

DOI: 10.20103/j.stxb.202412052997

黄智, 罗斌, 禅和霖, 郭光辉, 臧建成. 拉萨南山生态林不同树种搭配对昆虫群落组成和多样性的影响. 生态学报, 2025, 45(21): - .
Huang Z, Luo B, Chan H L, Guo G H, Zang J C. Effects of different tree species assemblages on insect community composition and diversity in the ecological forest of Lhasa South Mountain. Acta Ecologica Sinica, 2025, 45(21): - .

拉萨南山生态林不同树种搭配对昆虫群落组成和多样性的影响

黄 智^{1,3}, 罗 斌^{2,3}, 禅和霖^{1,3}, 郭光辉^{1,3}, 臧建成^{1,3,*}

1 西藏农牧大学植物科学学院, 林芝 860000

2 四川省甘孜州康定市农牧农村和科技局, 康定 626000

3 西藏高原资源昆虫与应用昆虫实验室, 林芝 860000

摘要:昆虫多样性被广泛应用于生态修复评价中。为了解不同生态改善措施对昆虫多样性的影响, 于 2023 年 5—9 月, 利用马来氏网法和扫网法, 对拉萨南山 4 种典型树种搭配下昆虫多样性进行调查。试验结果: 1) 此次调查共采集昆虫 29576 只, 隶属于 13 目 120 科 246 种, 其中未知种 112 种, 优势科为摇蚊科和秆蝇科, 占比分别为 16.71% 和 11.89%; 优势种为红头潜管秆蝇, 占比 11.6%。2) 中国沙棘+油松+刺槐+祁连圆柏+北京杨(S1)昆虫个体数、类群数、多样性指数、丰富度指数和均匀度指数最高, 与中国沙棘+油松+细叶红柳+云杉(S2)和江孜沙棘+油松+细叶红柳+白皮松(S3)存在显著差异($P < 0.05$)。江孜沙棘+油松+云杉+樟子松(S4)昆虫优势度最高, 与其他三个树种搭配有显著差异($P < 0.05$)。3) 四种树种搭配昆虫个体数和类群在 7 月和 8 月达到峰值, 呈单峰趋势, 受时间影响明显, 且 S4 昆虫个体数随时间波动较大。4) 非度量多维尺度分析(NMDS)显示不同树种搭配昆虫群落组成不重叠, 进一步相似性分析(ANOSIM)表明组间差异显著($R = 0.963$, $P = 0.001$), 结合 Jacard 和 Sørensen 指数指明 S4 昆虫群落组成与其他三种树种搭配相似性最低。5) 冗余分析(RDA)结果表明, 草本均匀度和丰富度显著影响昆虫类群数和个体数($P < 0.05$)。拉萨南山生态林处于建立初期, 并未形成稳定的昆虫生态系统, 昆虫群落抵抗外界的能力较差, 四种树种搭配中 S1 昆虫群落较为稳定, S4 最低, 同时林下草本对生态林昆虫群落稳定性的影响不可忽视。

关键词:拉萨; 生态林; 树种搭配; 昆虫多样性

Effects of different tree species assemblages on insect community composition and diversity in the ecological forest of Lhasa South Mountain

HUANG Zhi^{1,3}, LUO Bin^{2,3}, CHAN Helin^{1,3}, GUO Guanghui^{1,3}, ZANG Jiancheng^{1,3,*}

1 College of Plant Science, Xizang Agricultural and Animal Husbandry University, Linzhi 860000, China

2 Kangding Bureau of Agriculture, Animal Husbandry, Rural Affairs, and Science and Technology, Kangding 626000, China

3 Lab of Resource and Applied Insect in the Xizang Plateau, Linzhi 860000, China

Abstract: Insect diversity is widely used in ecological restoration evaluation. In order to understand the effects of different ecological improvement measures on insect diversity in the south mountain of Lhasa, the insect diversity under four typical tree species assemblages were investigated from May to September 2023 by using the Malaise traps and the sweeping net. Results : 1) A total of 29576 insects were collected in this survey, belonging to 13 orders 120 families and 246 species, including 112 unknown species. The dominant families were Chironomidae and Chloropidae, accounting for 16.71 % and 11.89 %, respectively. The dominant species was the *Trachysiphonella ruficeps*, accounting for 11.6 %. 2) The individual

基金项目:西藏自治区科技计划重点研发及转化项目(XZ202301ZY0019N); 西藏农牧学院林学博士点(一期)(533325001); 2025 年中央财政支持地方高校发展改革专项资金高原特色农牧科技小院建设及综合服务能力提升(YJSXK2025-05、YJSXK2025-15)

收稿日期:2024-12-05; **网络出版日期:**2025-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zangjc2008@163.com

number, group number, Shannon-Wiener index, richness index and evenness index of insect in *Hippophae rhamnoides* + *Pinus tabulaeformis* + *Robinia pseudoacacia* + *Juniperus przewalskii* + *Populus beijingensis* (S1) were the highest, which were significantly different from those in *Hippophae rhamnoides* + *Pinus tabulaeformis* + *Salix microstachya* + *Picea asperata* (S2) and *Hippophae gyantsensis* + *Pinus tabulaeformis* + *Salix microstachya* + *Pinus bungeana* (S3) ($P < 0.05$). *Hippophae gyantsensis* + *Pinus tabulaeformis* + *Picea asperata* + *Pinus sylvestris* (S4) had the highest insect dominance, which was significantly different from the other three tree species assemblages ($P < 0.05$). 3) The number of individuals and groups of insects in the four tree species assemblages peaked in July and August, showing a single-peak trend, which was significantly affected by time. The individual number of insects in S4 fluctuated greatly. 4) Non-metric multidimensional scaling (NMDS) showed that the composition of insect communities in different tree species assemblages did not overlap. Further similarity analysis (ANOSIM) showed that the difference between groups was significant ($R = 0.963$, $P = 0.001$). Combined with Jacard and Sørensen index, it showed that the composition of insect community in S4 had the lowest similarity with the other three tree species assemblages. 5) Redundancy analysis (RDA) results showed that the index of herb evenness and richness significantly affected the number of insect groups and individuals ($P < 0.05$). The ecological forest of Lhasa south mountain was in the early stage of establishment, and did not form a stable insect ecosystem. The insect community had poor ability to resist the outside world. The insect community of S1 was relatively stable and S4 was the lowest in the four different tree species assemblages. At the same time, the influence of understory herbs on the stability of insect community in ecological forest can not be ignored.

Key Words: Lhasa; Eco-forest; Tree species assemblages; Insect diversity

生态改善措施是我国保护生物多样性、涵养水源、增加碳汇储量以及应对当下日益严峻的环境问题和推动国内经济社会绿色发展的重要手段。西藏是我国重要的生态安全屏障。为保护西藏生态环境,已经在拉萨谷地和缓坡区建设了拉萨生态林^[1]。生态林建设区域内植被种类和覆盖面积增多,打破原有的营养级食物链和功能系统,促使物质和能量重组,构建新的生态系统^[2-4]。昆虫作为生态系统中广泛分布的物种,其群落组成和多样性受不同改善措施和植被组成的影响^[5-6]。

在各类不同的生态系统修复和改善措施中,昆虫多样性普遍随植物物种多样性的增加而增加^[7]。研究发现树种组成复杂的生态林昆虫多样性指数高于树种单一的生态林^[8-9],且树种组成单一的人造林病虫害发生概率高^[10],这是由于在单一种植的区域,专一的食草昆虫具有更高的繁殖率以及面对更少的捕食者^[11-12]。人工林中,封育或近自然管理的区域,即使树种组成单一,由于区域内灌木和草本增加了植被丰富度和环境在横向和垂直方向的异质性,纯林中昆虫多样性与混交林无显著差异甚至更高^[13-14]。生境中植被种类不同,构建的植被生态系统存在差异,由于昆虫自身食性、喜阴喜阳与否、对植被气味的反应等原因,在不同树种搭配中某些特定类型的昆虫数量出现减少或增加^[15-18]。例如王佳生等^[19]发现花金龟科由于自身大多数为访花昆虫以及偏好高温环境,因此较于天然阔叶混交林,其发生数量在郁闭度低、草本植被茂盛、光线较强的红松人工林中更多。祝鑫宇等^[20]针对天然林和人工林昆虫群落组成研究后发现,天然林中林下灌木和凋零的腐烂花果比人工林更加丰富,偏好相应物质为食的蟋蟀科和果蝇科在天然林中发生更加频繁。

生态林建设是以保护生物多样性为主要目标,昆虫多样性是生物多样性的的重要组成部分,因此生态林区域内昆虫多样性调查对衡量生态林生态效益有着重要的指向作用^[21-22]。拉萨南山生态林是以刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、祁连圆柏(*Juniperus przewalskii*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、樟子松(*Pinus sylvestris*)、细叶红柳(*Salix microstachya*)、北京杨(*Populus beijingensis*)、中国沙棘(*Hippophae rhamnoides*)为主要树种进行混交,拉萨南山生态林建设至今并未从昆虫群落组成和多样性方面进行调查和研究,对于生态林的稳定性情况还不得而知,因此本文从昆虫生态学的角度出发,以不同树种搭配形成的混交林为研究对象,探讨不同树种搭配下昆虫群落组成结构差异、时间变化以及多样性,明确生态林区域内不同树种搭配对昆虫群落的影响以及林下草

本灌木对昆虫群落的作用机制,为后续拉萨生态林建设和管理提供科学建议。

1 研究区概况

本试验地位于西藏自治区拉萨河中下游河谷地带,靠近拉萨河,29°38′6″—12″N,91°8′49″—54″E,海拔3650 m—5000 m,属于拉萨半干旱河谷地带,研究区内年平均气温约为7.4℃,年平均相对湿度约为30%—50%,全年降水量约为200—500 mm,主要集中在每年的6—9月,全年日照时长在3000 h以上,属于典型高原季风半干旱气候。试验地为阳坡,于2012年开始生态林建设,人为干扰少,管理员根据降水情况,每月进行1—3次喷灌,每次喷灌时间2—4 h。林下植被主要包括砂生槐(*Sophora moorcroftiana*)、互叶醉鱼草(*Buddleja alternifolia*)、柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)、藏沙蒿(*Artemisia wellebyi*)、秋英(*Cosmos bipinnatus*)、白草(*Pennisetum flaccidum*)、蒲公英(*Taraxacum mongolicum*)、平车前(*Plantago depressa*)、羽柱针茅(*Stipa basiplumosa*)、毛瓣棘豆(*Oxytropis serioopetala*)等,隶属于藏南河谷亚高山灌丛草原区。

2 研究方法

2.1 试验方法

本试验于2023年5—9月间开展,在控制坡向、管理模式、造林年限、混交方式相同的情况下,在拉萨南山生态林根据树种搭配选择四种典型的树种搭配进行昆虫群落调查(图1)。四种树种搭配分别为中国沙棘+刺槐+油松+祁连圆柏+北京杨(S1)、中国沙棘+细叶红柳+油松+云杉(S2)、江孜沙棘+细叶红柳+油松+白皮松(S3)、江孜沙棘+油松+樟子松+云杉(S4)(表1)。在四种树种搭配中各设置3个30 m×30 m的试验组,每个试验组之间间隔15—20 m,共计12个试验组。调查采用马来氏网法和扫网法。马来氏网置于试验样地中心,每个重复放置一个马来氏网。每月的月中和月末对马来氏网收集瓶进行统一的更换。同时选择晴朗无风的天气用直径35 cm,深76 cm的捕虫网,在试验组中对两条植被覆盖完整的30 m样线进行来回扫网,网子来回为一网,保持在1 s/网,30米样线平均步行速度4—5 m/min,捕到的昆虫放在装有75%酒精的指形管中保存,鳞翅目昆虫放在三角纸包中,如遇雨天则顺延扫网时间。采集的昆虫带回实验室用Leica M205c体式显微镜观察,根据《Manual of Afrotropical Diptera》、《中国动物志》、《普通昆虫学》、《中国经济昆虫志》、《西藏昆虫》^[23—27]等进行形态学鉴定。部分不能通过形态学鉴定的昆虫,送到武汉天一华煜基因科技有限公司进行分子测序,最终确定物种名称和分类信息。

林下植被于2023年8月初植被生长季进行调查。30 m×30 m的样方中用五点采样法设置5个5 m×5 m的灌木样方,调查灌木种类、数量、高度、盖度,计算灌木的密度、平均高度、平均盖度。在每个灌木样方的对角

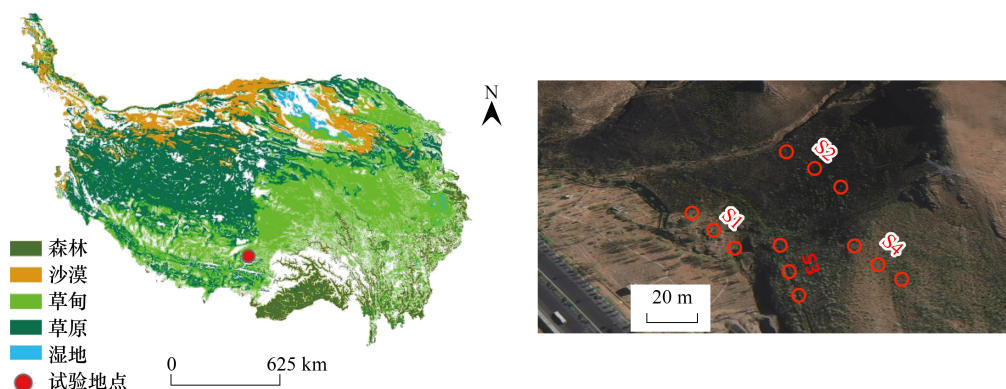


图1 试验样地概况

Fig.1 Overview of test plots

S:样地 Sample

线上设置 2 个 1 m×1 m 的草本样方,调查草本种类、数量、高度、盖度,计算草本的密度、平均高度、平均盖度。如表 2 所示,最后利用公式(1)和(2)分别计算植被 Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数,草本和灌木丰富度指数为样地内草本和灌木物种数^[28]。

表 1 不同树种搭配样地概况
Table 1 Overview of different tree species assemblages

样地 Plot	主要树种及比例 Main Species&Proportions	经纬度 Longitude&Latitude	平均海拔/m Average Elevation	样地盖度/% Plot Coverage
S1	中国沙棘(<i>Hippophae rhamnoides</i>)、油松(<i>Pinus tabuliformis</i>)、刺槐(<i>Robinia pseudoacacia</i>)、祁连圆柏(<i>Juniperus przewalskii</i>)、北京杨(<i>Populus beijingensis</i>) 7:10:8:5:3	91°8'54"E 29°38'12"N	3 631	91
S2	中国沙棘(<i>Hippophae rhamnoides</i>)、油松(<i>Pinus tabuliformis</i>)、细叶红柳(<i>Salix microstachya</i>)、云杉(<i>Picea asperata</i>) 9:7:1:1	91°8'54"E 29°38'8"N	3 673	91
S3	江孜沙棘(<i>Hippophae gyantsensis</i>)、油松(<i>Pinus tabuliformis</i>)、细叶红柳(<i>Salix microstachya</i>)、白皮松(<i>Pinus bungeana</i>) 9:8:5:2	91°8'51"E 29°38'9"N	3 641	87
S4	江孜沙棘(<i>Hippophae gyantsensis</i>)、油松(<i>Pinus tabuliformis</i>)、云杉(<i>Picea asperata</i>)、樟子松(<i>Pinus sylvestris</i>) 7:3:1:2	91°8'49"E 29°38'6"N	3 653	82

S1:中国沙棘+油松+刺槐+祁连圆柏+北京杨 *Hippophae rhamnoides*+*Pinus tabuliformis*+*Robinia pseudoacacia*+*Juniperus przewalskii*+*Populus beijingensis*;S2:中国沙棘+油松+细叶红柳+云杉 *Hippophae rhamnoides*+*Pinus tabuliformis*+*Salix microstachya*+*Picea asperata*;S3:江孜沙棘+油松+细叶红柳+白皮松 *Hippophae gyantsensis*+*Pinus tabuliformis*+*Salix microstachya*+*Pinus bungeana*;S4:江孜沙棘+油松+云杉+樟子松 *Hippophae gyantsensis*+*Pinus tabuliformis*+*Picea asperata*+*Pinus sylvestris*

表 2 不同树种搭配草本和灌木数据
Table 2 Herb and Shrub data in different tree species assemblages

植被类型 Vegetation Type	样地 Plot	多样性指数 Shannon-Wiener Index	均匀度 Pielou Evenness Index	丰富度 Richness Index	高度 Height	盖度 Coverage
灌木 Shrub	S1	0.313±0.009a	0.235±0.026a	4.000±0.577a	85.090±8.485a	0.065±0.010a
	S2	0.307±0.031a	0.220±0.057a	4.667±0.882a	61.435±9.531a	0.040±0.011a
	S3	0.244±0.030a	0.202±0.032a	4.000±1.000a	63.451±7.650a	0.073±0.003a
	S4	0.284±0.009a	0.181±0.019a	5.000±0.577a	61.296±3.160a	0.082±0.020a
草本 Herb	S1	0.135±0.014a	0.047±0.008a	19.667±2.963bc	32.288±3.504a	0.135±0.027a
	S2	0.107±0.003a	0.032±0.002a	28.333±1.667a	32.497±1.998a	0.114±0.015a
	S3	0.113±0.001a	0.035±0.0003a	26.000±0.577ab	29.919±1.384a	0.111±0.004a
	S4	0.132±0.010a	0.047±0.005a	17.333±2.404c	19.287±1.732b	0.081±0.013a

同列不同字母表示差异达到 0.05 的显著水平

2.2 数据处理

鉴定后的昆虫利用 Excel 2019 进行初步整理,基于不同树种搭配,分别计算昆虫个体数、类群数、Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数、Berger-Parker 优势度指数和 Richness 丰富度指数。计算公式如下:

Shannon-Wiener 指数:
$$H = - \sum P_i \ln P_i \tag{1}$$

Pielou 均匀度指数:
$$E = H / \ln S \tag{2}$$

Berger-Parker 优势度指数:
$$I = N_{\text{MAX}} / N_T \tag{3}$$

$$\text{Richness 丰富度指数: } D = \ln S / \ln N \quad (4)$$

式中, S 是样地内类群数量; N_T 为所有个体数量; $N_{\max}$ 为优势种群个体数量; N 为所有个体总数; P_i 为类群总个体数 i 占总体个体数的比值。

优势类群划分根据个体数占总数百分比,1% 以下为稀有类群,1%—10% 为常见类群,10% 以上者为优势类群^[29]。比较不同样地昆虫相关指数差异在 IBM SPSS 26.0 中进行单因素方差分析(one-way ANOVA)检验,对存在显著差异的昆虫指标利用沃勒邓肯(Waller-Duncan, W)进一步检验差异显著性。以上两个结果均利用 Origin Lab 2021 作图展现。为解释植被因子对拉萨南山生态林不同树种搭配昆虫群落组成和多样性指标的影响,在 Origin Lab 2021 中完成主成分分析(principal component analysis, PCA),最终筛选出特征值>1,同时累计贡献超过 85% 的 4 个主要植被特征,分别为草本均匀度,草本丰富度,灌木均匀度和灌木丰富度,再在 R 4.3.3 中进行冗余分析(Redundancy analysis, RDA)进一步置换检验结果中 R^2 和 P 值明确植被因子对昆虫的影响程度。

不同树种搭配昆虫 β 多样性:利用 R 4.3.3 的“vegan”包计算 Bray-Curtis 距离进行非度量多维尺度(Non-metric multidimensional scaling, NMDS)分析,最终结果用“ggplot2”呈现。为检验组间差异是否显著,使用相似性分析(Analysis of similarities, ANOSIM),通常 $R>0$,表明组间差异大于组内差异, $P<0.05$ 说明组间存在显著差异。Sørensen 指数和 Jaccard 指数可明确不同树种搭配间物种相似性指数,计算公式如下:

$$\text{Sørensen 指数: } S_i = 2c / (a+b) \quad (5)$$

$$\text{Jaccard 指数: } S_j = c / (a+b-c) \quad (6)$$

式中, a 为 A 样地的物种数, b 为 B 样地的物种数, c 为 A、B 两个样地共有的物种数。Sørensen 指数中,0.80—1.00 为极强相关;0.60—0.80 为强相关;0.40—0.60 为中等程度相关;0.20—0.40 为弱相关;0.00—0.20 为极弱相关或无相关。Jaccard 指数中,1.00—0.75 为极相似;0.75—0.50 为中等相似;0.50—0.25 为中等不相似;0.25—0.00 为极不相似。

3 结果与分析

3.1 不同树种搭配昆虫群落组成

如附录 1 所示,拉萨南山共采集昆虫 29576 只,隶属于 13 目 120 科 246 种,其中未知种 112 种。拉萨南山生态林中双翅目(Diptera)和膜翅目(Hymenoptera)占比最大,分别占总昆虫数量的 60.09% 和 12.25%,为优势类群(图 2)。从科级水平来看,双翅目的摇蚊科(Chironomidae)和秆蝇科(Chloropidae)为优势类群,分别占昆虫总数的 16.71% 和 11.89%。摇蚊科在四个生境均分布较多,秆蝇科和摇蚊科均在 S4 大量分布(图 3)。从种级水平来看,红头潜管秆蝇(*Trachysiphonella ruficeps*)为优势类群,占比 11.6%,且 S4 中大量分布。S1 中以喜马象属(*Leptomias* sp.)、钩麦蛾(*Aproaerema anthyllidella*)和原粪眼蕈蚊(*Scatopsiara atomaria*)发生较多,占比分别为 3.16%、1.59% 和 2.01%;S2 中象甲科的 *Leptomias* sp. 个体数量最多,占比为 3.88%(图 4)。

3.2 不同树种搭配对昆虫群落多样性的影响

如图 5 所示,在 S1 中昆虫类群数和丰富度最高,且与其他三种树种搭配间有显著差异($P<0.05$)。从四种树种搭配的个体数、多样性指数和均匀度指数来看,S1 与 S4 高于其他两种树种搭配,且 S1 与 S2、S3 存在显著差异($P<0.05$)。从优势度指数来看,S4 优势度指数与其他三个树种搭配有显著差异($P<0.05$),且高于其他三个树种搭配模式。

3.3 不同树种搭配下昆虫群落时间动态

由图 6 可知,拉萨南山生态林四种树种搭配除 S4 昆虫类群数在 7 月达到峰值外,昆虫类群数和个体数均在 8 月达到峰值,四个树种搭配整体呈现单峰趋势,受时间影响明显。5—9 月 S4 中昆虫个体数在时间变化上波动大,表明昆虫群落稳定性差。

3.4 不同树种搭配昆虫群落构成相似性

NMDS(Stress=0.048)分析结果可以看出,S1、S2 和 S3 昆虫群落结构分布距离较为接近,S4 则与这三种

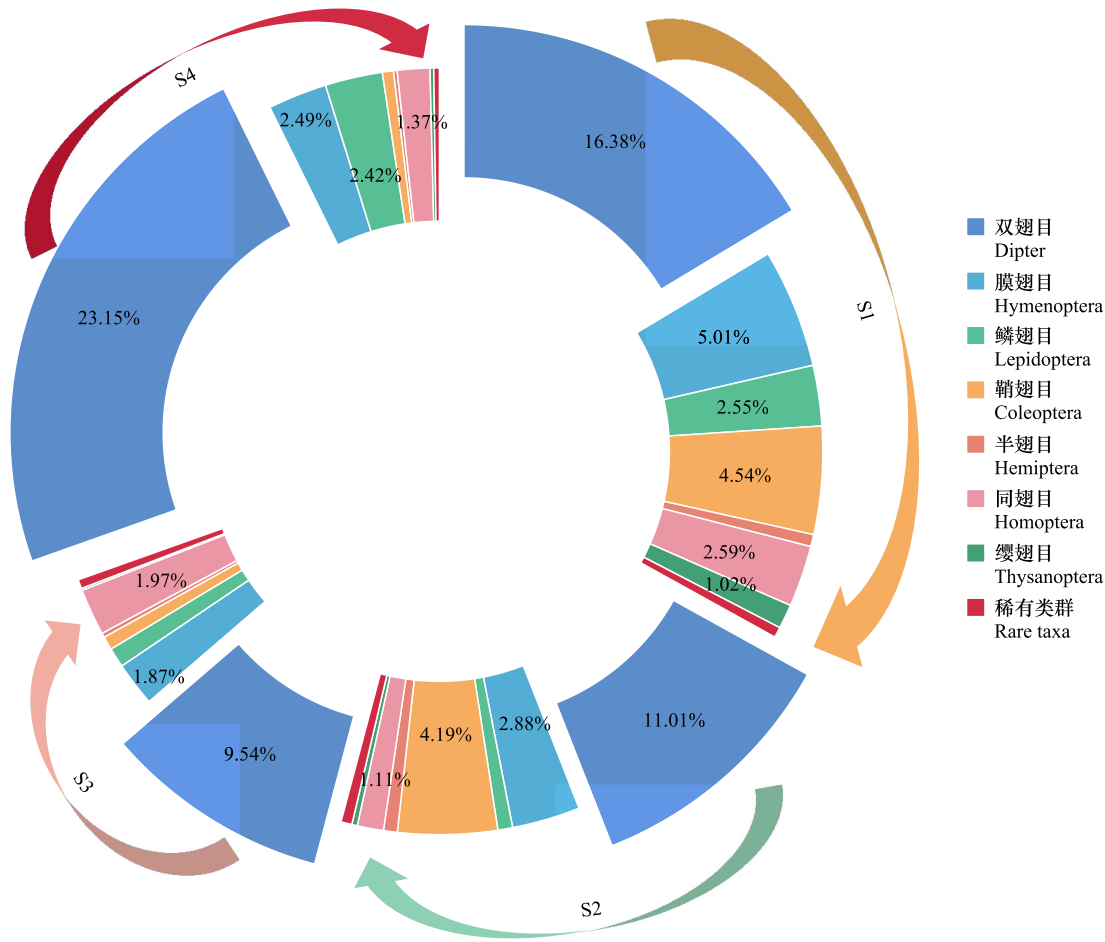


图 2 不同树种搭配昆虫相对多度(目)
Fig.2 Relative abundance of insects in different tree species assemblages (Order)

树种搭配距离较远,均不重叠(图 7)。ANOSIM 检验结果得出,拉萨南山生态林昆虫群落组成组间差异大于组内差异,且差异显著,不同树种搭配间昆虫群落组成差异大($R=0.963, P=0.001$)(图 8)。S1 和 S3 昆虫群落相似性最高, Jacard 和 Sørensen 指数分别为 0.731 和 0.844, S2 和 S4 在只有一种树种不同的情况下相似性最低,分别为 0.646 和 0.785(表 3)。

表 3 不同树种搭配昆虫群落相似性指数
Table 3 Insect community similarity indexes in different tree species assemblages

指数 Index	生境编号 Plot Number	S1	S2	S3	S4
Jacard	S1	1.000	0.672	0.731	0.671
	S2		1.000	0.688	0.646
	S3			1.000	0.688
	S4				1.000
Sørensen	S1	1.000	0.804	0.844	0.803
	S2		1.000	0.815	0.785
	S3			1.000	0.815
	S4				1.000

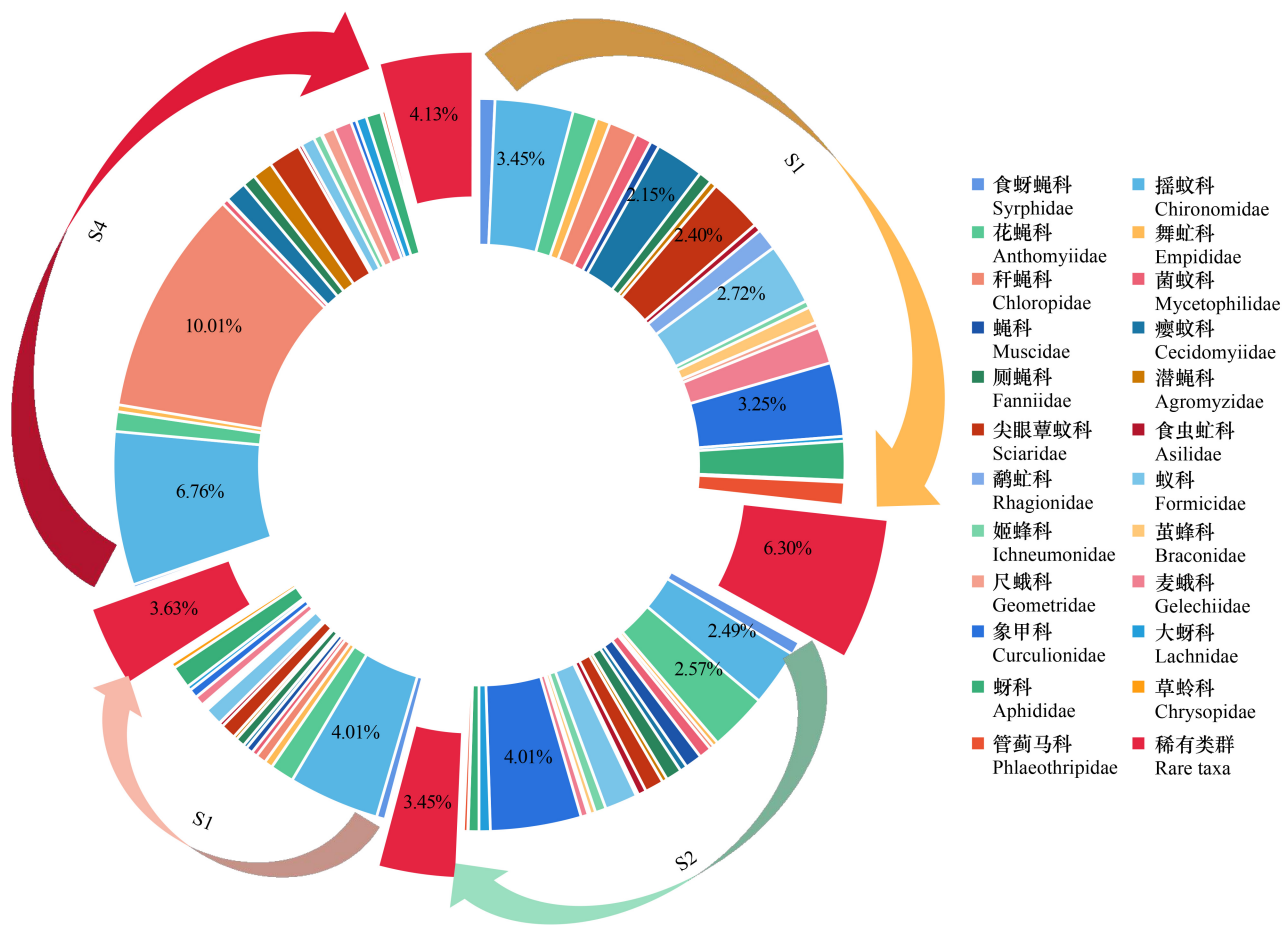


图3 不同树种搭配昆虫相对多度(科)

Fig.3 Relative abundance of insects in different tree species assemblages (Family)

3.5 拉萨南山生态林昆虫群落与植被因子 RDA 分析

RDA 分析表明,4 个环境因子对拉萨南山生态林昆虫群落组成的总解释率为 96.89%,RDA1 和 RDA2 分别解释了 76.79%和 20.1%(图 9)。箭头长短和箭头间夹角可用于判断植被与昆虫指标的关系,箭头越长,影响越高,箭头间夹角小于 90°为正相关关系,反之则为负相关。拉萨南山生态林昆虫指标受草本均匀度和草本丰富度影响最大。进一步置换检验结果显示,昆虫个体数和草本均匀度显著正相关($R^2 = 0.5909, P = 0.014$),草本丰富度与昆虫类群数和昆虫个体数显著负相关($R^2 = 0.6725, P = 0.007$)(表 4)。

表 4 置换检验

Table 4 Permutation test

植被因子 Vegetation Factors	排序轴 1 RDA1	排序轴 2 RDA2	判定系数 R^2	P 值 $Pr(>r)$
灌木均匀度 SE	0.07244	0.99737	0.2036	0.347
灌木丰富度 SR	0.22008	-0.97548	0.2096	0.335
草本均匀度 HE	0.99131	-0.13157	0.5909	0.014 *
草本丰富度 HR	-0.9744	0.22483	0.6725	0.007 **

SE:灌木均匀度 Pielou Evenness Index of Shrub;SR:灌木丰富度 Richness Index of Shrub;HE:草本均匀度 Pielou Evenness Index of Herb;HR:草本丰富度指数 Richness Index of Herb

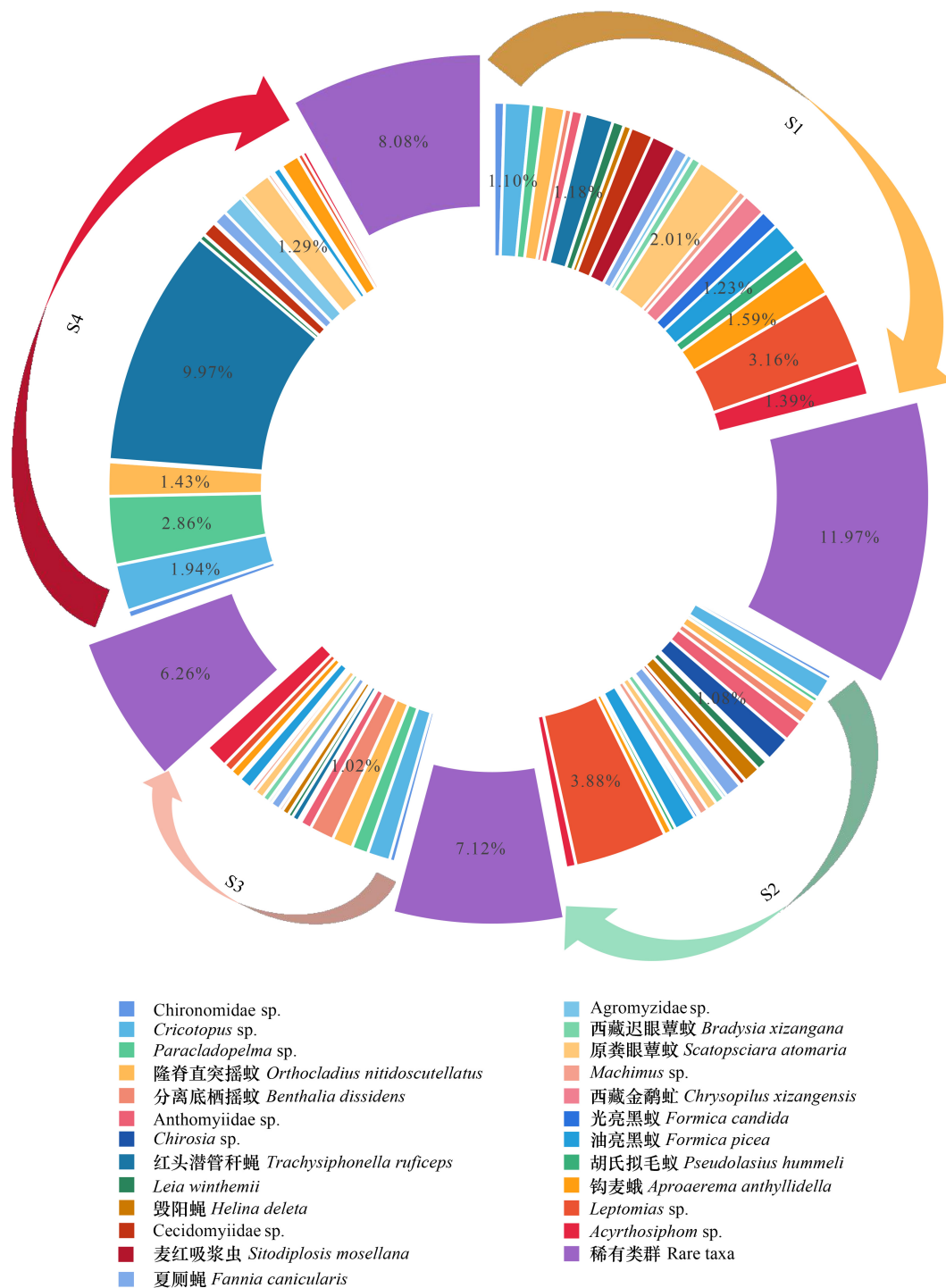


图 4 不同树种搭配昆虫相对多度 (种)

Fig.4 Relative abundance of insects in different tree species assemblages (Species)

4 讨论

4.1 不同树种搭配下昆虫群落组成特征

此次调查共采集昆虫 29576 只,隶属于 13 目 120 科 246 种,拉萨南山生态林昆虫群落呈现出昆虫数量丰富、种类繁多,在复杂的营养级食物网络中占据重要位置。从整个拉萨南山生态林昆虫群落来看,双翅目和膜

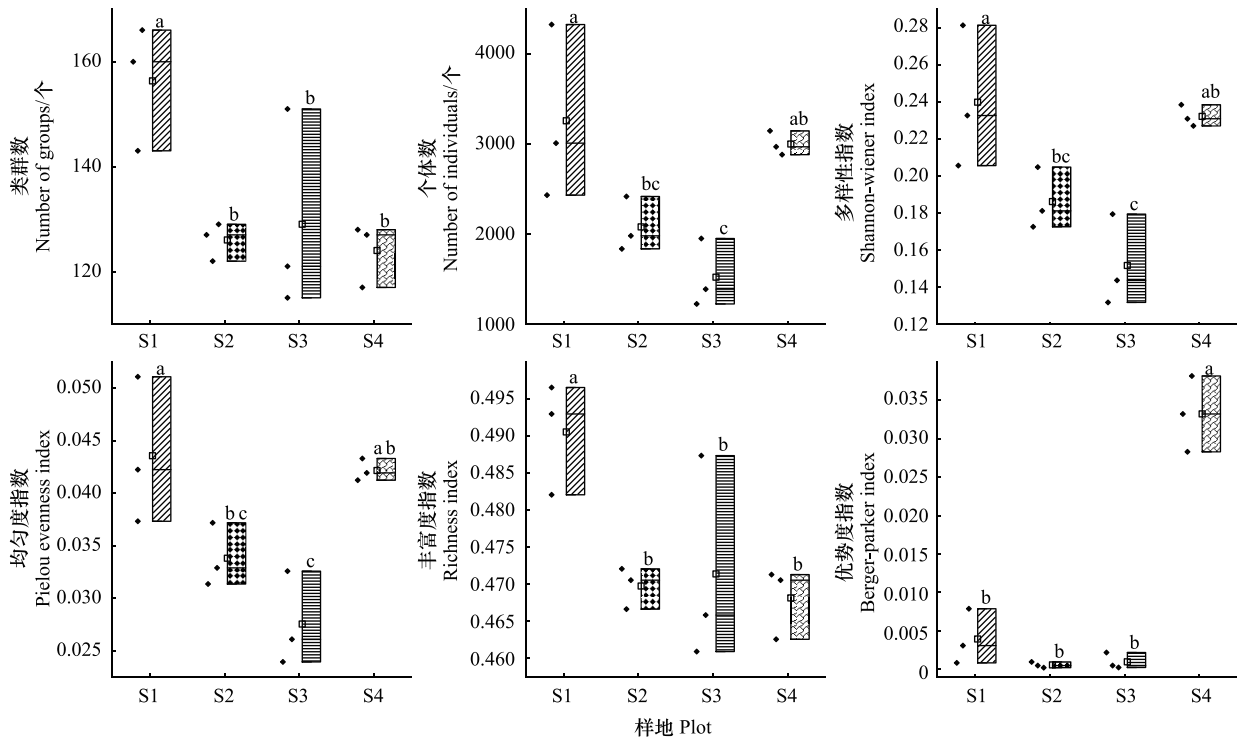


图5 不同树种搭配昆虫群落结构特征指数

Fig.5 Indices of insect community structure in different tree species assemblages

不同小写字母表示样地间差异达到 0.05 的显著水平

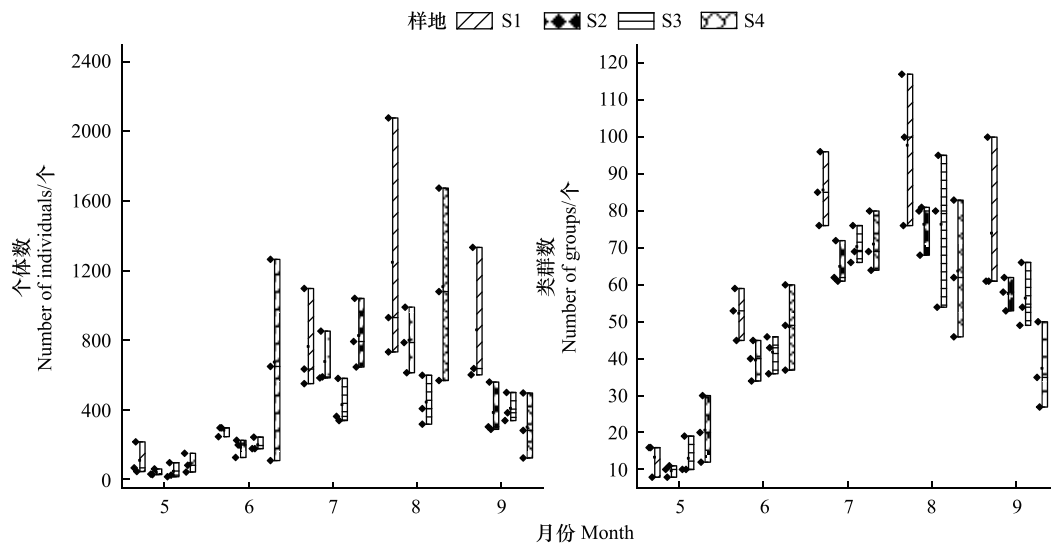


图6 不同树种搭配昆虫个体数和类群数时间变化

Fig.6 Time changes of individual and group number of insects in different tree species assemblages

翅目为优势类群,是由于双翅目和膜翅目繁殖能力和飞行能力强,且马来氏网法善于收集此类昆虫^[30-31]。其中摇蚊科和秆蝇科数量最多,研究发现,摇蚊科对生境变化和恶劣生境具有较强耐力,适合应对不稳定的生境^[32]。同时试验地靠近拉萨河,有利于摇蚊科繁衍。在 S4 中红头潜管秆蝇大量分布,从表 2 中可以看出 S4 林下植物群落组成相对简单,随着植被资源丰富度降低,天敌类群减少,无法抑制红头潜管秆蝇数量所导致^[33]。

生态林中植被的种类、密度和盖度,为昆虫的扩散和定居提供条件,其中,不同树种搭配对昆虫群落的组成和稳定性的影响是不同的^[34]。ANOSIM 相似性可以得出,四个树种搭配间昆虫群落组成存在显著差异, Jacard 和 Sørensen 指数明确指出 S4 与其他三个树种搭配昆虫群落组成相似性低,与 S2 相似性最低。从树种组成来看, S2 和 S4 只在细叶红柳和樟子松有区别,细叶红柳开花期提供花蜜和花粉,更能吸引蜜蜂、食蚜蝇等传粉昆虫,细叶红柳叶片更有利于植食性昆虫的取食,叶片受损后分泌的水杨酸甲酯更能招募茧蜂科等寄生蜂^[35]。生态林不同树种搭配中除引进的树种外,林下灌木和草本不仅有利于环境中昆虫多样性的增加,同时也为一些敏感物种提供生存条件^[36], S2 草本丰富度显著高于 S4,两个样地间的草本构成不同,这也是造成 S2 和 S4 昆虫群落差异的原因。群落中植被构成的复杂化和多样化使群落中昆虫多样性更高^[37—38],随着生境中草本物种增加,也会引起不同物种间对于生境中的资源,如水分、阳光、氧气等资源的争夺和竞争更加激烈,从而影响了昆虫资源,比如花蜜、叶片的分布,进一步影响到昆虫群落^[39]。结合此次试验植被多样性指标与昆虫多样性指标的冗余分析结果来看,昆虫类群数与草本丰富度显著负相关,昆虫个体数和类群数与草本均匀度显著正相关,草本种类越丰富越不利于昆虫群落的发展,与杨建东等^[40]试验结果相符。Wintergerst^[41]等研究发现部分区域每年 2—3 次低频率刈割,同时保留 5—10 cm 高的地上植被昆虫多样性高于不刈割和频繁刈割区域。综上所述,针对拉萨南山生态林建设初期,除加强监测外,可采取部分区域低频率的刈割,从而促进昆虫多样性的提高。

4.2 不同树种搭配下昆虫群落多样性及时间动态

国内外历年来对昆虫多样性的研究结果普遍认为昆虫多样性受环境能量、水的可利用性、气候稳定性、栖息地的异质性、降水、海拔、坡向等因素的共同影响^[42—43]。从此次拉萨南山生态林昆虫多样性调查结果可以看出,当其他影响因子相同的情况下,树种搭配对昆虫群落组成和多样性有显著影响。昆虫多样性是生物多样性的重要组成部分,其多样性指数的高低能够预测不同树种搭配生态状况^[44]。在群落 α 多样性中,昆虫多样性越高,群落稳定性越高^[45]。从此次试验昆虫多样性的各项指标来看, S1 昆虫多样性各项指标最高,群落稳定性也最高。针对年轻人工林的研究发现,树种丰富度有利于提升年轻人工林林分结构的复杂性^[46],同时林分结构复杂化对昆虫群落多样性有促进作用^[47—48],从四种树种搭配的丰富度来看, S1 最高,这也是致使此树种搭配昆虫多样性高的原因。Shannon-Wiener 多样性指数通常处于 1.5—3.5 之间^[49],整体来看,四种树种搭配下 Shannon-Wiener 多样性指数均处于 0.12—0.28 之间,显著低于正常水平。前人研究表明,人工林林龄对昆虫多样性的影响是不可忽视的,随着时间的推移林龄较长的人工林林分更复杂,更有利于促进昆虫群落的发展和多样性的提高^[50—51],拉萨南山生态林建设至今时间短,且土壤相对贫瘠,气候寒冷,降水少,稳定的人工林形成耗时更长。张淑莲等^[52]研究发现,昆虫个体数在时间变化上幅度越小,优势度指数较低的昆虫群

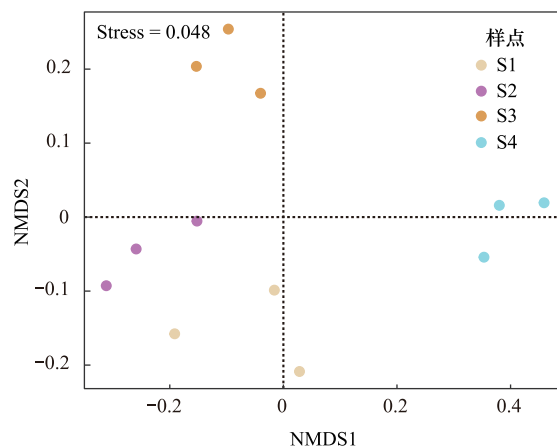


图7 不同树种搭配昆虫群落结构非度量多维尺度(NMDS)分析
Fig.7 Non-metric multidimensional scaling (NMDS) of insect community structure in different tree species assemblages

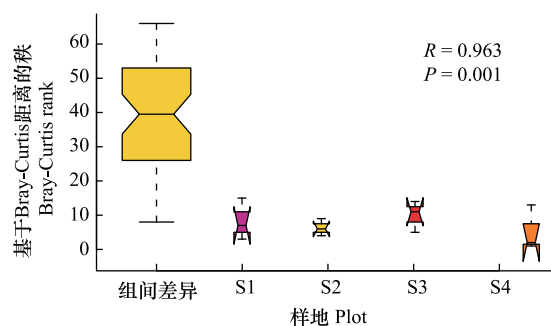


图8 不同树种搭配昆虫群落组成相似性分析
Fig.8 ANOSIM of insect community in different tree species assemblages

落稳定性更高,群落内昆虫间能够形成较好的制约关系,此次调查中,S4 昆虫个体数在 5—9 月变化幅度较大,优势度指数最高,昆虫群落稳定性最低。拉萨南山生态林还处于植被构建初期,并未形成稳定的植被生态系统,因此拉萨南山生态林改善区后期应加强监测,预防大规模虫害发生。

5 结论

此次试验针对拉萨南山生态林 4 种典型树种搭配进行昆虫群落调查,共采集昆虫 29576 只,隶属于 13 目 120 科 246 种,其中未知种 112 种,优势科为摇蚊科和秆蝇科,优势种为红头潜管秆蝇。从昆虫多样性指标及时间动态来看,拉萨南山生态林处于建立初期,并未形成稳定的昆虫生态系统,昆虫群落抵抗外界的能力较差,其中 S1 多样性指数最高,时间动态上昆虫个体数和类群数波动小,相对其他三种树种搭配昆虫群落更加稳定。S4 优势度最高,昆虫个体数时间动态波动最大,昆虫群落稳定性最低。林下草本作为拉萨南山生态林重要组成部分,草本种类的过度生长不利于昆虫群落的稳定发展。

参考文献 (References):

- [1] 侯伟, 普布顿顿, 边巴多吉, 普罗, 陶德玲, 薛辉. 西南南北山造林绿化实践对拉萨南北山绿化建设的启示. 林业建设, 2022(5): 51-55.
- [2] Li D J, Wen L, Jiang S, Song T Q, Wang K L. Responses of soil nutrients and microbial communities to three restoration strategies in a karst area, southwest China. *Journal of Environmental Management*, 2018, 207: 456-464.
- [3] Zhang K, Lin S L, Ji Y Q, Yang C X, Wang X Y, Yang C Y, Wang H S, Jiang H S, Harrison R D, Yu D W. Plant diversity accurately predicts insect diversity in two tropical landscapes. *Molecular Ecology*, 2016, 25(17): 4407-4419.
- [4] 冯怡琳, 杨竟艺, 王永珍, 赵文智, 辛未冬, 袁虹, 刘继亮. 祁连山国家公园煤矿修复对地表节肢动物多样性的影响. 生态学报, 2024, 44(4): 1575-1587.
- [5] Lucey J M, Hill J K. Spillover of insects from rain forest into adjacent oil palm plantations. *Biotropica*, 2012, 44(3): 368-377.
- [6] 刘兴平, 刘向辉, 王国红, 韩瑞东, 戈峰. 多样化松林中昆虫群落多样性特征. 生态学报, 2005, 25(11): 184-190.
- [7] 高佳楠, 卢林, 郭晓晨, 齐力, 林美英, 张志伟, 肖能文. 北京市昆虫丰富度及其环境影响因子. 植物保护学报, 2023, 50(4): 1055-1061.
- [8] 张飞萍, 尤民生. 不同林分类型毛竹林节肢动物群落的多样性与稳定性. 昆虫学报, 2007, 50(1): 31-37.
- [9] 李昆, 罗长维, 陈友, 孙永玉, 和秋菊. 元谋干热河谷生态恢复区昆虫多样性研究. 生态学杂志, 2006, 25(4): 417-422.
- [10] Root R B. Organization of a plant-arthropod association in simple and diverse habitats: the fauna of collards (*Brassica oleracea*). *Ecological Monographs*, 1973, 43(1): 95-124.
- [11] Batch C E. Plant spatial pattern and herbivore population dynamics: plant factors affecting the movement patterns of a tropical cucurbit specialist (*Acalymma innubum*). *Ecology*, 1984, 65(1): 175-190.
- [12] Elmstrom K M, Andow D A, Barclay W W. Flea beetle movement in a broccoli monoculture and diculture. *Environmental Entomology*, 1988, 17(2): 299-305.
- [13] 吴龙飞, 姜文虎, 刘洋, 李忠玲, 刘军侠. 不同林分类型对昆虫群落多样性的影响. 生态学报, 2017, 37(7): 2217-2224.
- [14] 刘欢欢, 李晨阳, 李梦莉, 蒙凤群. 广西马尾松人工林与毗邻天然林昆虫群落组成及多样性研究. 西南林业大学学报: 自然科学, 2024, 44(2): 144-154.
- [15] Leidinger J, Blaschke M, Ehrhardt M, Fischer A, Gossner M M, Jung K, Kienlein S, Kózak J, Michler B, Mosandl R, Seibold S, Wehner K, Weisser W W. Shifting tree species composition affects biodiversity of multiple taxa in Central European forests. *Forest Ecology and Management*, 2021, 498: 119552.
- [16] Hayes L, Mann D J, Monastyrskii A L, Lewis O T. Rapid assessments of tropical dung beetle and butterfly assemblages: contrasting trends along a forest disturbance gradient. *Insect Conservation and Diversity*, 2009, 2(3): 194-203.
- [17] Hanula J L, Horn S. Removing an invasive shrub (Chinese privet) increases native bee diversity and abundance in riparian forests of the southeastern United States. *Insect Conservation and Diversity*, 2011, 4(4): 275-283.

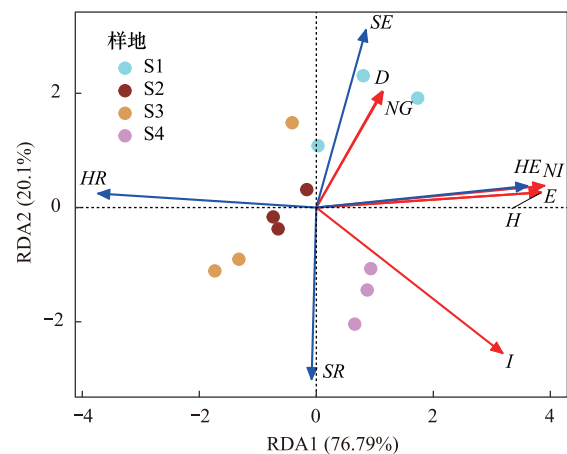


图9 昆虫结构特征指数与植被因子 RDA 分析排序图

Fig.9 RDA analysis sequence diagram of insect community structure indices and vegetation factors

NG:昆虫类群数 Number of Groups; NI:昆虫个体数 Number of Individuals; D:昆虫丰富度指数 Richness Index; I:昆虫优势度指数 Berger-Parker Index; E:昆虫均匀度指数 Pielou Evenness Index; H:昆虫多样性指数 Shannon-Wiener Index; HR:草本丰富度指数 Richness Index of Herb; HE:草本均匀度 Pielou Evenness Index of Herb; SE:灌木均匀度 Pielou Evenness Index of Shrub; SR:灌木丰富度 Richness Index of Shrub

- [18] Berndt L A, Brockerhoff E G, Jactel H. Relevance of exotic pine plantations as a surrogate habitat for ground beetles (Carabidae) where native forest is rare. *Biodiversity and Conservation*, 2008, 17(5): 1171-1185.
- [19] 王佳生, 赵红蕊, 孟庆繁, 刘生冬, 李燕, 李明锐, 佟佳琦. 天然阔叶混交林-人工红松幼龄林交错区地表甲虫多样性. *生态学报*, 2024, 44(22): 10287-10299.
- [20] 祝鑫宇, 张健本, 梁雪松, 李梦莉, 蒋超尤, 蒙凤群. 广西雅长桉人工林和毗邻地带性天然林地昆虫群落比较研究. *西南林业大学学报: 自然科学*, 2024: 1-9. (2024-08-08). <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?filename=YNLX20240708002&dbname=CJFD&dbcode=CJFQ>.
- [21] 吴龙飞, 姜文虎, 袁胜亮, 郭萌萌, 刘军侠. 塞罕坝自然保护区樟子松不同林分类型对昆虫群落多样性的影响. *应用生态学报*, 2017, 28(1): 308-314.
- [22] 王萍萍, 樊星, 陈洋, 郑冰权, 曾涛, 余洋丽娜, 冉江洪. 大熊猫国家公园成都片区昆虫资源调查初报. *四川动物*, 2024, 43(3): 349-360.
- [23] Kirk-Spriggs A H, Sinclair B J. *Manual of Afrotropical Diptera*. Pretoria: South African National Biodiversity Institute, 2017.
- [24] 中国科学院中国动物志编辑委员会. 中国动物志-第三十九卷-昆虫纲, 脉翅目, 草蛉科; 昆虫纲 脉翅目 草蛉科. 北京: 科学出版社, 2005.
- [25] 雷朝亮, 荣秀兰. 普通昆虫学. 2 版. 北京: 中国农业出版社, 2011.
- [26] 中国科学院动物研究所. 中国经济昆虫志. 北京: 科学出版社, 1959.
- [27] 黄复生. 西藏昆虫. 北京: 科学出版社, 1981.
- [28] 肖显承, 王端阳, 陈波, 胡光镇, 马云鹤, 杨雯, 赵景学. 短期增温对西藏念青唐古拉山典型植物群落结构和稳定性的影响. *生态学报*, 2023, 43(20): 8608-8619.
- [29] 杨欢. 成都城市绿地昆虫群落结构及生物多样性研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2022.
- [30] 刘哲强, 马玲, 焦玥, 张静, 曹传旺, 顾伟, 满子源, 张曼胤. 小兴安岭森林恢复期典型人工林与原始林昆虫群落结构动态. *应用生态学报*, 2015, 26(2): 555-562.
- [31] 吴琼, C.van Achterberg, 陈学新. 昆虫诱集装置——马氏网的类型与使用. *应用昆虫学报*, 2016, 53(3): 660-667.
- [32] 侯湘然, 潘保柱, 侯易明, 胡恩, 贺瑶, 冯治远. 无定河流域不同水土流失区底栖动物生物完整性指数构建与健康评价. *湖泊科学*, 2024, 36(1): 274-285.
- [33] Letourneau D K, Ambrecht I, Rivera B S, Lerma J M, Carmona E J, Daza M C, Escobar S, Galindo V, Gutiérrez C, López S D, Mejía J L, Acosta Rangel A M, Rangel J H, Rivera L, Saavedra C A, Torres A M, Trujillo A R. Does plant diversity benefit agroecosystems A synthetic review. *Ecological Applications*, 2011, 21(1): 9-21.
- [34] Guariguata M R, Rheingans R, Montagnini F. Early woody invasion under tree plantations in costa rica: implications for forest restoration. *Restoration Ecology*, 1995, 3(4): 252-260.
- [35] Dicke M, Baldwin I T. The evolutionary context for herbivore-induced plant volatiles: beyond the 'cry for help'. *Trends in Plant Science*, 2010, 15(3): 167-175.
- [36] 李朋瑶, 段美春, 宇振荣. 乡村人工林下草本植物对节肢动物多样性的影响. *风景园林*, 2023, 30(4): 43-49.
- [37] Irmeler U. Climatic and litter fall effects on collembolan and oribatid mite species and communities in a beech wood based on a 7 years investigation. *European Journal of Soil Biology*, 2006, 42(1): 51-62.
- [38] 杨旭, 郎南军, 温绍龙, 郭永清, 张立新, 江期川, 郑科, 彭明俊, 郭玉红. 不同类型退化山地生态系统典型区域昆虫多样性分析. *科技信息*, 2011(11): 428-430.
- [39] Hautier Y, Niklaus P A, Hector A. Competition for light causes plant biodiversity loss after eutrophication. *Science*, 2009, 324(5927): 636-638.
- [40] 杨建东, 郭莉娜, 王自然, 郭俊, 李进学, 高俊燕. 柠檬园前期不同土地利用方式对半翅目昆虫的影响——以云南省澜沧县为例. *云南农业大学学报(自然科学)*, 2019, 34(3): 399-407.
- [41] Wintergerst J, Kästner T, Bartel M, Schmidt C, Nuss M. Partial mowing of urban lawns supports higher abundances and diversities of insects. *Journal of Insect Conservation*, 2021, 25(5): 797-808.
- [42] Hawkins B A, Porter E E. Relative influences of current and historical factors on mammal and bird diversity patterns in deglaciated North America. *Global Ecology and Biogeography*, 2003, 12(6): 475-481.
- [43] Svenning J C, Skov F. The relative roles of environment and history as controls of tree species composition and richness in Europe. *Journal of Biogeography*, 2005, 32(6): 1019-1033.
- [44] 刘佳敏, 张慧, 黄秀凤, 徐华潮. 浙江 3 个自然保护区昆虫多样性及森林健康评价. *浙江农林大学学报*, 2013, 30(5): 719-723.
- [45] 王成树, 陈树仁. 蔬菜害虫及其天敌昆虫群落多样性和相关性研究. *生物多样性*, 1999, 7(2): 106-111.
- [46] Perles-Garcia M D, Kunz M, Fichtner A, Härdtle W, von Oheimb G. Tree species richness promotes an early increase of stand structural complexity in young subtropical plantations. *Journal of Applied Ecology*, 2021, 58(10): 2305-2314.
- [47] 马国强, 刘贤谦. 山西同朔地区不同混交林中昆虫群落结构初步研究. *山西农业大学学报: 自然科学版*, 2007, 27(4): 360-362.
- [48] 徐郑周, 刘广营, 王广海, 赵国华, 马长明. 燕山山地华北落叶松人工林群落生物多样性及其生物量的研究. *林业资源管理*, 2010(2): 43-49.
- [49] Simpson E H. Measurement of diversity. *Nature*, 1949, 163(4148): 688.
- [50] Taki H, Yamaura Y, Okochi I, Inoue T, Okabe K, Makino S. Effects of reforestation age on moth assemblages in plantations and naturally regenerated forests. *Insect Conservation and Diversity*, 2010, 3(4): 257-265.
- [51] Barbra L, Pontcharraud L, Vetillard F, Guyon D, Jactel H. Comparative responses of bird, carabid, and spider assemblages to stand and landscape diversity in maritime pine plantation forests. *Écoscience*, 2005, 12(1): 110-121.
- [52] 张淑莲, 张锋, 陈志杰, 王琦. 黄土丘陵沟壑区不同植被恢复类型昆虫群落结构及多样性的研究. *西北植物学报*, 2005, 25(7): 1323-1328.