫为种源 GN 繁殖的 F2~ F4 代（平均为 F3 代），处理 2 为种源 GN 繁殖的 F10 ~ F12 代成虫（平均为 F11 代），分别设 2 次重复，即共 4 个小班。

万安外的其他试验区均释放的是种源 GN 繁殖的 F2 ~ F4 代成虫。

1.3.3 花绒寄甲成虫体型试验

体型试验设在信丰县大塘埠镇，参照郭舟等对体型大小的区分^[8]，设置 2 个处理：处理 1 的成虫为大型个体（体重≥0.038 g），处理 2 为混合型个体（即常规释放的个体，平均体重 0.034 g），分别设 2 次重复，共 4 个小班。

信丰外的其他试验区均释放的是混合型个体。

1.3.4 花绒寄甲释放比率试验

参考文献 [9]，采用树干中部（株高<8 m）或下部（而株高≥8 m）的产卵刻槽数量（设为 x），推断整株产卵刻槽数（约为 2x），再依此推断侵入孔数（分别为 2x×0.483 或 2x×0.685），根据侵入孔数，确定花绒寄甲成虫释放比率。释放比率试验设置在南康区龙回镇，花绒寄甲成虫的释放时间为 2020—2022 年的每年 3 月初（其他试验区的释放时间同此），设 3 个释放比率处理（即 3 个小班），即释放比率分别为 2:1、1:1、1:2（松褐天牛侵入孔数:花绒寄甲成虫数），直接释放于病死树上。

南康区外的其他试验区花绒寄甲成虫的释放，赣南为 3 月初，赣中为 3 月中旬，直接释放于病死

树上，释放比率为 1:1（松褐天牛侵入孔数:花绒寄甲成虫数）。

1.3.5 花绒寄甲释放次数试验

释放次数试验设在永丰县佐龙镇，设 3 个处理（即 3 个小班），释放 1 次的试验，即 2020 年释放 1 次花绒寄甲成虫，2021 年和 2022 年不释放；释放 2 次的试验，即 2020 年和 2021 年分别释放 1 次花绒寄甲成虫；释放 3 次的试验，即 2020—2022 年每年释放 1 次。此试验区外的其他试验，释放次数均为 3 次。

1.3.6 疫木处理方式

峡江试验区的疫木处理试验设置 2 个处理（2 小班）：处理 1 是病死树不处理（不砍伐不烧），处理 2 是病死树现砍现烧，峡江外的其他试验区的病死树均不处理（不砍伐不烧），所有对照区的病死树处理按试验前（2019 年）的疫木处理方式（表 1）进行。

1.3.7 各试验汇总

将上述“1.3.1~1.3.6”各试验项目进行汇总，归纳成表 2。

1.3.8 病死树及花绒寄甲的调查

2019—2023 年的每年 11 月调查各试验区和对照区的病死树数量。

2019—2023 年的每年 4~6 月中旬，分别在林间调查 1 次；采用大 5 点取样法，每基地每次随机调查马尾松枯死树 2 ~ 5 株（依面积大小而定）。剥皮、剖开，记录树皮花绒寄甲成虫数，记录花绒寄甲幼虫和蛹茧数量，统计、分析花绒寄甲种群数量。

表 2 试验方法
Table 2 Experimental methods

地点 Location code	试验项目 Experimental project	种源 <i>D. helophoroides</i> source	繁育代数 Breeding generations	体型 Body individuals	释放比率 Release ratio	释放次数 Release frequency	疫木处理 Epidemic wood treatment
YF1	种源试验 <i>D. helophoroides</i> source test	GN、GB	F3	B	1:1	3	NT
WA	繁育世代数试验 Breeding generations test	GN	F3、F11	B	1:1	3	NT
XF	体型试验 Body size test	GN	F3	A、B	1:1	3	NT
NK	释放比率试验 Release ratio test	GN	F3	B	2:1、1:1、1:2	3	NT
YF2	释放次数试验 Release frequency test	GN	F3	B	1:1	1、2、3	NT
XJ	疫木处理试验 Epidemic wood treatment test	GN	F3	B	1:1	3	NT、CB

体型“A”代表“大型个体”，“B”代表“混合型个体”；其他同表1。
A: large body individual; B: individuals of mixed body types; others: same as listed in Table 1.

参照杨忠岐等^[10]的方法，通过记录解剖木上的花绒寄甲幼虫和蛹茧数量，推算其寄生率，参照展茂魁的方法^[11]，以花绒寄甲成虫的平均寿命3 a计，并根据高尚坤等^[12]的报道，花绒寄甲在江西的自然存活率60%以上，结合松材线虫病死树数量和松林面积，换算成每hm²松林中的花绒寄甲累积虫口密度，即花绒寄甲种群密度。

1.4 试验数据分析

所有数据的统计分析均采用SPSS25.0统计软件进行方差分析（one-way ANOVA）和线性回归分析（Linear regression）。计算公式如下。

花绒寄甲种群密度 $D_0/(\text{头}\cdot\text{hm}^{-2})= [m\times(h\times0.85)/l]\times(n/s)$ (1)

林间花绒寄甲种群密度 $D=D_0+D_1\times60\%$ (2)

其中， D_0 为当年繁育出的花绒寄甲种群密度，头·hm⁻²； m 为花绒寄甲数量，头； h 为平均树高，cm； l 为木段总长，cm； n 为病死树总数， s 为试验区面积，hm²； D_1 为上一年林间花绒寄甲种群密度；这里的“木段”是取样调查花绒寄甲的树干；“花绒寄甲数量×（平均树高×0.85）/木段总长”反映该试验区平均1株病死树上花绒寄甲数量。

花绒寄甲种群密度上升率/%= $(D_1-D_2)/D_2\times100$ (3)

式中， D_1 为防治后种群密度， D_2 为防治前种群密度。

2 结果与分析

2.1 花绒寄甲种源对其林间种群提升的影响

花绒寄甲种质来源（种源）对比试验结果显示，释放采自江西赣南（赣州市及吉安市南部）的种源GN花绒寄甲之后，林间花绒寄甲种群密度提升速率显著高于采自江西赣北（都昌县）的种源GB（表3）。从表3可见，来自种源GN的花绒寄甲，经过2年的林间积累，2022年林间花绒寄甲的种群密度达3969.27头·hm⁻²，提升327.79%，而来种源GB的花绒寄甲在2022年种群密度仅为2853.29头·hm⁻²，仅提升211.55%，至2023年才达4067.12头·hm⁻²，提升344.08%，即种源GB的花绒寄甲需林间积累3年才达到种源GN的花绒寄甲积累2年的水平。而种源GN试验区在2023年其种群密度达5531.37头·hm⁻²，比释放前提升了496.15%，与种源GB的差异达极显著水平（ $df=14$ ， $F=230.156$ ， $P=0.000<0.01$ ）。这说明，花绒寄甲种质来源（种源）对其林间种群的快速提升具有显著影响，林间释放时应尽量选择采自本地的种源，以快速提升其林间种群密度，从而快速压低松褐天牛种群密度降低松材线虫病病死树数量。

2.2 花绒寄甲室内繁育世代数（活性）对其林间种群快速提升的影响

室内花绒寄甲繁育世代数不同，其在林间表现的活力（活性）不同，代数越高，其活性越低，花

表 3 花绒寄甲种源对其林间种群密度的影响
Table 3 Effect of *D. helophoroides* source on population density at test sites

年份 Year	寄甲密度 <i>D. helophoroides</i> density/ (头·hm ⁻²)		种群密度提升率 Population density improvement rate/%	
	种源GN Source GN	种源GB Source GB	种源GN Source GN	种源GB Source GB
2019	927.86 A	915.85 A		
2020	1 931.62 A	1 615.85 A	108.18	76.43
2021	2 796.56 A	1 961.57 B	201.40	114.18
2022	3 969.27 A	2 853.29 B	327.79	211.55
2023	5 531.37 A	4 067.12 B	496.15	344.08

同行均值（平均值±标准差）后不同大写字母表示差异极显著（ $P<0.01$ ）。下同。
Data with different capital letters after mean (mean±SD) on same row indicate significant difference at $P<0.01$. Same for below.

绒寄甲繁育代数对其林间种群密度数量存在显著影响（表 4）。由表 4 可见，释放 F3 代的林间花绒寄甲种群密度上升数量显著高于 F11 代，F3 代释放后在 2022 年其种群密度达 4 857.27 头·hm⁻²，提升了 300.90%，F11 代释放后需在 2023 年其种群密度才达 4 759.09 头·hm⁻²，上升 304.59%，而 F3 代花绒寄甲在 2023 年却积累至 6 374.83 头·hm⁻²，提升达 426.16%，林间种群积累是释放前的 5.26 倍，与 F11 代的差异

达极显著水平（ $df=14$, $F=97.737$, $P=0.000<0.01$ ）。这说明，F3 代的活性、林间寄生能力显著高于 F11 代，种群密度提升迅速。

2.3 花绒寄甲体型大小对其林间种群快速提升的影响

花绒寄甲成虫体型对比试验结果如表 5 所示，在其他条件相同的情况下，大型个体种群的花绒寄甲释放后，其后代的林间种群密度数量积累极显著

表 4 花绒寄甲繁育代数对其林间种群密度提升的影响
Table 4 Effect of breeding generation of *D. helophoroides* on population density at test sites

年份 Year	寄甲密度 <i>D. helophoroides</i> density/ (头·hm ⁻²)		种群密度提升率 Population density improvement rate/%	
	F3	F11	F3	F11
2019	1 211.58 A	1 176.27 A		
2020	2 927.86 A	2 241.69 A	141.66	90.58
2021	3 809.96 A	3 114.76 A	214.46	164.80
2022	4 857.27 A	3 953.29 B	300.90	236.09
2023	6 374.83 A	4 759.09 B	426.16	304.59

表 5 花绒寄甲体型大小对其林间种群密度提升的影响
Table 5 Effect of body size of *D. helophoroides* on population density at test sites

年份 Year	寄甲密度 <i>D. helophoroides</i> density/ (头·hm ⁻²)		种群密度提升率 Population density improvement rate/%	
	大型个体 Large body individuals	混合型 Mixed individuals	大型个体 Large body individuals	混合型 Mixed individuals
2019	786.06 A	741.45 A		
2020	2 076.77 A	1 625.85 A	164.20	119.28
2021	3 186.51 A	2 435.29 A	305.38	228.45
2022	4 379.56 A	3 264.80 B	457.15	340.32
2023	5 917.28 A	4 525.69 B	652.77	510.38

高于混合型种群，至释放后的第二年开始，每年的林间花绒寄甲种群密度，大型个体的寄甲密度均高于相应混合型的寄甲密度，大型个体的林间寄甲密度 2022 年为 4379.57 头·hm⁻²，提升率达 457.15%，而混合型的种群密度 2023 年才达 4525.69 头·hm⁻²，提升率为 510.38%，而大型个体的林间寄甲密度 2023 年达 5917.28 头·hm⁻²，提升了 652.77%，与混合型种群数量的差异达极显著水平（df=22, F=41.367, P=0.000<0.01）。可见，释放大型个体的花绒寄甲，有利于其林间种群的快速提升。

2.4 花绒寄甲释放比率对其林间种群快速提升的影响

花绒寄甲释放量对比试验结果显示，花绒寄甲成虫释放量越大，林间花绒寄甲种群密度上升速率

越快（表 6）。以 2023 年为例，经过 3 年的释放、4 年的积累，释放比率为 2:1（松褐天牛侵入孔数：花绒寄甲成虫数）时，其林间种群密度提升速率（366.58%）低于 1:1 和 1:2 释放比率的寄甲提升率（分别为 494.74%、535.90%），且释放比率 1:2 的寄甲提升速率比释放比率 1:1 的更快，所以，从花绒寄甲密度提升率来看，以释放比率 1:2 为宜，但从林间花绒寄甲种群密度来看，2023 年释放比率 1:1 处理区的花绒寄甲密度达 4519.27 头·hm⁻²，虽略低于释放比率 1:2（密度为 4753.89 头·hm⁻²），但两者差异未达显著水平（P=0.066>0.05），同时从防治成本考虑（释放比率 1:2 的寄甲成本是释放比率 1:1 的 2 倍），林间花绒寄甲成虫释放比率以 1:1 为宜。

表 6 花绒寄甲释放比率对其林间种群密度提升的影响
Table 6 Effect of release rate of *D. helophoroides* on population density at test sites

年份 Year	寄甲密度 <i>D. helophoroides</i> density/（头·hm ⁻² ）			种群密度提升率 Population density improvement rate/%		
	2:1	1:1	1:2	2:1	1:1	1:2
2019	761.32 A	759.87 A	747.58 A			
2020	1 467.49 C	1 875.65 B	2 497.56 A	92.76	146.84	234.09
2021	2 148.70 C	2 554.66 B	3 177.63 A	182.23	236.20	325.06
2022	2 747.56 B	3 469.80 A	3 941.04 A	260.89	356.63	427.17 A
2023	3 552.18 B	4 519.27 A	4 753.89 A	366.58	494.74	535.90

2.5 释放花绒寄甲次数对林间花绒寄甲种群快速提升的影响

花绒寄甲释放次数对其林间种群密度的积累、提升具有显著影响（表 7）。从表 7 可见，仅释放 1 次的试验区，林间花绒寄甲种群密度积累慢，

2023 年仅 2947.57 头·hm⁻²，而释放 2 次、3 次的，分别达 4 172.19、5 269.27 头·hm⁻²，三者之间两两的种群密度均达极显著差异水平（P=0.0000<0.01），特别是释放 3 次的，2022 年其种群密度达 3 534.44 头·hm⁻²，提升速度最快。

表 7 花绒寄甲释放次数对其林间种群密度提升的影响
Table 7 Effect of number of *D. helophoroides* release on insect density at test sites

年份 Year	寄甲密度 <i>D. helophoroides</i> density/（头·hm ⁻² ）			种群密度提升率 Population density improvement rate/%		
	释放1次 Release once	释放2次 Release twice	释放3次 Release 3 times	释放1次 Release once	释放2次 Release twice	释放3次 Release 3 times
2019	834.61 A	860.71 A	849.48 A			
2020	1 587.52 A	1 702.65 A	1 657.09 A	90.21	97.82	95.07
2021	1 997.24 B	2 265.45AB	2 673.16 A	139.30	163.21	214.68
2022	2 430.06 C	2 911.38 B	3 534.44 A	191.16	238.25	316.07
2023	2 947.57 C	4 172.19 B	5 269.27 A	253.17	384.74	520.29

2.6 疫木处理方式对林间花绒寄甲种群快速提升的影响

松材线虫病疫木清理除害与否，对花绒寄甲释

放后的林间种群积累及密度提升影响极大（表 8）。由表 8 可见，疫木不处理（即不砍伐或不清理烧

毁)的试验区,其林间花绒寄甲种群数量积累迅速,2023 年比释放前的 2019 年提升了 706.23%,而采用现砍现烧的疫木处理方式的试验区,其花绒寄甲的种群密度却变化不大,2023 年比 2019 年仅提升了 179.60%,可见,疫木的现砍现烧不利于花绒寄甲林间种群的积累。

表 8 疫木处理方式对花绒寄甲林间种群密度提升的影响
Table 8 Effect of diseased tree treatments on insect density at test sites

年份 Year	寄甲密度 <i>D. helophoroides</i> density/(头·hm ⁻²)		种群密度提升率 Population density improvement rate/%	
	疫木不处理 No treatment for epidemic wood	现砍现烧 Felled and immediate burning	疫木不处理 No treatment for epidemic wood	现砍现烧 Felled and immediate burning
2019	517.91 A	343.65 B		
2020	1479.14 A	427.91 B	185.60	24.52
2021	2086.11 A	552.37 B	302.80	60.74
2022	2991.56 A	778.26 B	477.62	126.47
2023	4175.52 A	960.84 B	706.23	179.60

2.7 各试验项目(处理)对林间花绒寄甲种群快速提升的比较

将上述能显著、快速提升林间花绒寄甲种群密度的各因素(F3代、释放量 1:1、种源 GN、释放 3 次、体型更大的个体、疫木不清理)进行多变量的综合分析,结果显示(图 1),对林间花绒寄甲密度提升率影响最大的是疫木不处理,其次是释放体型更大的花绒寄甲成虫个体,而对林间花绒寄甲密度提升率影响相对最小的是室内繁育代数 F3 代。

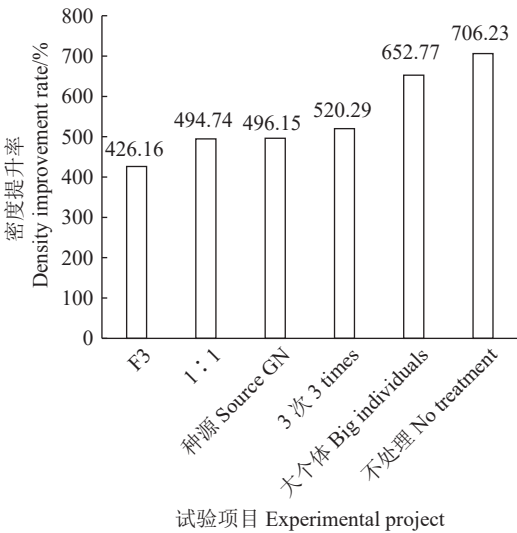


图 1 各试验处理对花绒寄甲密度提升率影响的比较
Fig. 1 Effect of experimental method on insect density at test sites

3 讨论与结论

利用花绒寄甲等天敌昆虫开展松材线虫病生物防治是一项优良、长效的措施。但在生产实践中,有时虽然林间释放了大量的花绒寄甲,可其种群数

量往往依然较低,究其原因,主要存在两方面:一是花绒寄甲本身及人工释放技术的影响,二是控制松褐天牛的措施(如诱捕技术、注干剂和杀虫剂等)及环境条件等外源性因子对该虫的干扰^[7,13]。本研究结果显示,花绒寄甲种质来源(种源)、室内繁育代数(活性)、体型大小、花绒寄甲释放比率、释放次数及疫木处理方式等显著影响林间花绒寄甲种群数量的积累和种群密度的提升,来源于本地的花绒寄甲种源、室内繁育代数低(活性强)的花绒寄甲(F3代)、体型更大的个体、1:1(松褐天牛侵入孔数:花绒寄甲成虫数)释放比率、释放 3 次(连续 3 年释放,每年 3 月释放 1 次)及疫木不清理仅释放花绒寄甲,这些措施的综合应用,即能显著、快速提升林间花绒寄甲种群密度,4 年间提升率可达 426.16%~706.23%。将这些因素进行多变量的综合分析结果表明,对林间花绒寄甲密度提升影响最大的是疫木不清理措施,其次是释放的成虫个体大小,说明这两个因素是保证林间花绒寄甲快速提升的至关重要因素。

前期研究表明,花绒寄甲生活史特征(特别是产卵量)与其原栖息地纬度密切相关,即花绒寄甲适应性存在地理差异^[5,14],本研究进一步证实了这一点,花绒寄甲种质来源(种源)对其林间种群的快速提升具有显著影响,来源于本地的花绒寄甲林间种群的 2 年积累量是来自外地(纬度至少差 2°)的 3 年积累量,因此建议,林间释放花绒寄甲时应尽量选择采自本地的种源,以快速提升其林间种群密度,从而快速压低松褐天牛种群密度降低松材线虫病病死树数量。

据报道,室内花绒寄甲人工繁育存在退化现象,随着世代数的增加,其成虫体重、产卵量、孵化率等均存在下降趋势,且人工繁育的花绒寄甲种群对林间松褐天牛在寄生能力、寄主搜寻能力的适应性上均有一定程度的下降^[15-16]。本研究也发现室内花绒寄甲繁育世代数不同,其在林间表现的活力(活性)不同,世代数越高,其活性越低,释放F3代的林间花绒寄甲种群密度上升速率显著高于F11代的种群密度上升率,因此,林间释放时,应尽量选择室内繁育世代数低的花绒寄甲,以保证花绒寄甲林间释放后种群稳定性和快速积累,以快速压制松褐天牛种群。

昆虫个体的体型大小是一个与昆虫的生殖能力、生殖竞争力和生长发育等紧密相关的重要表型^[17-18],体型更大的昆虫明显具有更强的竞争力和生殖成功,其后代也表现出更大的体型^[19]。仇兰芬等^[20]、郭舟等^[8]报道,体型大小对花绒寄甲雌虫产卵量产生显著的影响,体型较大的成虫产卵量明显高于体型较小的成虫产卵量,而且前者产生的子代对资源的利用也要明显高于后者。本试验也证实,大型个体花绒寄甲的林间释放,更有利于其林间种群的积累和快速提升。因此建议,在大规模室内饲养时,尽量使用较大的个体用于后代繁衍以提高后代质量,林间释放也尽量使用较大的个体以提高其寄生率及种群积累。

前人有关林间花绒寄甲释放比率和释放次数(频次)的研究较少,温小遂等^[6]报道,林间花绒寄甲成虫释放量大于2 000头·hm⁻²就能获得良好的防治效果,而在诱木上释放花绒寄甲成虫则以1:1(松褐天牛幼虫侵入孔:花绒寄甲成虫)比例为最佳,随着天敌释放量的减少,防治效果将相应降低。王建敏等^[21]报道,2019年、2020年持续释放花绒寄甲的林区的防治效果明显优于2019年或2020年只释放1次花绒寄甲的林区,可见,持续释放花绒寄甲更有利于林间花绒寄甲种群的建立,防治效果更好。本试验也得到相似的结果,释放比率在1:1以上、连续释放3次(即3年)时,可使林间花绒寄甲种群密度得到迅速积累、快速提升。这进一步说明,林间花绒寄甲自然种群密度较低,通过人工大量、持续释放花绒寄甲,必定使花绒寄甲种群数量不断提高、松褐天牛种群数量不断下降,进而达到控制松材线虫病发生的目的^[3,22]。但如果不持续采取这种措施,花绒寄甲种群数量就不能得到提升还有可能会明显下降^[23]。

本项目组调查发现,花绒寄甲对松褐天牛具有

很强的搜索追踪和跟随效应,花绒寄甲成虫在有松褐天牛为害的枯死木上越冬,所以,松褐天牛幼虫和花绒寄甲成虫多聚集在松材线虫病病死树(疫木)上,如果将病死树砍伐烧毁,虽然杀灭了病死树中的松褐天牛,但对花绒寄甲同样是致命的,这与前人的报道^[23]一致。同时,本研究结果还表明疫木不清理(即疫木不砍伐或砍倒后不清理不烧毁)的林间花绒寄甲种群数量积累迅速,经过3年的释放、4年的积累,花绒寄甲种群密度提升了706.23%,而采用现砍现烧的疫木处理方式的试验区,其花绒寄甲种群密度却变化不大(仅提升179.60%),这也可能是有些地区采用释放花绒寄甲却防效低的原因之一。

综上所述,释放花绒寄甲本身特性[包括其亲本来源、体型大小、室内繁育世代数(活性)]、人工释放技术(包括释放时间、释放比率、释放次数、持续性)及疫木处理方式等,是影响林间花绒寄甲种群数量积累、快速提升的关键因素,特别是疫木处理方式,是这些因素中影响最大的因素。而一些外源性因素如林分等环境地条件^[7]、控制松褐天牛的措施(如诱捕技术、注干剂和杀虫剂等)^[13]等也对花绒寄甲寄生性、适合性有不同程度的影响,但是否显著影响林间花绒寄甲种群密度的快速提升,有待深入调查研究。

参考文献:

- [1] 杨忠岐. 利用天敌昆虫控制我国重大林木害虫研究进展[J]. 中国生物防治, 2004, 20(4): 221-227.
YANG Z Q. Advance in bio-control researches of the important Forest Insect pests with natural enemies in China[J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2004, 20(4): 221-227. (in Chinese)
- [2] 陈元生, 简迎龙, 罗致迪, 等. 疫木隔离结合释放花绒寄甲防治松材线虫病[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(24): 101-104.
CHEN Y S, JIAN Y L, LUO Z D, et al. Control effect of plague wood isolation combined with release of *Dastarcus helophoroides* on pine wood nematode[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2018, 46(24): 101-104. (in Chinese)
- [3] 陈元生, 黄名广, 罗致迪, 等. 花绒寄甲与松褐天牛及松材线虫病三者间长效关系研究[J]. 西部林业科学, 2023, 52(3): 63-69.
CHEN Y S, HUANG M G, LUO Z D, et al. The long term relationship among *Dastarcus helophoroides*, *Monochamus alternatus* and *brsaphelenchus Xylophilus*[J]. *Journal of West China Forestry Science*, 2023, 52(3): 63-69. (in Chinese)
- [4] 罗致迪, 陈元生, 于海萍, 等. 赣南花绒寄甲松树林间自然寄生率调查研究[J]. 环境昆虫学报, 2015, 37(5): 1070-1074.
LUO Z D, CHEN Y S, YU H P, et al. Investigation on natural parasitic rates of *Dastarcus helophoroides* in Gannan pine forest[J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2015, 37(5): 1070-1074. (in Chinese)

- [5] 陈元生, 邓晓峰, 周峰, 等. 花斑花绒寄甲生活史与其栖息地纬度的关系[J]. *中国植保导刊*, 2018, 38(12): 20–24, 32.
CHEN Y S, DENG X F, ZHOU F, et al. Relationship between life history and habitat latitude of *Dastarcus helophoroides*[J]. *China Plant Protection*, 2018, 38(12): 20–24, 32. (in Chinese)
- [6] 温小遂, 廖三腊, 孙计拓, 等. 林间释放花绒寄甲对松褐天牛防效的研究[J]. *江西农业大学学报*, 2016, 38(3): 505–510.
WEN X S, LIAO S L, SUN J T, et al. Experiment on the efficacy of releasing *Dastarcus helophoroides* adults against *Monochamus alternatus* in pine forests[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2016, 38(3): 505–510. (in Chinese)
- [7] 唐艳龙, 高尚坤, 张彦龙, 等. 花绒寄甲寄生松褐天牛的关键环境因子研究[J]. *中国生物防治学报*, 2015, 31(6): 830–835.
TANG Y L, GAO S K, ZHANG Y L, et al. Key environmental factors affecting parasitism of *Monochamus alternatus* hope by *Dastarcus helophoroides* fairmaire[J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2015, 31(6): 830–835. (in Chinese)
- [8] 郭舟, 王钦召, 彭观地, 等. 成虫体型大小对花绒寄甲生殖及后代发育的影响[J]. *中国生物防治学报*, 2024, 40(1): 33–43.
GUO Z, WANG Q Z, PENG G D, et al. Effects of adult body size on reproductive fitness and offspring development in *Dastarcus helophoroides* (Fairmaire)e[J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2024, 40(1): 33–43.
- [9] 卢桦, 陈元生, 罗致迪, 等. 松褐天牛在松材线虫病病死树上的垂直分布规律[J]. *福建农业学报*, 2019, 34(2): 229–234.
LU H, CHEN Y S, LUO Z D, et al. Vertical distribution of *Monochamus monochamus* in infected *Bursaphelenchus xylophilus* tree trunks[J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2019, 34(2): 229–234. (in Chinese)
- [10] 杨忠岐, 唐艳龙, 姜静, 等. 栗山天牛天敌花绒寄甲在栎林中的种群保持机制[J]. *生态学报*, 2012, 32(24): 7764–7773.
YANG Z Q, TANG Y L, JIANG J, et al. Population-keeping mechanism of the parasitoid *Dastarcus helophoroides* (Coleoptera: Bothrideridae) of *Massicus raddei* (Coleoptera: Cerambycidae) in oak forest[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(24): 7764–7773.
- [11] 展茂魁. 马尾松蛀干害虫种群动态与松材线虫病的关系及松褐天牛天敌研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2014.
ZHAN M K. Studies on population dynamics of woodborers and the relationship with pine wilt disease on *Pinus massoniana*, and natural enemies of *Monochamus alternatus* [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2014. (in Chinese)
- [12] 高尚坤, 张彦龙, 唐艳龙, 等. 花绒寄甲松褐天牛生物型的越冬特性及耐寒性[J]. *林业科学*, 2016, 52(3): 68–74.
GAO S K, ZHANG Y L, TANG Y L, et al. Overwintering characteristics and cold-Hardiness of biotype of *Dastarcus helophoroides* (Coleoptera: Bothrideridae) on *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae)[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2016, 52(3): 68–74.
- [13] 王钦召. 外源因子对花绒寄甲行为与适合度的影响[D]. 南昌: 江西农业大学, 2023.
WANG Q Z. Influence of exogenous factors on the behavior and fitness of *Dastarcus helophoroides*(Fairmaire)(Coleoptera: Bothrideridae)[D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2023. (in Chinese)
- [14] WEI J R, YANG Z Q, POLAND T M, et al. Parasitism and olfactory responses of *Dastarcus helophoroides* (Coleoptera: Bothrideridae) to different cerambycid hosts[J]. *BioControl*, 2009, 54(6): 733–742.
- [15] 郭婉琳. 花绒寄甲的退化规律及复壮技术研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2016.
GUO W L. Study on the degradation law and revitalization technology of *Dastarcus helophoroides*(Fairmaire) [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2016. (in Chinese)
- [16] 李子坤. 人工繁育的花绒寄甲对松墨天牛适应性的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2020.
LI Z K. Study on the adaptability of *Dastarcus helophoroides* Artificially bred to *Monochamus alternatus* [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2020. (in Chinese)
- [17] 黄韵琳, 张静宇, 蒋明星. 昆虫个体大小对其种群生物学的影响[J]. *生态学报*, 2017, 37(7): 2158–2168.
HUANG Y S, ZHANG J Y, JIANG M X. Effect of body size on the population biology of insects[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(7): 2158–2168.
- [18] BEUKEBOOM L W. Size matters in insects—an introduction[J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2018, 166(1): 2–3.
- [19] ZHANG Y, ZHAO C C, MA W H, et al. Larger males facilitate population expansion in *Ophraella communa*[J]. *Journal of Animal Ecology*, 2021, 90(12): 2782–2792.
- [20] 仇兰芬, 仲丽, 邵金丽, 等. 环境温度和体型大小对花绒寄甲成虫死亡率及产卵量的影响[J]. *应用昆虫学报*, 2021, 58(4): 959–965.
QIU L F, ZHONG L, SHAO J L, et al. Influence of environmental temperature and adult body size on the mortality and fecundity of *Dastarcus helophoroides*[J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2021, 58(4): 959–965.
- [21] 王建敏, 邹军民, 洪承昊, 等. 花绒寄甲防治松褐天牛田间试验研究: 以湖北崇阳为例[J]. *湖北林业科技*, 2021, 50(5): 28–31.
WANG J M, ZOU J M, HONG C H, et al. *Dastarcus helophoroides*'s control of *Monochamus alternatus* in case of Chongyang County in Hubei[J]. *Hubei Forestry Science and Technology*, 2021, 50(5): 28–31. (in Chinese)
- [22] 张志刚, 杨衡, 蔡东章, 等. 应用花绒寄甲防治松墨天牛试验[J]. *现代园艺*, 2017(17): 11–12.
ZHANG Z G, YANG H, CAI D Z, et al. Application of *Dastarcus helophoroides* and Control *Monochamus alternatus*[J]. *Xiandai Horticulture*, 2017(17): 11–12. (in Chinese)
- [23] 温小遂, 宋墩福, 杨忠岐, 等. 天敌花绒寄甲与寄主松褐天牛成虫出现期的关系[J]. *林业科学*, 2020, 56(9): 193–200.
WEN X S, SONG D F, YANG Z Q, et al. Relationships between the emergence of *Dastarcus helophoroides*(Coleoptera: Bothrideridae) and the emergence of the host *Monochamus alternatus*(Coleoptera: Cerambycidae) in *Pinus massoniana* forests[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2020, 56(9): 193–200. (in Chinese)

(责任编辑: 林海清)