



思茅松林下黄精田节肢动物群落组成结构及多样性分析

何艳艳^{1,2}, 龙晓明¹, 杨虎权¹, 杜广祖¹, 孙淦琳¹, 陈斌^{1*}

¹云南农业大学植物保护学院/云南生物资源保护与利用国家重点实验室, 云南昆明 650201;

²云南大学资源植物研究院, 云南昆明 650500)

摘要:【目的】研究思茅松林下黄精田节肢动物群落组成结构及多样性, 为林下黄精上害虫的综合治理和天敌资源的保护利用提供参考。【方法】2022年1—12月, 以云南省普洱市澜沧县大塘子村思茅松林下黄精种植基地为调查点, 采用目测法、陷阱法、黄蓝板诱捕法、马氏网诱捕及夜晚踏查相结合的方法对思茅松林下黄精田节肢动物群落进行调查, 并对节肢动物群落的多样性指数、优势集中性指数、均匀度指数和丰富度指数进行分析。【结果】在思茅松林下黄精田共采集到节肢动物7纲23目98科157属192种15423头, 蜱螨目节肢动物为优势类群, 其个体数有3899头, 相对多度为25.28%。不同功能团类群中, 在个体数上表现为害虫亚群落>中性节肢动物亚群落>天敌亚群落, 害虫亚群落的个体数占节肢动物群落物种个体总数的51.41%。林下黄精田节肢动物群落多样性指数、优势集中性指数、均匀度指数和丰富度指数分别为3.488、0.095、0.663和19.806。林下黄精田主要害虫有红叶螨 (*Tetranychus pueraricola*)、黄蓟马 (*Thrips flavus*)、螽斯类和叶蝉类等; 其中, 红叶螨发生期为8—12月, 9月为暴发期; 黄蓟马主要发生在3—6月, 4月为暴发期; 主要天敌为姬蜂类、茧蜂类和蜘蛛类, 姬蜂类和蜘蛛类均在5月种群数量最高。【结论】云南省普洱市澜沧县思茅松林下黄精田节肢动物群落多样性丰富。应加强对红叶螨等优势害虫的监测和防控, 同时加强对寄生蜂类和蜘蛛类等天敌资源的保护和利用。

关键词: 思茅松; 林下种植; 黄精; 节肢动物; 群落多样性

中图分类号: S435.672; S476

文献标志码: A

文章编号: 2095-1191(2024)01-0117-11

Composition structure and diversity of arthropod communities in *Polygonatum kingianum* field under *Pinus kesiya* var. *langbianensis* forest

HE Yan-yan^{1,2}, LONG Xiao-ming¹, YANG Hu-quan¹, DU Guang-zu¹, SUN Gan-lin¹, CHEN Bin^{1*}

¹College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University/State Key Laboratory for Conservation and Utilization of Bio-resources in Yunnan, Kunming, Yunnan 650201, China; ²Institute of Resource Plants, Yunnan University, Kunming, Yunnan 650500, China)

Abstract:【Objective】Arthropod community composition structure and the diversity in the field of understory planted *Polygonatum kingianum* in *Pinus kesiya* var. *langbianensis* forest were studied to provide reference for the integrated pest control of *P. kingianum* and protection and utilization of natural enemy in *P. kesiya* forest. 【Method】An investigation on the arthropod community composition structure in the system of understory planted *P. kingianum* in *P. kesiya* forest was carried out in Datangzi, Lancang, Pu'er, Yunnan from January of 2022 to November of 2022, by using the visual inspection, trap method, yellow and blue trap board, Malaise trap and nocturnal survey method. The diversity index, domi-

收稿日期: 2023-09-13

基金项目: 云南省重大科技专项(202102AE090042-02-06); 云南省科技支撑社会事业发展项目(202204AC100001-A10); 云南省教育厅科技创新团队项目(2022[69])

通讯作者: 陈斌(1970-), <https://orcid.org/0000-0001-7424-3046>, 博士, 教授, 主要从事害虫综合防治研究工作, E-mail: chbins@163.com

第一作者: 何艳艳(1991-), <https://orcid.org/0000-0001-5072-5294>, 研究方向为害虫综合防治, E-mail: heyanyan0505@outlook.com

nance concentration index, evenness index and richness index of arthropod community were analyzed. [Result] There were 15423 arthropods in 192 species, 157 genera, 98 families, 23 orders, and 7 classes in *P. kingianum* field under *P. kesiya* forest. The dominant taxon in the number of individuals was Acarina arthropod with 3899 insects and relative abundance of 25.28%. In different functional groups, individual numbers presented as pest sub-communities>neutral arthropod sub-communities>natural enemy sub-communities, and the number of individuals of pest sub-ommunities accounted for 51.41% of the total arthropod community. The diversity index, dominance concentration index, evenness index and richness index of arthropod community in *P. kingianum* field under *P. kesiya* forest were 3.488, 0.095, 0.663 and 19.806 respectively. In addition, the dominant pests were *Tetranychus pueraricola*, *Thrips flavus*, Mecopodidae and Cicadellidae in *P. kingianum* field under *P. kesiya* forest. Among them, *T. pueraricola* occurred during August and December, and September was the outbreak period; *T. flavus* mainly occurred during March and June, and April was the outbreak period. The dominant natural enemies were Ichneumonidae, Braconidae and spiders. Population numbers of Ichneumonidae and spiders peaked in May. [Conclusion] The arthropod community is rich in species and diversity on *P. kingianum* under the forest of *P. kesiya* in Lancang, Pu'er, Yunnan. The prevention and control of superior pests such as *T. pueraricola* should be strengthened, and the protection and utilization of natural enemies such as parasitic wasps and spiders should be noticed.

Key words: *Pinus kesiya* var. *langbianensis*; under-forest planting; *Polygonatum kingianum*; arthropods; community diversity

Foundation items: Yunnan Major Science and Technology Project(202102AE090042-02-06); Yunnan Science and Technology Support Development Project of Social Undertakings(202204AC100001-A10); Science and Technology Innovation Team Project of Yunnan Education Department(2022(69))

0 引言

【研究意义】黄精(*Polygonatum kingianum*)为百合科(Liliaceae)多年生草本植物,是云南省重要的中药材,具有较高的经济价值和社会效益(国家药典委员会,2020)。2015年开始,朱有勇院士团队先后开展了林下三七、林下黄精等林下中药材有机种植关键技术研发和示范推广工作。充分发挥云南省林地资源优势,应用农林复合系统中的林下生境与中药材生长特性相耦合和物种相生相克等原理,让中药材回归山林,不施农药化肥,解决了传统中药材高产低质、农残超标和连作障碍等问题(李佳洲等,2022;朱书生等,2022),因此,林下种植对中药材的优质生产具有重要意义。黄精在生长过程中常受到各种因子的制约,其中害虫是影响其产量和品质的关键因子之一,而传统的化学防治因抗药性、安全性等问题不适合林下黄精的有机种植理念,因此,亟需开展对林下黄精的害虫生态防控研究,而明确林下黄精上节肢动物群落组成结构是害虫生态治理的前提。【前人研究进展】本研究团队前期已对思茅松林下三七上的节肢动物群落组成结构及其多样性进行了报道,林下三七上共采集到11目33科40种节肢动物(曹宁宁等,2019)。此外,有研究表明,林下种植的黄精综合品质优且经济和生态效益突出(严毅等,2016;赵君等,2022)。目前,有关黄精害虫种类的研究已有一些研究报道。孙世伟(2007)对汉中黄精病虫害的发生和防治进行研究,发现主要害虫有小地老虎、华北大黑鳃金龟、二斑叶螨、山楂叶螨和蚜虫等,其中山楂叶螨和二斑叶螨为首次发现。王桥美

等(2017)报道黄精上主要害虫有蛴螬、地老虎、二斑叶螨、斑腿蝗、蛴螬和稻株缘蝽,主要采用化学农药防治。叶家东(2020)报道皖南山区黄精上常见害虫种类包括蚜虫、二斑叶螨、山楂叶螨、小地老虎和蛴螬,并制定了具体的防治策略。蒋燕锋等(2021)、南红亮(2022)概述了黄精主要常见病虫害的发生及防控方法,并提出根据常见病虫害类型的不同特点针对性地展开防治管理技术。张征和姚卫平(2021)提出可在黄精周边种植蜜源植物,从而利用天敌昆虫如赤眼蜂、瓢虫、草蛉和食蚜蝇等来防控害虫。以上均为大田种植黄精上主要害虫及防治的相关报道,而涉及林下种植黄精上害虫的报道较少。曹宁宁等(2019)调查发现,思茅松林下三七上的优势害虫主要是近十似条蠹和黄脸油葫芦等,而大田模式下三七上害虫则主要包括蓟马(陈昱君等,2015)、短须螨、蛴螬、介壳虫和蚜虫(王朝雯,2014)。刘悦等(2021)对普洱市不同种植模式滇黄精病虫害调查发现,滇黄精上害虫有思茅松毛虫、茶毛虫、蝼蛄、蛴螬、小地老虎、蓟马类、蚜虫类、蛴螬和蜗牛;并进一步比较了大田种植及林下种植模式下黄精上的害虫,发现林下种植模式下害虫种类较少且危害轻。前人研究结果表明中药材不同种植模式下(林下种植、大田种植)的害虫种类差异很大。【本研究切入点】目前,黄精田(包括林下黄精)节肢动物群落组成结构与多样性尚未见研究报道,且林下黄精上的害虫及天敌发生规律尚无系统的研究报道。【拟解决的关键问题】以云南省普洱市澜沧县大塘子村思茅松林下中药材种植基地为调查点,采用目测法、陷阱法、黄蓝板诱捕法、马氏网诱捕及夜晚踏查相结合的

方法对思茅松林下种植的黄精田节肢动物进行调查,以掌握其节肢动物群落组成及其多样性,明确林下黄精害虫及其天敌的变化规律,为林下黄精上害虫的综合治理和天敌资源的保护利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 调查地概况

调查地点位于云南省普洱市澜沧县竹塘乡上扎二村村委旁(22°47'7"N~22°49'31"N,99°47'4"E~99°48'14"E,海拔1425.23~1522.65 m,年均日照时数1740 h,年平均气温17.6 °C,年均降水量1900 mm)思茅松林下黄精种植区域。思茅松林为人工种植林,横向株距2.1~2.2 m、纵向株距2.2~2.7 m,平均松龄20年,林下种植墙长15.0~20.0 m、宽1.2~1.6 m、高0.3~0.5 m。黄精种植方式选用1年苗进行人工移栽种植,移栽时株行距均为15 cm,调查时黄精均已2年移栽种植龄期。黄精种植区为林下三七种植3年后轮作区,种植期间均不施用农药和化肥。

1.2 调查方法

1.2.1 目测法 在思茅松林下黄精种植区域内从山顶到山脚选取高(海拔1510 m)、中(海拔1465 m)、低(海拔1420 m)3个坡位,每个坡位分别选择5个等高线种植带进行调查,每个种植带随机选取面积7.5 m²(长×宽=7.5 m×1.0 m)区域进行调查,每个种植带为1个重复。每7 d系统调查1次节肢动物群落的组成情况并记录,遇雨天顺延(曹宁宁等,2019;黄方倩等,2022)。

1.2.2 陷阱法 在张雪艳等(2021)方法的基础上加以改进,于调查区域的每个重复上采用陷阱法捕虫。具体做法:在处理样地上利用土壤堆1个立方体土堆,在立方体上挖1个洞,将小桶(高20 cm,上口直径9.5 cm,下底直径9.5 cm,容量780 mL)埋进土堆中,桶口与地面齐平,在小桶1/8处环形戳10个小孔便于雨水漏出,每7 d将小桶里的节肢动物转移到标本采集管中,并统计每个陷阱桶中节肢动物的种类和数量。

1.2.3 马氏网诱集 在黄精种植区设置3块马氏网,每块马氏网间距离10 m以上。将马氏网设置于昆虫飞行路径上,用绳与钉子固定于较平整的地面。马氏网顶部倾斜,为白色网,下部垂直面为黑色网,一面向外开放让昆虫进入,并有一个垂直面拦截昆虫飞行。由于昆虫具有向上爬行或趋光的特性,在网内最高处设置1个收集瓶,收集爬到网顶部的昆虫。收集瓶内盛放75%酒精,用于杀死昆虫并保存标本。于即定调查日前24 h安装收集瓶,诱捕24 h

后统计马氏网中诱捕的节肢动物种类及数量,每7 d诱捕1次。

1.2.4 黄蓝板诱集 在黄精种植区各挂置黄蓝板3块,每块黄蓝板间距离10 m以上。黄蓝板悬挂高度高于目标植物顶部20 cm。于即定调查日前24 h挂置黄蓝板,24 h后统计黄蓝板上诱捕的害虫和天敌种类及数量,每7 d诱捕1次并更换黄蓝板。

1.2.5 夜晚踏查 于晚上20:00—22:00,通过踏查法对处理样地边走边观察,记录种植带上节肢动物的种类和数量,每7 d调查1次。

1.3 统计分析

节肢动物群落结构及多样性指数分析参照曹宁宁等(2019)的方法。群落多样性特征主要指标包括:群落丰富度(P_i): $P_i=N_i/N$; Shannon-Wiener 多样性指数(H'): $H'=-\sum P_i \ln P_i$; Pielou 均匀度指数(J'): $J'=H'/\ln S$; Margale 丰富度指数(D): $D=(S-1)/\ln N$; Simpson 优势集中性指数(C): $C=\sum (P_i)^2$ 。其中, N_i 为第*i*种个体数, N 为节肢动物群落的总个体数, S 为节肢动物群落物种数。

节肢动物功能团分析参考白燕娇等(2022)的方法。根据节肢动物个体数计算其相对多度。

相对多度(%)=某个种的个体数/所有种的总个数×100

2 结果与分析

2.1 林下黄精田节肢动物群落组成调查结果

2022年1—12月,在云南澜沧县竹塘乡思茅松林下黄精田共采集到节肢动物7纲23目98科157属192种15423头(表1和表2),其中,植食性节肢动物有9目38科70属76种;捕食性节肢动物有13目31科39属44种;寄生性节肢动物有2目9科13属37种;中性节肢动物有7目24科35属35种。

从各纲组成来看,昆虫纲有15目79科138属172种;蛛形纲有3目13科13属14种,其中蜘蛛目11科11属12种,蜱螨目和真螨目各1科1属1种;弹尾纲为1目2科2属2种;多足纲、唇足纲、倍足纲和双尾纲分别为1目1科1属1种。

从个体数量来看,蜱螨目节肢动物为优势类群,其个体数有3899头,相对多度为25.28%,其次是长跳虫目、双翅目、膜翅目和半翅目,个体数分别有2211、1996、1853和1847头,相对多度分别为14.34%、12.94%、12.02%和11.98%;蜚蠊目、啮虫目、山蛩目、革翅目、毛翅目、竹节虫目、蚰蜒目、螳螂目、真螨目、蜈蚣目、脉翅目、蜻蜓目和双尾目个体数为1~153头,相对多度为0.01%~0.99%。

表 1 林下黄精田主要节肢动物群落种类组成

Table 1 Composition of arthropod community in *P. kingianum* field under forest

目	科	种名	类群	数量(头)	相对多度(%)	
Order	Family	Species name	Category	Number (insect)	Relative abundance	
直翅目 Orthoptera	蟋蟀科 Gryllidae	黄脸油葫芦 <i>Teleogryllus emma</i>	植食性	142	0.92	
	蟋蟀科 Gryllidae	灶马蟋 <i>Grylodes sigillatus</i>	植食性	188	1.22	
	钟蟋科 Phalangopsidae	钟蟋 <i>Homoeogryllus guerini</i>	植食性	14	0.09	
	蟋蟀科 Gryllacrididae	素色杆蟋 <i>Phryganogryllacris unicolor</i>	植食性	14	0.09	
	蝗蝻科 Mimenermidae	卡氏翼糜蝻 <i>Pteranabropsis carli</i>	植食性	2	0.01	
	蛉蟋科 Trygoniidae	虎甲蛉蟋 <i>Trigonidium cicindeloides</i>	植食性	1	0.01	
	蚱总科 Tetrigoidea	优角蚱 <i>Eucrietotettix</i> sp.	植食性	11	0.07	
	织娘科 Mecopodidae	纺织娘 <i>Mecopoda elongata</i>	植食性	36	0.23	
	织娘科 Mecopodidae	织娘 sp. <i>Mecopoda</i> sp.	植食性	68	0.44	
	露螽科 Phaneropteridae	近十似条螽 <i>Paraducetia paraucrucata</i>	植食性	169	1.10	
	斑腿蝗科 Catantopidae	中华稻蝗 <i>Oxya chinensis</i>	植食性	2	0.01	
	蝼蛄科 Grylloidea	蝼蛄 <i>Gryllotalpa</i> sp.	植食性	1	0.01	
	鞘翅目 Coleoptera	拟步甲科 Tenebrionidae	网目拟地甲 <i>Opatrum subaratum</i>	植食性	61	0.40
		步甲科 Carabidae	黄边掘步甲 <i>Scalidion xanthophanum</i>	捕食性	83	0.54
		步甲科 Carabidae	脊青步甲 <i>Chlaenius costiger</i>	捕食性	27	0.18
		步甲科 Carabidae	直角步甲 sp. <i>Orthogonius</i> sp.	捕食性	1	0.01
象甲总科 Curculionidae		灰象甲 <i>Sympiezomias velatus</i>	植食性	1	0.01	
天牛科 Cerambycidae		榆茶色天牛 <i>Oplatocera oberthüri</i> Gahan	植食性	1	0.01	
天牛科 Cerambycidae		橄榄梯天牛 <i>Pharsalia subgemmata</i>	植食性	1	0.01	
金龟总科 Scarabaeoidea		多型蜉金龟 <i>Aphoclius variabilis</i>	中性	20	0.13	
金龟总科 Scarabaeoidea		圣蝼蛄 <i>Scarabaeus sacer</i>	腐食性	10	0.06	
鳃金龟科 Melolonthidae		红金龟 sp. <i>Ochodaeus</i> sp.	植食性	24	0.16	
鳃金龟科 Melolonthidae		黑绒鳃金龟 <i>Serica orientalis</i>	植食性	10	0.06	
萤科 Lampyridae		萤火虫 <i>Watasenia scintillans</i>	植食性	7	0.05	
叩甲科 Pleonomus		沟线角叩甲 <i>Pleonomus canaliculatus</i>	植食性	20	0.13	
叩甲科 Pleonomus		沟胸重脊叩甲 <i>Chiagosnius sulcicollis</i>	植食性	31	0.20	
瓢虫科 Coccinellidae		异色瓢虫 <i>Harmonia axyridis</i>	捕食性	70	0.45	
瓢虫科 Coccinellidae		隐斑瓢虫 <i>H. obscurusignata</i>	捕食性	4	0.03	
瓢虫科 Coccinellidae		白条菌瓢虫 <i>Halyzia hauseri</i>	捕食性	2	0.01	
瓢虫科 Coccinellidae		黄瓢虫 <i>Illeis koebele</i>	腐食性	1	0.01	
叶甲科 Chrysomelidae		黄守瓜 <i>Aulacophora indica</i> (Gmelin)	植食性	4	0.03	
叶甲科 Chrysomelidae		黑足守瓜 <i>Aulacophora nigripennis</i>	植食性	5	0.03	
叶甲科 Chrysomelidae		梳叶甲 <i>Clytrasoma pliatum</i>	植食性	7	0.05	
叶甲科 Chrysomelidae		黄丽斑叶甲 <i>Agasta fromosa</i>	植食性	8	0.05	
瓢甲科 Coccinellidae		小毛瓢虫 <i>Scymnus</i> sp.	捕食性	21	0.14	
隐翅虫科 Staphylinidae		隐翅虫 <i>Oxytelus batiuculus</i>	捕食性	58	0.38	
埋葬甲科 Silphidae		尼负葬甲 <i>Nicrophorus nepalensis</i>	中性	17	0.11	
蕈甲科 Biphylidae		小蕈甲 <i>Typhea stercorea</i>	植食性	8	0.05	
膜翅目 Hymenoptera		蚁科 Formicidae	举腹蚁 <i>Crematogaster</i> sp.	中性	105	0.68
		蚁科 Formicidae	横纹齿猛蚁 <i>Odontoponera transversa</i>	捕食性	512	3.32
		蚁科 Formicidae	截胸勾背蚁 <i>Camponotus mutillarius</i>	中性	69	0.45
		蚁科 Formicidae	长足捷蚁 <i>Anoplolepis gracilipes</i>	捕食性	178	1.15
		蚁科 Formicidae	尹大头蚁 <i>Pheidole yeensis</i>	中性	41	0.27
		蚁科 Formicidae	双齿多刺蚁 <i>Polyrhachis dives</i>	杂食性	1	0.01
		蚁科 Formicidae	褐色脊红蚁 <i>Myrmecaria brunnea</i>	杂食性	3	0.02
		蚁科 Formicidae	敏捷扁头猛蚁 <i>Pachycondyla astuta</i>	杂食性	3	0.02
		蚁科 Formicidae	臭蚁 sp. <i>Dolichoderus</i> sp.	杂食性	3	0.02
		土蜂科 Scoliididae	金毛长腹土蜂 <i>Campsomeris prismatica</i>	寄生性	32	0.21
	缨小蜂科 Mymaridae	黑尾叶蝉缨小蜂 <i>Lymaenon</i> sp.	寄生性	70	0.45	
	蛛蜂科 Pompilidae	蛛蜂 sp. <i>Cyphononyx</i> sp.	寄生性	19	0.12	
	茧蜂科 Braconidae	茧蜂 sp.1 <i>Braconidae</i> sp.1	寄生性	92	0.60	
	茧蜂科 Braconidae	茧蜂 sp.2 <i>Braconidae</i> sp.2	寄生性	106	0.69	
	茧蜂科 Braconidae	茧蜂 sp.3 <i>Braconidae</i> sp.3	寄生性	19	0.12	
	茧蜂科 Braconidae	茧蜂 sp.4 <i>Braconidae</i> sp.4	寄生性	17	0.11	
	茧蜂科 Braconidae	茧蜂 sp.5 <i>Braconidae</i> sp.5	寄生性	33	0.21	
	泥蜂总科 Sphecoidea	泥蜂 sp. <i>Sceliphron</i> sp.	寄生性	1	0.01	
	蚁蜂科 Mutillidae	盾蚁蜂 <i>Trogaspidia oculata</i>	寄生性	41	0.27	
	蚁蜂科 Mutillidae	蚁蜂 sp. <i>Mutillidae</i> sp.	寄生性	14	0.09	
	胡蜂科 Vespidae	胡蜂 sp. <i>Vespa</i> sp.	捕食性	6	0.04	
	胡蜂科 Vespidae	墨胸胡蜂 <i>Vespa velutina</i>	捕食性	3	0.02	
	胡蜂科 Vespidae	金环胡蜂 <i>Vespa mandarina</i>	捕食性	4	0.03	

续表 1 林下黄精田主要节肢动物群落种类组成

Continued Table 1 Composition of arthropod community in *P. kingianum* field under forest

目 Order	科 Family	种名 Species name	类群 Category	数量(头) Number(insect)	相对多度(%) Relative abundance
	姬蜂科 Ichneumonidae	姬蜂 sp.1 <i>Ichneumon</i> sp.1	寄生性	29	0.19
	姬蜂科 Ichneumonidae	姬蜂 sp.2 <i>Ichneumon</i> sp.2	寄生性	8	0.05
	姬蜂科 Ichneumonidae	姬蜂 sp.3 <i>Ichneumon</i> sp.3	寄生性	2	0.01
	姬蜂科 Ichneumonidae	姬蜂 sp.4 <i>Ichneumon</i> sp.4	寄生性	7	0.05
	姬蜂科 Ichneumonidae	姬蜂 sp.5 <i>Ichneumon</i> sp.5	寄生性	8	0.05
	姬蜂科 Ichneumonidae	姬蜂 sp.6 <i>Ichneumon</i> sp.6	寄生性	6	0.04
	姬蜂科 Ichneumonidae	姬蜂 sp.7 <i>Ichneumon</i> sp.7	寄生性	7	0.05
	姬蜂科 Ichneumonidae	姬蜂 sp.8 <i>Ichneumon</i> sp.8	寄生性	3	0.02
	姬蜂科 Ichneumonidae	姬蜂 sp.9 <i>Ichneumon</i> sp.9	寄生性	2	0.01
	姬蜂科 Ichneumonidae	姬蜂 sp.10 <i>Ichneumon</i> sp.10	寄生性	1	0.01
	姬蜂科 Ichneumonidae	姬蜂 sp.11 <i>Ichneumon</i> sp.11	寄生性	10	0.06
	姬蜂科 Ichneumonidae	姬蜂 sp.12 <i>Ichneumon</i> sp.12	寄生性	104	0.67
	姬蜂科 Ichneumonidae	姬蜂 sp.13 <i>Ichneumon</i> sp.13	寄生性	140	0.91
	姬蜂科 Ichneumonidae	姬蜂 sp.14 <i>Ichneumon</i> sp.14	寄生性	27	0.18
	姬蜂科 Ichneumonidae	姬蜂 sp.15 <i>Ichneumon</i> sp.15	寄生性	55	0.36
	姬蜂科 Ichneumonidae	姬蜂 sp.16 <i>Ichneumon</i> sp.16	寄生性	18	0.12
	姬蜂科 Ichneumonidae	姬蜂 sp.17 <i>Ichneumon</i> sp.17	寄生性	5	0.03
	姬蜂科 Ichneumonidae	姬蜂 sp.18 <i>Ichneumon</i> sp.18	寄生性	8	0.05
	姬蜂科 Ichneumonidae	姬蜂 sp.19 <i>Ichneumon</i> sp.19	寄生性	1	0.01
	姬蜂科 Ichneumonidae	姬蜂 sp.20 <i>Ichneumon</i> sp.20	寄生性	4	0.03
	姬蜂科 Ichneumonidae	姬蜂 sp.21 <i>Ichneumon</i> sp.21	寄生性	1	0.01
	姬蜂科 Ichneumonidae	悬茧姬蜂 <i>Charops brachypterus</i>	寄生性	9	0.06
	蜜蜂科 Apidae	绿芦蜂 <i>Pithitis smaragdula</i>	寄生性	7	0.05
	蜜蜂科 Apidae	中华蜜蜂 <i>Apis cerana</i>	中性	1	0.01
	蛛蜂科 Pompilidae	蛛蜂 sp.1 <i>Pompilidae</i> sp.1	捕食性	7	0.05
	蛛蜂科 Pompilidae	蛛蜂 sp.2 <i>Pompilidae</i> sp.2	捕食性	3	0.02
	瘦蜂科 Cynipidae	瘦蜂 <i>Cynipidae</i> sp.	杂食性	1	0.01
	树蜂科 Siricidae	树蜂 <i>Tremex</i> sp.	杂食性	7	0.05
鳞翅目 Lepidoptera	尺蛾科 Geometridae	尺蠖 <i>Buasra suppressaria</i>	植食性	29	0.19
	尺蛾科 Geometridae	双斑辉尺蛾 <i>Luxiaria mitorrhaphes</i>	植食性	38	0.25
	尺蛾科 Geometridae	海绿尺蛾 <i>Pelagodes antiquadraria</i>	植食性	10	0.06
	尺蛾科 Geometridae	白星绿尺蛾 <i>Berta chrysolineata</i>	植食性	4	0.03
	夜蛾科 Noctuidae	斜纹夜蛾 <i>Spodoptera litura</i> Fabricius	植食性	1	0.01
	夜蛾科 Noctuidae	辉翅夜蛾 sp. <i>Spodoptera</i> sp.	植食性	20	0.13
	眼蝶科 Satyridae	棕褐黛眼蝶 <i>Lethe christophi</i>	植食性	10	0.06
	蛱蝶科 Nymphalidae	袖蝶 sp. <i>Heliconius</i> sp.	植食性	6	0.04
	蛱蝶科 Nymphalidae	闪蝶 sp. <i>Morpho</i> sp.	植食性	2	0.01
	舟蛾科 Notodontidae	掌舟蛾 sp. <i>Phalera</i> sp.	植食性	1	0.01
	麦蛾科 Gelechiidae	棕麦蛾 sp. <i>Dictomeris</i> sp.	植食性	25	0.16
毛翅目 Trichoptera	角石蛾科 Stenopsychidae	角石蛾 <i>Stenopsyche</i> sp.	植食性	41	0.27
鳞翅目 Lepidoptera	斑蛾科 Zygaenidae	锦斑蛾 <i>Histia rhodope</i>	植食性	10	0.06
	天蛾科 Sphingidae	青背斜纹天蛾 <i>There nessus</i>	植食性	7	0.05
	尺蛾科 Geometridae	鳞翅目幼虫 <i>Geometridae</i> spp.	植食性	157	1.02
双翅目 Diptera	蚊科 Culicidae	疟蚊 <i>Anopheles</i> sp.	中性	334	2.17
	蚊科 Culicidae	菌蚊 sp. <i>Boletina</i> sp.	中性	204	1.32
	瘿蚊科 Cecidomyiidae	瘿蚊 <i>Diarthronomyia chrysanthemi</i>	中性	308	2.00
	摇蚊科 Chironomidae	摇蚊 <i>Chironomus</i> sp.	植食性	20	0.13
	褶蚊科 Ptychopteridae	褶蚊 sp. <i>Ptychopthera</i> sp.	中性	47	0.30
	大蚊科 Tipulidae	裸大蚊 <i>Angarotipula</i> sp.	中性	54	0.35
	毛蚊科 Bibionidae	毛蚊 sp. <i>Bibio</i> sp.	中性	22	0.14
	粪蝇科 Scathophagidae	粪蝇 <i>Scathophaga</i> sp.	中性	494	3.20
	麻蝇科 Sarcophagidae	麻蝇 sp. <i>Sarcophaga</i> sp.	中性	58	0.38
	丽蝇科 Calliphoridae	绿蝇 sp. <i>Lucilia</i> sp.	中性	30	0.19
	蝇科 Muscidae	家蝇 sp. <i>Musca</i> sp.	中性	29	0.19
	蝇科 Muscidae	腐蝇 sp. <i>Muscina</i> sp.	中性	26	0.17
	缟蝇科 Lauxaniidae	同脉缟蝇 <i>Homoneura</i> sp.	中性	39	0.25
	寄蝇科 Tachinidae	狭颊寄蝇 <i>Carcelia</i> sp.	寄生性	117	0.76
	寄蝇科 Tachinidae	长足寄蝇 <i>Dexia</i> sp.	寄生性	8	0.05
	寄蝇科 Tachinidae	鹞寄蝇 <i>Eophyllophila</i> sp.	寄生性	1	0.01
	食蚜蝇科 Syrphidae	长尾管蚜蝇 <i>Eristalis tenax</i>	捕食性	15	0.10
	食蚜蝇科 Syrphidae	细腹食蚜蝇 <i>Sphaerophoria</i> sp.	捕食性	5	0.03
	食蚜蝇科 Syrphidae	爪哇异食蚜蝇 <i>Allograpta javana</i>	捕食性	1	0.01
	长足虻科 Dolichopodidae	丽长足虻 <i>Sciapodinae</i> sp.	捕食性	163	1.06
	食虫虻科 Asilidae	食虫虻 <i>Asilidae</i> sp.	捕食性	21	0.14

续表 1 林下黄精田主要节肢动物群落种类组成

Continued Table 1 Composition of arthropod community in *P. kingianum* field under forest

目 Order	科 Family	种名 Species name	类群 Category	数量(头) Number(insect)	相对多度(%) Relative abundance	
蜘蛛目 Araneida	球蛛科 Theridiidae	齿类球腹蛛 <i>Nesticus odontus</i>	捕食性	43	0.28	
	盲蛛科 Phalangidae	长脚盲蛛 <i>Leiobunum species</i>	捕食性	96	0.62	
	盲蛛科 Phalangidae	盲蛛 <i>Leiobunum sp.</i>	捕食性	4	0.03	
	卷叶蛛科 Dictynidae	卷叶蛛 <i>Archaedictyna consecuta sp.</i>	捕食性	1	0.01	
	狼蛛科 Lycosidae	狼蛛 <i>Lycosa sp.</i>	捕食性	195	1.26	
	跳蛛科 Salticidae	褐条斑跳蛛 <i>Plexippus paykulli</i>	捕食性	74	0.48	
	幽灵蛛科 Pholcidae	隐逸幽灵蛛 <i>Pholcus crypticolens</i>	捕食性	85	0.55	
	巨蟹蛛科 Heteropodidae	巨蟹蛛 <i>Heteropodidae sp.</i>	捕食性	44	0.29	
	园蛛科 Araneidae	园蛛 <i>sp. Araneus sp.</i>	捕食性	37	0.24	
	肖蛸科 Tetragnathidae	肖蛸 <i>sp. Tetragnatha sp.</i>	捕食性	23	0.15	
	皿蛛科 Linyphiidae	皿蛛 <i>sp. Agyneta sp.</i>	捕食性	25	0.16	
	盗蛛科 Pisauridae	盗蛛 <i>sp. Pisaura sp.</i>	捕食性	27	0.18	
	长跳虫目 Entomobryomorpha	鳞跳虫科 Tomoceridae	鳞跳虫 <i>Tomoceridae sp.</i>	中性	2197	14.24
革翅目 Dermaptera	长角跳虫科 Entomobryidae	长角跳虫 <i>Entomobrya griseoolivata</i>	中性	14	0.09	
鞘翅目 Coleoptera	蠼螋科 Labiduridae	蠼螋 <i>Labidura riparia</i>	捕食性	68	0.44	
蜘蛛目 Scutigermorpha	蜘蛛科 Scutigera	蜘蛛 <i>Scutigera coleoptrata</i>	捕食性	30	0.19	
蜚蠊目 Blattaria	姬蠊科 Blattellidae	黄缘拟截尾蠊 <i>Hemithyrsochera lateralis Walker</i>	中性	37	0.24	
	姬蠊科 Blattellidae	玛蠊 <i>Margattea sp.</i>	中性	45	0.29	
	姬蠊科 Blattellidae	双纹小蠊 <i>Blattella bisignata</i>	中性	28	0.18	
半翅目 Hemiptera	硕蠊科 Blaberidae	大光蠊 <i>Rhabdoblatta takahashii Asahina</i>	杂食性	5	0.03	
	白蚁科 Termitidae	黑翅土白蚁 <i>Odontotermes formosanus</i>	中性	38	0.25	
竹节虫目 Phasmida	叶脩科 Phylliidae	云南刺笛脩 <i>Oxyartes yunnanus</i>	植食性	28	0.18	
	叶脩科 Phylliidae	叶脩 <i>Phyllium sp.</i>	植食性	27	0.18	
半翅目 Hemiptera	蚜虫总科 Aphidoidea	桃蚜 <i>Myzus persicae</i>	植食性	156	1.01	
	蚜虫总科 Aphidoidea	长管蚜 <i>Aphidoidea sp.</i>	植食性	60	0.39	
	叶蝉科 Cicadellidae	小青叶蝉 <i>Tettigoniella viridis</i>	植食性	138	0.89	
	叶蝉科 Cicadellidae	色条大叶蝉 <i>Atkinsoniella opponens</i>	植食性	77	0.50	
	叶蝉科 Cicadellidae	大青叶蝉 <i>Cicadella viridis</i>	植食性	8	0.05	
	叶蝉科 Cicadellidae	赤褐木叶蝉 <i>Phlogotettix luridus</i>	植食性	634	4.11	
	叶蝉科 Cicadellidae	黑缘条大叶蝉 <i>Atkinsoniella heiyuanna</i>	植食性	2	0.01	
	叶蝉科 Cicadellidae	广头叶蝉 <i>Macropsis sp.</i>	植食性	13	0.08	
	叶蝉科 Cicadellidae	凹痕可大叶蝉 <i>Cofana yasumatsui</i>	植食性	10	0.06	
	叶蝉科 Cicadellidae	凹大叶蝉 <i>Bothrogonia ferruginea</i>	植食性	20	0.13	
	叶蝉科 Cicadellidae	干大叶蝉 <i>sp. Processina sp.</i>	植食性	6	0.04	
	叶蝉科 Cicadellidae	大叶蝉 <i>sp. Cicadella sp.</i>	植食性	26	0.17	
	叶蝉科 Cicadellidae	多脉叶蝉 <i>sp. Multinervis sp.</i>	植食性	80	0.52	
	叶蝉科 Cicadellidae	小头叶蝉 <i>sp. Placidus sp.</i>	植食性	64	0.41	
	叶蝉科 Cicadellidae	角胸叶蝉 <i>sp. Tituria sp.</i>	植食性	45	0.29	
	叶蝉科 Cicadellidae	铲头叶蝉 <i>sp. Hecalus sp.</i>	植食性	29	0.19	
	叶蝉科 Cicadellidae	小绿叶蝉 <i>sp. Empoasca sp.</i>	植食性	38	0.25	
	叶蝉科 Cicadellidae	斑小叶蝉 <i>sp. Maculosus sp.</i>	植食性	51	0.33	
	叶蝉科 Cicadellidae	草叶蝉 <i>sp. Sorhoanus sp.</i>	植食性	177	1.15	
	叶蝉科 Cicadellidae	网脉叶蝉 <i>sp. Dryodurgades sp.</i>	植食性	98	0.64	
	蜡蝉科 Fulgoridae	拟白翅叶蝉 <i>sp. Pseudothaia sp.</i>	植食性	7	0.05	
	蜡蝉科 Fulgoridae	背额瓢蜡蝉 <i>sp. Lycorma sp.</i>	植食性	34	0.22	
	缘蝽科 Lygaeidae	宽肩达缘蝽 <i>Dalader planiventris</i>	植食性	5	0.03	
	缘蝽科 Lygaeidae	黑竹缘蝽 <i>Notobitus meleagris</i>	植食性	3	0.02	
	蝽科 Pentatomidae	脊缘蝽 <i>Cletus sp.</i>	植食性	1	0.01	
	蝽科 Pentatomidae	麻皮蝽 <i>Erthesina fullo</i>	植食性	4	0.03	
	长蝽科 Lygaeidae	红脊长蝽 <i>Tropidothorax elegans</i>	植食性	17	0.11	
	花蝽科 Anthracoridae	小花蝽 <i>Orius similis</i>	捕食性	23	0.15	
	蝽科 Pentatomidae	斜纹宽盾蝽 <i>Poecilocoris dissimilis</i>	植食性	2	0.01	
	粉虱科 Aleyrodidae	白粉虱 <i>Trialeurodes vaporariorum</i>	植食性	19	0.12	
	螳螂目 Mantodea	螳科 Mantodea	明端眼螳螂 <i>Creobroter apicalis</i>	捕食性	12	0.08
		螳科 Mantodea	棕静螳 <i>Statilia maculata</i>	捕食性	2	0.01
	缨翅目 Thysanoptera	蓟马总科 Thripidae	黄蓟马 <i>Thrips flavus</i>	植食性	913	5.92
蓟马总科 Thripidae		茶黑蓟马 <i>Thrips hawa</i>	植食性	21	0.14	
脉翅目 Neuroptera	草蛉科 Chrysopidae	中华草蛉 <i>Chrysoperla sinica Tjeder</i>	捕食性	7	0.05	
	蚁蛉科 Myrmeleontidae	中华东蚁蛉 <i>Euroleon sinicus</i>	捕食性	1	0.01	

续表 1 林下黄精田主要节肢动物群落种类组成

Continued Table 1 Composition of arthropod community in *P. kingianum* field under forest

目 Order	科 Family	种名 Species name	类群 Category	数量(头) Number(insect)	相对多度(%) Relative abundance
蜈蚣目 Scolopendromorpha	蜈蚣科 Scolopendridae	蜈蚣 <i>Scolopendridae</i> spp.	捕食性	4	0.03
蜱螨目 Acarina	叶螨科 Tetranychidae	红叶螨 <i>Tetranychus pueraricola</i>	植食性	3899	25.28
真螨目 Acariformes	恙螨科 Trombiculidae	恙螨 <i>Leptotrombidium</i> sp.	捕食性	4	0.03
山蛩目 Spirobolida	山蛩科 Spirobolidae	马陆 <i>Millipede</i>	中性	93	0.60
蜻蜓目 Odonata	色蟌科 Calopterygidae	云南绿色蟌 <i>Mnais gregonyi</i> Fraser	捕食性	4	0.03
啮虫目 Corrodentia	啮虫科 Psocidae	曲啮 <i>Sigmatoneura</i> sp.	捕食性	62	0.40
	啮虫科 Ectopsocidae	外啮 <i>Ectopsocus setulosus</i>	捕食性	22	0.14
双尾目 Diplura	蛭蚶科 Iapygidae	伟蛭蚶 <i>Atlatsjapyx atlas</i>	腐食性	1	0.01

表 2 林下黄精田节肢动物群落结构组成

Table 2 Composition of arthropod community in *P. kingianum* field under forest

群落类别 Community category	目 Order		科 Family		属 Genus		种 Species		个体 Individual	
	目数 Order number	占比(%) Proportion	科数 Family number	占比(%) Proportion	属数 Genus number	占比(%) Proportion	种数 Species number	占比(%) Proportion	个体数 Individual number	占比(%) Proportion
昆虫纲 Insecta	15	65.22	79	80.61	138	87.90	172	89.58	8527	55.29
蛛形纲 Arachnida	3	13.04	13	13.27	13	8.28	14	7.29	4557	29.55
弹尾纲 Collembola	1	4.35	2	2.04	2	1.27	2	1.04	2211	14.34
多足纲 Myriapoda	1	4.35	1	1.02	1	0.64	1	0.52	4	0.03
双尾纲 Diplura	1	4.35	1	1.02	1	0.64	1	0.52	1	0.01
唇足纲 Chilopoda	1	4.35	1	1.02	1	0.64	1	0.52	30	0.19
倍足纲 Diplopoda	1	4.35	1	1.02	1	0.64	1	0.52	93	0.60

2.2 林下黄精田节肢动物群落功能团分析

根据节肢动物食性将调查到的节肢动物分为害虫、中性和天敌 3 个亚群落(表 3)。害虫亚群落有 2 纲 9 目 38 科 70 属 76 种 7929 头,个体数占节肢动物群落物种个体总数的 51.41%;害虫优势种为红叶螨,相对多度为 25.28%;常见种有赤褐木叶蝉、黄蓍马、灶马蟋、草叶蝉和近十似条蚤等。天敌亚群落有 4 纲 13 目 39 科 52 属 81 种 3109 头,个体数占节肢动物群落物种个体总数的 20.16%,其中捕食性天敌有 13 目 31 科 39 属 44 种 2077 头,个体数占节肢动物群落物种个体总数的 13.47%,主要种类包括横纹齿猛蚁、狼蛛、长足捷蚁和丽长足虻等;寄生性天敌类群有 2 目 9 科 13 属 37 种 1032 头,个体数占节肢动物群落物种个体总数的 6.69%,主要种类为茧蜂、姬蜂和狭颊寄蝇等。中性节肢动物有 4 纲 7 目 24 科 35 属 35 种 4385 头,个体数占节肢动物群落物种个体总数的 28.43%,主要种类有鳞跳虫、粪蝇、瘿蚊、疟蚊和菌蚊属等。

2.3 林下黄精田节肢动物群落多样性分析结果

由表 4 可知,林下黄精田节肢动物总群落的多样性指数、优势集中性指数、均匀度指数和丰富度指数分别为 3.488、0.095、0.663 和 19.806。不同功能团类群中,天敌亚群落的物种数最多,而害虫亚群落的个体数最多,表现为害虫亚群落>中性节肢动物亚

群落>天敌亚群落。在多样性指数上表现为天敌亚群落>害虫亚群落>中性节肢动物亚群落;优势集中性指数的表现则与多样性指数相反,表现为中性节肢动物亚群落>害虫亚群落>天敌亚群落;均匀度指数表现为天敌亚群落>中性节肢动物亚群落>害虫亚群落;丰富度指数表现为天敌亚群落>害虫亚群落>中性节肢动物亚群落。

2.4 林下黄精田主要害虫与天敌类群的种群动态

2.4.1 澜沧思茅松林下黄精田主要害虫种群数量动态

思茅松林下黄精田的主要害虫有红叶螨、黄蓍马、蠹斯类和叶蝉类,其动态变化如图 1 所示,红叶螨的发生期在 8—12 月,自 8 月发生后大幅度上升,于 9 月达最大值,随后大幅度下降;黄蓍马的发生期在 3—6 月,3 月是始发期,4 月达最高峰,受暴雨天气的影响,6 月下降为零;蠹斯类害虫全年均有发生,未发现大规模暴发现象,趋势平缓,种群动态稳定;叶蝉类害虫发生期在 3—11 月,3 月为始发期,自 3 月开始逐步上升于 7 月达最高峰,随后下降并趋于平缓。

2.4.2 澜沧思茅松林下黄精田主要天敌种群数量动态

思茅松林下黄精田的主要天敌为姬蜂类、茧蜂类和蜘蛛类,其动态变化如图 2 所示,姬蜂类天敌自 3 月开始出现,期间有 2 个峰值,5 月达到第 1 个峰值,7 月达到第 2 个峰值,随后呈梯度下降;茧蜂类天

表 3 林下黄精田节肢动物群落功能团结构组成

Table 3 Composition of functional groups of arthropod community in *P. kingianum* field under forest

群落类别 Community category	纲 Classes	目 Order	科 Family	属 Genus	种 Species	个体 Individual	
						个体数 Individual number	相对多度(%) Relative abundance
节肢动物总群落 Total arthropod community	7	23	98	157	192	15423	100.00
害虫亚群落 Pest sub-community	2	9	38	70	76	7929	51.41
天敌亚群落 Natural enemy sub-community	4	13	39	52	81	3109	20.16
中性节肢动物亚群落 Neutral arthropod sub-community	4	7	24	35	35	4385	28.43

表 4 林下黄精田节肢动物群落的特征指数

Table 4 Characteristics index of arthropod community in *P. kingianum* field under forest

特征指数 Characteristics index	节肢动物总群落 Total arthropod community	害虫亚群落 Pest sub-community	天敌亚群落 Natural enemy sub-community	中性节肢动物亚群落 Neutral arthropod sub-community
多样性指数 Diversity index	3.488	2.285	3.530	2.006
优势集中性指数 Dominant concentration index	0.095	0.265	0.051	0.279
均匀度指数 Evenness index	0.663	0.528	0.803	0.564
丰富度指数 Richness index	19.806	8.353	9.948	4.054

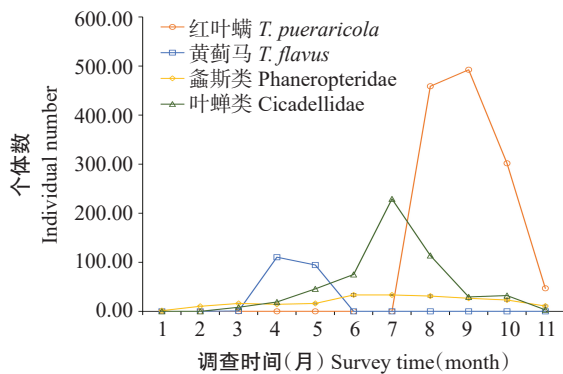


图 1 林下黄精田主要害虫种群数量动态

Fig.1 Population dynamics of main pests in *P. kingianum* field under forest

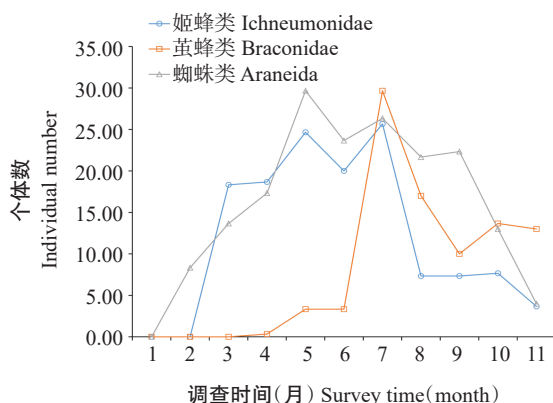


图 2 林下黄精田主要天敌种群数量动态

Fig.2 Populations dynamics of main natural enemies in *P. kingianum* field under forest

敌 4 月开始出现,自 4 月开始逐步上升于 7 月达到最高峰,随后下降,9 月后上升并趋于平缓;蜘蛛类天敌调查期间均有发现,5 月达最大值,种群数量呈先上升后下降再上升后下降的变化趋势。

3 讨论

澜沧县位于滇西南,植被丰富,是思茅松种植区,近年来,中药材林下种植模式被示范推广(刘智等,2022)。林下独特的生境及腐殖质为中草药生长提供了有利条件(李善敏等,2023),并且因“生物多样性及生境耦合”原理,在思茅松林下种植中药材能很好地降低病虫害的发生(李佳洲等,2022;朱书生等,2022)。本研究于 2022 年 1—12 月在澜沧县竹塘乡思茅松林调查发现,林下黄精田节肢动物有 7 纲 23 目 98 科 157 属 192 种 15423 头,其中个体数量上优势类群为蝉螨目类节肢动物。据报道,传统黄精种植经常遭受地老虎、蛴螬、蚜虫、二斑叶螨、斑腿蝗、稻株缘蝽、金针虫和蝼蛄的危害(孙世伟,2007;王桥美等,2017;蒋燕锋等,2021;刘悦等,2021)。本研究发现,林下黄精田害虫种类主要为红叶螨、黄蓟马、螽斯类和叶蝉类,与传统黄精种植主要害虫有一定差异,这可能是由于林下特有的气候特点、丰富的植被类型和森林覆盖度使得林下种植模式中生长的寄主植物与传统种植模式有很大差异。而森林生态系统与农田生态系统中不同的植被类型可能对害虫和天敌具有不同的功能,如林下种植生境中,中草药周边生长着野苘蒿、马蹄草和飞蓬等杂草,这些杂草具有害虫转移和涵养天敌的功能(赵永鑫,2020)。其次,思茅松—中药材复合系统林下特有的生境中,松林可以释放丰富的化感物质,如挥发物、淋溶物、分泌物和腐解物等(Ye et al., 2019, 2021; Li et al., 2023),从而驱避害虫,吸引天敌等(Shahsavan et al., 2022; Frensch et al., 2023; Shepherd et al., 2023)。

节肢动物群落多样性指数是节肢动物群落组织水平的重要体现(曹宁宁等,2019),与当地的地理环境、气候条件、群落发展状况等息息相关(Trotter et al., 2010; Zhang et al., 2013; Morente et al., 2018)。节肢动物群落多样性受森林生态系统的植被类型、林窗结构、生境异质性、空间位置和森林类型等的影响(da Silva et al., 2019; Habel et al., 2021; 王明强等, 2022)。如不同节肢动物的喜阴性与喜阳性不同,植食性昆虫更喜欢森林生态系统的草本或灌木。本研究在思茅松林下黄精采集到的节肢动物总群落的多样性指数、优势集中性指数、均匀度指数和丰富度指数分别为3.488、0.095、0.663和19.806。前期研究表明,2017年思茅松林下三七上采集到的节肢动物总群落的物种数、个体数、多样性指数、优势集中性指数、均匀度指数和丰富度指数分别为40、1642、2.806、0.899、0.761和5.395(曹宁宁等,2019),与之相比,林下黄精的节肢动物多样性和丰富度更高,这可能是因为在林下黄精是在林下三七收获后的轮作田种植的缘故,在首批药材种植期间,节肢动物各种群逐渐被建立起来,为后期轮作田中其他药材的节肢动物群落多样性提供了基础。加之本研究采用的调查方法更多,曹宁宁等(2019)采用的是目测法和网捕法,本研究使用了目测法、陷阱法、黄蓝板诱集、马氏网和夜间踏查5种方法。

孙世伟(2007)对大田种植的黄精进行调查,发现黄精田的节肢动物群落共由62种组成,隶属于2纲11目48科。本研究在思茅松林下黄精田中共鉴定到192种节肢动物,隶属于7纲23目98科。通过对比发现林下黄精田节肢动物物种多样性比大田单一种植模式下节肢动物物种多样性更丰富,表明“思茅松—中药材”这种复合种植系统有利于提高节肢动物群落的多样性,与冉隆珣等(2012)报道的“茶—樟”“芒果—茶”复合种植能提高茶园节肢动物群落多样性相一致,而物种多样性增加,各物种间相生相克,有利于害虫的生态防控。刘悦等(2021)对普洱市3个滇黄精种植基地进行调查,发现大田种植模式下虫害发生最严重,共有害虫7种(蛴螬、小地老虎、蝼蛄、蓟马、蚜虫、蛭蟥和蜗牛),其中重度危害1种,中度危害1种;林下种植模式下害虫有3种(蛴螬、小地老虎和思茅松毛虫),均为轻度危害;说明林下种植模式对黄精上蓟马和蚜虫的发生不利,也表明中药材林下种植有利于减轻害虫发生为害。本研究观察到黄蓟马、茶黑蓟马、桃蚜和长管蚜在黄精上发生,但相对多度较低,危害很轻。但值得注意的是,

红叶螨在林下黄精上的发生较突出,在节肢动物总群落中占比为25.28%,在害虫亚群落中占比为49.17%,因此,应加强对林下黄精上红叶螨的监测和防控。

林下黄精田节肢动物群落在个体数中的功能团表现为害虫亚群落>中性节肢动物亚群落>天敌亚群落,均匀度指数表现为天敌亚群落>中性节肢动物亚群落>害虫亚群落,因此黄精田节肢动物中某一类害虫存在暴发的可能,群落结构稳定性差。张晓明等(2015)、柴正群等(2016)研究表明,相比于其他节肢动物群落,以植食性昆虫为主要影响因子的节肢动物群落更不稳定。本研究发现,思茅松林下黄精的害虫亚群落占比(51.41%)较高,说明林下黄精田节肢动物群落稳定性不高。曹宁宁等(2019)研究发现,思茅松林下三七的害虫类群较天敌和中性亚群落丰富,且害虫类群分布集中性明显,而天敌亚群落的分布较均匀。本研究发现,林下黄精上害虫类群的分布集中性较明显,而天敌亚群落的分布则较均匀,表明林下黄精上害虫亚群落与天敌亚群落的空间分布格局不同,害虫呈集中分布,与曹宁宁等(2019)的研究结论相似。

本研究发现,林下黄精上主要害虫红叶螨自8月发生后大幅度上升,于9月达最大值,随后大幅下降;黄蓟马的发生期在3—6月,4月达到最高峰。主要天敌姬蜂类在5月达到第1个峰值,7月到达第2个峰值;蜘蛛类数量则呈先上升后下降再上升后下降的变化趋势。林下黄精田主要害虫和天敌的这种动态分布可能与当地降水、温度等密切相关,了解其消长动态有利于根据其变化趋势推测害虫的发生规律从而科学防控害虫。

从研究结果来看,澜沧县竹塘乡思茅松林下黄精田节肢动物群落的物种数和个体数均较高,随着思茅松林下黄精的种植是否会改变原有生态系统的节肢动物群落结构及多样性也是值得进一步探索的内容。

4 结论

云南省普洱市澜沧县竹塘乡思茅松林下黄精田节肢动物物种组成丰富,共采集到7纲23目98科157属192种15423头。害虫亚群落的个体数较天敌亚群落和中性节肢动物亚群落高,天敌亚群落的物种数最多;害虫的分布较集中,而天敌的分布较均匀;林下黄精节肢动物群落结构稳定性低。应加强对红叶螨等优势害虫的监测和防控,同时加强对寄生蜂类和蜘蛛类等天敌资源的保护和利用。

参考文献:

- 白燕娇,李义学,刘任涛,常海涛,唐希明. 2022. 干旱绿洲区枸杞林地面节肢动物功能群结构季节分布特征[J]. 生态学报, 42(15): 6239-6249. [Bai Y J, Li Y X, Liu R T, Chang H T, Tang X M. 2022. Seasonal distribution of functional groups of ground-active arthropods in *Lycium barbarum* plantations in arid oasis region[J]. Acta Ecologica Sinica, 42(15): 6239-6249.] doi: 10.5846/stxb202104271110.
- 曹宁宁,葛文超,叶辰,伍晟兴,杜广祖,陈国华,朱书生,陈斌. 2019. 思茅松林下三七上节肢动物群落组成结构及多样性分析[J]. 南方农业学报, 50(2): 299-306. [Cao N N, Ge W C, Ye C, Wu S X, Du G Z, Chen G H, Zhu S S, Chen B. 2019. Composition structure and diversity of arthropod communities on understory planted *Panax notoginseng* in *Pinus kesiya* var. *langbianensis* forest[J]. Journal of Southern Agriculture, 50(2): 299-306.] doi: 10.3969/j.issn.2095-1191.2019.02.12.
- 柴正群,可胜杰,黄吉,黄钰森,贾永超,陶玫,李强,陈国华. 2016. 不同种植环境夏玉米田节肢动物群落特征及稳定性[J]. 生态学杂志, 35(12): 3306-3314. [Chai Z Q, Ke S J, Huang J, Huang Y M, Jia Y C, Tao M, Li Q, Chen G H. 2016. Arthropod community characteristics and stability in summer maize fields with different planting environments[J]. Chinese Journal of Ecology, 35(12): 3306-3314.] doi: 10.13292/j.1000-4890.201612.002.
- 陈昱君,王勇,刘云芝,杨建忠,朱云飞,孙玉琴,杨才碧,张会. 2015. 三七蓟马发生规律调查研究[J]. 文山学院学报, 28(3): 1-3. [Chen Y J, Wang Y, Liu Y Z, Yang J Z, Zhu Y F, Sun Y Q, Yang C B, Zhang H. 2015. An investigation on the occurrence regularity of *Panax notoginseng* thrips[J]. Journal of Wenshan University, 28(3): 1-3.] doi: 10.3969/j.issn.1674-9200.2015.03.001.
- 国家药典委员会. 2020. 中华人民共和国药典(一部)[M]. 北京: 中国医药科技出版社: 319-320. [National Pharmacopoeia Commission. 2020. Pharmacopoeia of the People's Republic of China (Edition I) [M]. Beijing: China Medical Science Press: 319-320.]
- 黄方倩,王超,刘明庆,陈秋会,韩笑,王磊,席运官,张纪兵. 2022. 有机种植对农田节肢动物多样性影响的整合分析[J]. 生物多样性, 30(1): 21243. [Huang F Q, Wang C, Liu M Q, Chen Q H, Han X, Wang L, Xi Y G, Zhang J B. 2022. Effects of organic planting on arthropod diversity in farmland: A meta-analysis[J]. Biodiversity Science, 30(1): 21243.] doi: 10.17520/biods.2021243.
- 蒋燕锋,谢建秋,潘心禾. 2021. 黄精常见病虫害的发生与防治[J]. 农业科技通讯, (11): 279-282. [Jiang Y F, Xie J Q, Pan X H. 2021. Occurrence and control of common diseases and insect pests in *Polygonatum kingianum* [J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology, (11): 279-282.] doi: 10.3969/j.issn.1000-6400.2021.11.088.
- 李佳洲,施本义,杨宽,罗成,朱有勇,郭力维,何霞红. 2022. 2种植物源有机肥对林下有机三七生长及品质的影响[J]. 中国农业大学学报, 27(9): 136-148. [Li J Z, Shi B Y, Yang K, Luo C, Zhu Y Y, Guo L W, He X H. 2022. Effect of two kinds of plant-derived organic fertilizers on the growth and quality of organic *Panax notoginseng* under forest[J]. Journal of China Agricultural University, 27(9): 136-148.] doi: 10.11841/j.issn.1007-4333.2022.09.13.
- 李善敏,曾歆花,黄卫昌,付浩,黄清俊. 2023. 不同林地类型对白及生长及其内生真菌多样性的影响[J]. 河南农业科学, 52(7): 70-80. [Li S M, Zeng X H, Huang W C, Fu H, Huang Q J. 2023. Effects of different forest type on the growth of *Bletilla striata* and diversity of endophytic fungi [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 52(7): 70-80.] doi: 10.15933/j.cnki.1004-3268.2023.07.007.
- 刘悦,贾平,杨利华,唐红燕,张建珠. 2021. 普洱市滇黄精不同种植模式病虫害发生与防治[J]. 林业科技通讯, (12): 76-79. [Liu Y, Jia P, Yang L H, Tang H Y, Zhang J Z. 2021. Occurrence and control of diseases and insect pests in different planting modes of *Polygonatum kingianum* in Pu'er City[J]. Forestry Science and Technology, (12): 76-79.] doi: 10.13456/j.cnki.lykt.2021.03.03.0006.
- 刘智,张虹,罗会婷,王仲伟,汤诗杰. 2022. 不同种植模式下凤丹根际微生物群落结构和多样性分析[J]. 江苏农业学报, 38(2): 502-511. [Liu Z, Zhang H, Luo H T, Wang Z W, Tang S J. 2022. Analysis on community structure and diversity in rhizosphere microorganisms of *Paeonia ostii* under different planting patterns[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 38(2): 502-511.] doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2022.02.026.
- 南红亮. 2022. 林下黄精高产栽培及病虫害防治技术探讨[J]. 种子科技, 40(3): 94-96. [Nan H L. 2022. Study on high-yield cultivation and pest control technology of *Polygonatum kingianum* under forest[J]. Seed Science & Technology, 40(3): 94-96.] doi: 10.19904/j.cnki.cn14-1160/s.2022.03.032.
- 冉隆珣,玉香甩,毛加梅,李良静,汪云刚. 2012. 勐海茶区不同类型茶园节肢动物群落组成及多样性研究[J]. 湖南农业科学, (13): 88-91. [Ran L X, Yu X S, Mao J M, Li L J, Wang Y G. 2012. Composition and diversity of arthropod community in different types of tea plantations in Menghai tea area[J]. Hunan Agricultural Sciences, (13): 88-91.] doi: 10.16498/j.cnki.hnnykx.2012.13.035.
- 孙世伟. 2007. 汉中地区黄精主要害虫发生及防治技术研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学. [Sun S W. 2007. Study on the occurrence and control technique of the major pests on *Polygonatum sibiricum* redoute in Hanzhong area [D]. Yangling: Northwest A&F University.]
- 王朝雯. 2014. 云南文山三七的主要病虫害防治措施[J]. 农业科技与信息, (17): 12-13. [Wang C W. 2014. Main pest control measures of *Panax notoginseng* in Wenshan, Yunnan[J]. Agricultural Science-Technology and Information, (17): 12-13.] doi: 10.15979/j.cnki.cn62-1057/s.2014.17.034.
- 王明强,罗阿蓉,周青松,陈婧婷,谢婷婷,李逸, Douglas Chesters,石晓宇,肖晖,刘桓吉,丁强,周璇,罗一平,路园园,佟一杰,赵政宇,白明,郭鹏飞,陈思翀,中村彰宏,彭艳琼,赵延会,魏淑花,林晓龙,陈华燕,罗世孝,陆宴辉,鲁亮,余建平,周欣,邹怡,路浩,朱朝东. 2022. 昆虫多样性三十年研究进展[J]. 生物多样性, 30(10): 22454. [Wang M Q, Luo A R, Zhou Q S, Chen J T, Xie T T, Li Y, Chesters D, Shi X Y, Xiao H, Liu H J, Ding Q, Zhou X, Luo Y P, Lu Y Y, Tong Y J, Zhao Z Y, Bai M, Guo P F, Chen S C, Nakamura A, Peng Y Q, Zhao Y H, Wei S H, Lin X L, Chen H Y, Luo S X, Lu Y H, Lu L, Yu J P, Zhou X, Zou Y, Lu H, Zhu C D. 2022. Research progress on insect diversity[J]. Biodiversity Science, 30(10): 22454.]

- doi:10.17520/biods.2022454.
- 王桥美, 杨瑞娟, 严亮, 庄立. 2017. 滇黄精主要病虫害防治措施的研究综述[J]. 农村实用技术, (12):27-30. [Wang Q M, Yang R J, Yan L, Zhuang L. 2017. Research review on control measures of main diseases and insect pests in *Polygonatum kingianum* [J]. Rural Practical Technology, (12):27-30.] doi:10.3969/j.issn.1673-310X.2017.12.012.
- 严毅, 何银忠, 王亚婷, 尹建华, 黄鹤平. 2016. 云南海口林场中药林下种植模式初探[J]. 中国现代中药, 18(2):173-177. [Yan Y, He Y Z, Wang Y T, Yin J H, Huang H P. 2016. Preliminary study of cultivation on understory intercropping medicinal plants of Haikou forest farm in Yunnan [J]. Modern Chinese Medicine, 18(2):173-177.] doi:10.13313/j.issn.1673-4890.2016.2.011.
- 叶家东. 2020. 皖南山区黄精栽培中主要虫害的防控[J]. 基层农技推广, 8(11):83-84. [Ye J D. 2020. Prevention and control of main insect pests in *Polygonatum kingianum* cultivation in southern mountainous area of Anhui [J]. Primary Agricultural Technology Extension, 8(11):83-84.]
- 张晓明, 李强, 陈国华, 石安宪, 宋家雄. 2015. 花椒园昆虫群落结构及时间动态的聚类分析[J]. 应用昆虫学报, 52(1):237-248. [Zhang X M, Li Q, Chen G H, Shi A X, Song J X. 2015. Fuzzy clustering analysis of insect community structure in a *Zanthoxylum bungeanum* garden [J]. Journal of Applied Entomology, 52(1):237-248.] doi:10.7679/j.issn.2095-1353.2015.025.
- 张雪艳, 张悦, 陈昊楠, 宋灿灿, 邓晓悦, 吴飞, 董毅, 李庆, 蒋春先. 2021. 四川玉米不同栽培模式田间节肢动物群落[J]. 四川农业大学学报, 39(6):755-765. [Zhang X Y, Zhang Y, Chen H N, Song C C, Deng X Y, Wu F, Dong Y, Li Q, Jiang C X. 2021. Arthropods community of maize under different cultivation patterns in Sichuan Province [J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 39(6):755-765.] doi:10.16036/j.issn.1000-2650.2021.06.007.
- 张征, 姚卫平. 2021. 池州市九华黄精主要病虫害类型及绿色防控技术[J]. 安徽农学通报, 27(16):120-121. [Zhang Z, Yao W P. 2021. Main disease and insect pest types and green prevention and control technology of *Polygonatum kingianum* in Chizhou City [J]. Anhui Agriculture Science Bulletin, 27(16):120-121.] doi:10.16377/j.cnki.issn1007-7731.2021.16.045.
- 赵君, 谢馥丽, 王文渊, 郑粘. 2022. 黄精林下种植研究进展[J]. 农业与技术, 42(23):64-68. [Zhao J, Xie F L, Wang W Y, Zheng X. 2022. Progress of *Polygonatum kingianum* under forest plantation [J]. Agriculture and Technology, 42(23):64-68.] doi:10.19754/j.nyyjs.20221215015.
- 赵永鑫. 2020. 思茅松—三七复合系统节肢动物群落及害虫诱集植物与虫生真菌多样性研究[D]. 昆明: 云南农业大学. [Zhao Y X. 2020. Community diversity of arthropod and entomopathogenic fungi in the compound system of *Pinus kesiya* forest and *Panax notoginseng* [D]. Kunming: Yunnan Agricultural University.]
- 朱书生, 黄惠川, 刘屹湘, 李成云, 何霞红, 朱有勇. 2022. 农业生物多样性防控作物病害的研究进展[J]. 植物保护学报, 49(1):42-57. [Zhu S S, Huang H C, Liu Y X, Li C Y, He X H, Zhu Y Y. 2022. Research advances in agrobiodiversity for crop disease management [J]. Journal of Plant Protection, 49(1):42-57.] doi:10.13802/j.cnki.zwbhxb.2022.2022823.
- da Silva P G, Nunes C A, Ferreira L F, Braga R F, Beiroz W, Perillo L N, Solar R R C, de Siqueira Neves F. 2019. Patch and landscape effects on forest-dependent dung beetles are masked by matrix-tolerant dung beetles in a mountaintop rainforest archipelago [J]. Science of the Total Environment, 651:1321-1331. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.09.195.
- Frensch G, Zaleski S R M, Schorr R R, Dantas G L, Krasniak M, Lazzari S M, Maia B H, Marques F A. 2023. Attraction of *Pissodes castaneus* (Coleoptera, Curculionidae) to *Pinus taeda*: Laboratory and field evaluation [J]. Chemocology, 33:1-10. doi:10.1007/s00049-023-00383-1.
- Habel J C, Koc E, Gerstmeier R, Gruppe A, Seibold S, Ulrich W. 2021. Insect diversity across an afro-tropical forest biodiversity hotspot [J]. Journal of Insect Conservation, 25:221-228. doi:10.1007/s10841-021-00293-z.
- Li T Y, Ye C, Zhang Y J, Zhang J X, Yang M, He X H, Mei X Y, Liu Y X, Zhu Y Y, Huang H C, Zhu S S. 2023. 2, 3-Butanediol from the leachates of pine needles induces the resistance of *Panax notoginseng* to the leaf pathogen *Alternaria panax* [J]. Plant Diversity, 45(1):104-116. doi:10.1016/j.pld.2022.02.003.
- Morente M, Campos M, Ruano F. 2018. Evaluation of two different methods to measure the effects of the management regime on the olive-canopy arthropod community [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 259:111-118. doi:10.1016/j.agee.2018.03.003.
- Shahsavan S, Askarianzadeh A, Hashemi S A. 2022. The effect of pine trees surrounding wheat fields on the infestation of wheat sunn pest, *Eurygaster integriceps* in Shahr-e-Rey/Teheran region [J]. International Journal of Pest Management. doi:10.1080/09670874.2022.2110621.
- Shepherd W P, Johnson C W, Sullivan B T. 2023. Olfactory Stimulants for *Sirex nigricornis* (Hymenoptera: Siricidae) and its Parasitoid, *Ibalia leucospoides* (Hymenoptera: Ibalidae), in Odors of Stressed and Bark Beetle-Colonized Pines [J]. Journal of Entomological Science, 58(1):1-15. doi:10.18474/JES22-03.
- Trotter R T, Cobb N S, Whitham T G. 2010. Arthropod community diversity and trophic structure: A comparison between extremes of plant stress [J]. Ecological Entomology, 33(1):1-11. doi:10.1111/j.1365-2311.2007.00941.x.
- Ye C, Fang H Y, Liu H J, Yang M, Zhu S S. 2019. Current status of soil sickness research on *Panax notoginseng* in Yunnan, China [J]. Allelopathy Journal, 47(1):1-14. doi:10.26651/allelo.j/2019-47-1-1216.
- Ye C, Liu Y X, Zhang J X, Li T R, Zhang Y J, Guo C W, Yang M, He X H, Zhu Y Y, Huang H C, Zhu S S. 2021. α -Terpineol fumigation alleviates negative plant-soil feedbacks of *Panax notoginseng* via suppressing Ascomycota and enriching antagonistic bacteria [J]. Phytopathology Research, 3(1):13. doi:10.1186/s42483-021-00090-1.
- Zhang J, Zheng X, Jian H, Qin X W, Yuan F H, Zhang R J. 2013. Arthropod biodiversity and community structures of organic rice ecosystems in Guangdong Province, China [J]. Florida Entomologist, 96(1):1-9. doi:10.1653/024.096.0101.