

# 光伏板下滇黄精节肢动物多样性及主要害虫的种群动态

孙淦琳<sup>1</sup>, 蔡浩升<sup>1</sup>, 肖关丽<sup>2</sup>, 何凤春<sup>3</sup>, 何艳艳<sup>1,4</sup>, 杨虎权<sup>1</sup>, 于志钢<sup>1</sup>, 陈斌<sup>1</sup>

(1. 云南农业大学 植物保护学院, 云南 昆明 650201; 2. 云南农业大学 农学与生物技术学院, 云南 昆明 650201;  
3. 云县信合农业发展有限公司, 云南 云县 675800; 4. 云南大学 资源植物研究院, 云南 昆明 650500)

**摘要:** 明确光伏板下种植的滇黄精上节肢动物群落组成结构及多样性, 为光伏板下滇黄精害虫的综合治理及光伏农业发展提供技术支撑。2023年, 采用目测调查和蓝板诱集调查相结合的方法, 对光伏板下和露天种植的滇黄精上节肢动物种类和数量进行调查, 采用群落多样性指数对节肢动物群落多样性进行评估, 并对主要害虫的种群动态进行分析。结果表明, 光伏板下种植的滇黄精上节肢动物有2纲10目25科27属27种, 露天种植滇黄精上有2纲10目28科30属30种。整个调查期间, 随着时间的推移, 2种植模式滇黄精节肢动物群落的多样性指数和均匀度指数整体上表现为光伏板下种植高于露天种植, 且均呈“降低-升高”变化, 优势度指数呈“上升-降低”变化。光伏板下种植的滇黄精上节肢动物群落丰富度指数呈“升高-降低-升高”的动态变化, 而露天种植处理丰富度指数呈“升高-降低-保持”的变化。2种植模式下滇黄精节肢动物群落相似度较高, 达0.84, 优势种均为神泽氏叶螨(*Tetranychus kanzawai*), 其种群数量呈单峰型变化, 但光伏板下的神泽氏叶螨种群数量显著低于露天种植, 光伏板下5月达数量高峰(6.77头/株), 而露天种植于7月达数量高峰(14.75头/株)。综上, 光伏板下种植的滇黄精上节肢动物群落多样性高于露天种植, 且有利于控制优势害虫神泽氏叶螨的种群数量。

**关键词:** 滇黄精; 节肢动物; 光伏板; 群落结构; 害虫; 神泽氏叶螨

中图分类号: S435.672; S476 文献标志码: A 文章编号: 1004-3268(2024)11-0093-08

## Diversity of Arthropods and Population Dynamics of Dominant Pests on *Polygonatum kiugiauum* under Photovoltaic Panels

SUN Ganlin<sup>1</sup>, CAI Haosheng<sup>1</sup>, XIAO Guanli<sup>2</sup>, HE Fengchun<sup>3</sup>, HE Yanyan<sup>1,4</sup>,  
YANG Huquan<sup>1</sup>, YU Zhigang<sup>1</sup>, CHEN Bin<sup>1</sup>

(1. College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 2. College of Agronomy and Biotechnology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 3. Yunxian Xinhe Agricultural Development Company, Yunxian 675800, China; 4. Institute of Resource Plants, Yunnan University, Kunming 650500, China)

**Abstract:** To clarify the structure and diversity of the arthropod community on *Polygonatum kiugiauum* planted under photovoltaic panels, and provide technical support for the integrated pest management on *P. kiugiauum* under photovoltaic panels and the development of photovoltaic agriculture, a systematic investigation on the species was conducted using the visual survey and blue sticky card trapping in *P. kiugiauum* planting areas under photovoltaic panels and open-field planting in 2023, the community diversity of arthropods was evaluated using the community diversity index and population dynamics of

收稿日期: 2024-03-26

基金项目: 云南省科技厅科技计划项目(202204AC100001-A10)

作者简介: 孙淦琳(2000-), 男, 云南罗平人, 在读硕士研究生, 研究方向: 农业昆虫与害虫防治。E-mail: gliny07@163.com

通信作者: 肖关丽(1972-), 女, 云南昭通人, 教授, 博士, 主要从事植物生理学与作物逆境生理研究。E-mail: glxiao9@163.com

陈斌(1970-), 男, 甘肃礼县人, 教授, 博士, 主要从事农业昆虫与害虫生物防治研究。E-mail: chbins@163.com

major pests was analyzed. The results showed that there were 27 species of arthropods belonged to 27 genera, 25 families, 10 orders and 2 classes on *P. kiugiauum* under the photovoltaic panels. Additionally, there were 30 species of arthropods in 30 genera, 28 families, 10 orders and 2 classes under open-field planting of *P. kiugiauum*. During the whole investigation period, the diversity index and evenness index of arthropod community on *P. kiugiauum* planted under photovoltaic panels were higher than those planted in the open-field and followed a dynamics of decrease-increase, and the dominance index followed an increase-decrease dynamics. The richness index of arthropod community on *P. kiugiauum* under photovoltaic planting followed a dynamics of increase-decrease-increase, while open-field planting followed a dynamics of increase-decrease-constancy. The similarity of arthropod communities on *P. kiugiauum* was high with a value of 0.84 under the two planting modes. The dominant species of arthropods was *Tetranychus kanzawai*, whose population showed a single-peak pattern. However, the population under the photovoltaic panels was significantly lower than that in open-field planting, with a peak of 6.77 in May under the photovoltaic panels, and a peak of 14.75 in July under open-field planting, respectively. In conclusion, the diversity of arthropod communities on *P. kiugiauum* planted under photovoltaic panels was higher than that under open-field planting, and it was favourable for the control of the dominant pest *T. kanzawai*.

**Key words:** *Polygonatum kiugiauum*; Arthropods; Photovoltaic panel; Community structure; Pest; *Tetranychus kanzawai*

滇黄精 (*Polygonatum kiugiauum*) 为百合科 (Liliaceae) 多年生草本植物, 是我国重要的中药材, 具有较高的经济价值和社会效益<sup>[1]</sup>。害虫的发生和流行是直接影响人工栽培黄精产量和品质的关键因子之一, 明确黄精上节肢动物 (包括害虫、天敌和中性昆虫) 群落组成结构是害虫生态治理的前提<sup>[2-3]</sup>。目前, 有关黄精害虫种类研究的报道尚不多见, 孙世伟<sup>[4]</sup>研究发现, 陕西汉中黄精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, 其中山楂叶螨、二斑叶螨为首次发现。王桥美等<sup>[2]</sup>报道, 黄精上主要的害虫有蛴螬、地老虎、二斑叶螨、斑腿蝗、蛭螭和稻株缘蝽, 并阐述其危害流行情况和主要防治措施。叶家东<sup>[5]</sup>报道, 皖南山区黄精常见害虫有蚜虫、二斑叶螨、山楂叶螨、小地老虎和蛴螬。刘悦等<sup>[6]</sup>调查发现, 普洱黄精害虫有思茅松毛虫、茶毛虫、蝼蛄、蛴螬、小地老虎、蓟马类、蚜虫类、蛭螭和蜗牛。何艳艳等<sup>[7]</sup>报道, 普洱思茅松林下种植的黄精害虫种类主要为红叶螨、黄蓟马、螽斯类和叶蝉类。可见, 不同地区黄精害虫种类随调查区域的不同存在差异。

发展光伏发电和农作物生产耦合系统有利于实现坡地空间的立体利用<sup>[8-9]</sup>。近年来, 已有在光伏板下种植甘薯<sup>[10]</sup>、葡萄<sup>[11]</sup>、大豆<sup>[12]</sup>等作物以及甘草、板蓝根、半夏、黄连、天麻、川贝母<sup>[13-14]</sup>等中草药的研究, 光伏板具有一定遮阴性, 对喜光喜温作物甘薯和葡萄的生长和生育周期造成不利影响<sup>[10-11]</sup>, 但可

为喜阴性中草药的栽培营造有利条件<sup>[14]</sup>。黄精具有一定的耐阴性, 已在大田遮阴设施、林下实现规模人工驯化栽培<sup>[15]</sup>, 光伏板下种植黄精是近年来光伏产业发展中资源合理利用的模式之一, 已引起了人们的重视<sup>[16]</sup>, 然而, 光伏板下种植的黄精上节肢动物群落组成结构与多样性研究尚未见报道。鉴于此, 以云南云县爱华镇永胜村滇黄精光伏板下和露天种植区为调查点, 采用定点调查和蓝板诱集的方法, 研究光伏板下种植滇黄精上节肢动物的群落特征及其主要害虫的种群动态, 为光伏板下种植滇黄精的害虫管理和防控提供理论依据和技术保障。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于云南省临沧市云县爱华镇永胜村光伏-中药材基地 (海拔 1 380.1 m, 100° 11' 18"E、24° 32' 03"N), 滇黄精种植密度为 16 株/m<sup>2</sup>。

### 1.2 调查方法

2023 年 1—12 月, 采用目测法和蓝板 (25 cm×20 cm) 诱集法对光伏板下种植区与露天种植区进行调查, 每月 30 日定时开展调查 1 次。在 2 种模式黄精种植区, 各选取 3 个调查样点, 每个点调查 20 株, 调查时记录在黄精上的节肢动物种类及其数量<sup>[7]</sup>。

在黄精种植区放置 5 块蓝板, 蓝板相互间隔 10 m, 蓝板悬挂距离地面 30 cm, 诱捕 24 h 后, 将蓝

板带回实验室统计诱集的节肢动物种类及其数量<sup>[17]</sup>。

### 1.3 数据分析

调查数据采用 Excel 2019 进行整理, 采用 SPSS 25.0 数据处理软件对光伏板下和露天种植的滇黄精上节肢动物群落结构及多样性进行分析。

群落多样性分析以 Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数、Margalef 丰富度指数和 Simpson 优势集中性指数描述<sup>[7, 17-20]</sup>。其中, Shannon-Wiener 多样性指数:  $H' = -\sum P_i \ln P_i$ ; Pielou 均匀度指数:  $J' = H' / \ln S$ ; Margalef 丰富度指数:  $D = (S - 1) / \ln S$ ; Simpson 优势度指数:  $C = \sum (P_i)^2$ 。式中,  $P_i$  为群落丰富度 ( $P_i = N_i / N$ ),  $N_i$  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。

节肢动物数量相对多度根据个体数计算, 相对多度 ( $RA$ ) = 某一物种个体数 / 全部物种个体数  $\times 100\%$ ,  $RA < 1.0\%$  为稀有科/种,  $1.0\% \leq RA < 10.0\%$  为常见科/种,  $RA \geq 10.0\%$  为优势科/种; 而群落相似性等级划分以 Jaccard 相似度指数 [ $q = c / (a + b - c)$ ] 判定,

$0 < q < 0.25$  表示两群落极不相似,  $0.25 \leq q < 0.50$  表示两群落中等不相似,  $0.50 \leq q < 0.75$  表示两群落中等相似,  $0.75 \leq q < 1.00$  表示两群落极相似, 式中,  $a$  和  $b$  分别为两群落的物种数,  $c$  为共有的物种数<sup>[20]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 光伏板下滇黄精节肢动物群落组成

由表 1 可见, 光伏板下种植的滇黄精上共发现节肢动物 2 纲 10 目 25 科 27 种 1 090 头。其中, 昆虫纲 8 目 19 科 21 种 135 头; 蛛形纲有 2 目 6 科 6 种 955 头, 分别为蜘蛛目 5 科 5 种 56 头, 蜱螨目 1 科 1 种 899 头。而露天种植的滇黄精上节肢动物有 2 纲 10 目 28 科 30 种 2 641 头, 其中, 昆虫纲 8 目 22 科 24 种 202 头; 蛛形纲 2 目 6 科 6 种 2 439 头, 分别为蜘蛛目 5 科 5 种 61 头, 蜱螨目 1 科 1 种 2 378 头。从节肢动物的个体数量来看, 光伏板下和露天种植的滇黄精上节肢动物的优势类群均为蜱螨目, 分别占 82.48% 和 90.04%。

表 1 2 种植模式滇黄精上节肢动物的群落组成

Tab. 1 Composition of arthropod community on *P. kingianum* in two cropping patterns

种植模式 Cropping pattern	纲 Class	目 Order	科数 Family number	占比/% Proportion	物种数 Species number	占比/% Proportion	个体数 Individual number	占比/% Proportion	
光伏板下种植 Planting under photovoltaics	昆虫纲 Insecta	直翅目 Orthoptera	4	16.00	4	14.81	18	1.65	
		半翅目 Hemiptera	4	16.00	4	14.81	19	1.74	
		缨翅目 Thysanoptera	1	4.00	1	3.70	27	2.48	
		鞘翅目 Coleoptera	2	8.00	4	14.81	15	1.38	
		革翅目 Dermaptera	1	4.00	1	3.70	7	0.64	
		膜翅目 Hymenoptera	2	8.00	2	7.41	4	0.37	
		双翅目 Diptera	4	16.00	4	14.81	44	4.04	
		螳螂目 Mantodea	1	4.00	1	3.70	1	0.09	
		蛛形纲 Arachnida	蜱螨目 Acarina	1	4.00	1	3.70	899	82.48
		蜘蛛目 Araneida	5	20.00	5	18.52	56	5.14	
	合计 Total	25	100	27	100	1 090	100		
露天种植 Open-field planting	昆虫纲 Insecta	直翅目 Orthoptera	5	17.86	5	16.67	38	1.44	
		半翅目 Hemiptera	6	21.43	6	20.00	37	1.40	
		缨翅目 Thysanoptera	1	3.57	1	3.33	58	2.20	
		鞘翅目 Coleoptera	2	7.14	4	13.33	13	0.49	
		革翅目 Dermaptera	1	3.57	1	3.33	7	0.27	
		膜翅目 Hymenoptera	2	7.14	2	6.67	3	0.11	
		双翅目 Diptera	4	14.29	4	13.33	40	1.51	
		螳螂目 Mantodea	1	3.57	1	3.33	6	0.23	
		蛛形纲 Arachnida	蜱螨目 Acarina	1	3.57	1	3.33	2 378	90.04
		蜘蛛目 Araneida	5	17.86	5	16.67	61	2.31	
	合计 Total	28	100	30	100	2 641	100		

## 2.2 光伏板下滇黄精上节肢动物亚群落分析

根据节肢动物的食性,将滇黄精上节肢动物群落分为害虫、天敌和中性昆虫 3 个亚群落(表 2)。其中,光伏板下滇黄精上害虫亚群落有 5 目 11 科 11 属 11 种,天敌亚群落有 6 目 10 科 12 属 12 种,中性昆虫亚群落有 2 目 4 科 4 属 4 种;节肢动物优势种为神泽氏叶螨,相对多度达 82.48%;常见种及其相对多

度为黄蓟马(2.48%)、卷叶蛛(1.74%)、长尾管蚜蝇(1.56%)、摇蚊(1.47%)和狼蛛(1.19%)。露天常规种植的滇黄精上害虫亚群落有 5 目 14 科 14 属 14 种,天敌亚群落有 6 目 10 科 12 属 12 种,中性昆虫亚群落有 2 目 4 科 4 属 4 种。害虫亚群落的优势种类为神泽氏叶螨,相对多度达 90.04%,常见种类仅有黄蓟马(2.20%)。

表 2 2 种种植模式滇黄精上节肢动物的亚群落组成及其相对多度

Tab. 2 Sub-community and relative abundance of arthropods on *P. kingianum* in two cropping patterns %

类群 Category	目 Order	科 Family	种名 Species name	光伏板下种植 Planting under photovoltaics	露天种植 Open-field planting	
害虫 Pests	直翅目 Orthoptera	蚱总科 Tetrigoidea	优角蚱 <i>Eucrietotettix</i> sp.	0.55	0.27	
		斑腿蝗科 Catantopidae	大斑外斑腿蝗 <i>Xenocatantops humilis</i>	0.46	0.45	
		锥头蝗科 Pyrgomorphidae	短额负蝗 <i>Atractomorpha sinensis</i>	0.09	0.23	
		蟋蟀科 Gryllidae	黄脸油葫芦 <i>Teleogryllus emma</i>	0.55	0.42	
		蛉蟋科 Trygoniidae	虎甲蛉蟋 <i>Trigonidium cicindeloides</i>	—	0.08	
		半翅目 Hemiptera	盲蝽科 Mirus	绿盲蝽 <i>Lygus lucorum</i>	—	0.15
			缘蝽科 Coreidae	宽棘缘蝽 <i>Cletus schmidtii</i>	0.46	0.64
			蚜虫总科 Aphidoidea	桃蚜 <i>Myzus persicae</i>	0.83	0.38
			粉虱科 Aleyrodidae	白粉虱 <i>Trialeurodes vaporariorum</i>	0.28	0.08
			飞虱科 Delphacidae	灰飞虱 <i>Laodelphax striatellus</i>	—	0.04
	叶蝉科 Cicadellidae		小绿叶蝉 <i>Empoasca flavescens</i>	0.18	0.11	
	缨翅目 Thysanoptera		蓟马总科 Thripidae	黄蓟马 <i>Thrips flavus</i>	2.48	2.20
	鞘翅目 Coleoptera		丽金龟科 Rutelidae	铜绿丽金龟 <i>Anomala corpulenta</i>	—	0.04
				条斑异丽金龟 <i>Anomala parallela</i>	0.09	—
		蜱螨目 Acarina	叶螨科 Tetranychidae	神泽氏叶螨 <i>Tetranychus kanzawai</i>	82.48	90.04
			合计 Total	88.44	95.12	
	天敌 Natural enemies	革翅目 Dermaptera	蠼螋科 Labiduridae	蠼螋 <i>Labidura japonica</i>	0.64	0.27
		双翅目 Diptera	食蚜蝇科 Syrphidae	长尾管蚜蝇 <i>Eristalis tenax</i>	1.56	0.34
		膜翅目 Hymenoptera	姬蜂科 Ichneumonidae	姬蜂 <i>Ichneumonidae</i> sp.	0.18	0.04
蜘蛛目 Araneida		卷叶蛛科 Dictynidae	黑斑卷叶蛛 <i>Dictyna</i> sp.	1.74	0.38	
		狼蛛科 Lycosidae	狼蛛 <i>Lycosa</i> sp.	1.19	0.80	
		巨蟹蛛科 Heteropodidae	巨蟹蛛 <i>Heteropodidae</i> sp.	0.83	0.45	
		园蛛科 Araneidae	园蛛 <i>Araneus</i> sp.	0.46	0.04	
		猫蛛科 Oxyopidae	斜纹猫蛛 <i>Oxyopes sertatus</i>	0.92	0.64	
螳螂目 Mantodea		螳科 Mantoidea	棕静螳螂 <i>Statilia maculata</i>	0.09	0.23	
鞘翅目 Coleoptera		瓢甲科 Coccinellidae	龟纹瓢虫 <i>Propylaea japonica</i>	0.46	0.27	
			小毛瓢虫 <i>Scymnus</i> sp.	0.18	0.08	
			六斑月瓢虫 <i>Menochilus sexmaculata</i>	0.64	0.11	
			合计 Total	8.90	3.63	
中性昆虫 Neutral insects	膜翅目 Hymenoptera	蜜蜂科 Apidae	黑小蜜蜂 <i>Apis andreniformis</i>	0.18	0.08	
	双翅目 Diptera	摇蚊科 Chironomidae	摇蚊 <i>Chironomus</i> sp.	1.47	0.08	
		毛蚊科 Protopleciidae	瘦蚊 <i>Diarthronomyia chrysanthemii</i>	0.83	0.42	
		麻蝇科 Sarcophagidae	麻蝇 <i>Sarcophaga</i> sp.	0.18	0.68	
		合计 Total	2.66	1.25		

注:“—”表示未发现该虫,不计算相对多度。

Note:“—” in the table indicates that the insect was not found and the relative abundance was not calculated.

此外,光伏板下种植的滇黄精上害虫亚群落节肢动物个体数相对多度(88.44%)低于露天滇黄精(95.12%),而天敌亚群落和中性亚群落则相反,表明光伏板下滇黄精种植模式有利于提高群落中天敌类群,减少害虫类群。

### 2.3 光伏板下滇黄精上节肢动物群落多样性及相似性分析

随着时间的增加,光伏板下和露天2种植模式滇黄精上节肢动物群落的多样性指数和均匀度指数均呈“降低-升高”的变化趋势,而优势度指数则相反,随着时间的变化呈现“升高-降低”的变化趋势。光伏板下和露天种植的滇黄精上节肢动物群落多样性指数除在5月较为相近外,其他时间均表现为光伏板下种植高于露天种植,其中光伏板下种植黄精上节肢动物群落多样性指数在6月最小(0.46),而露天种植在7月最小(0.26),8月2种植模式节肢动物群落的多样性指数均最高,分别为

2.12和2.02(图1A)。均匀度指数除在5月和8月露天种植滇黄精上略高于光伏板下种植外,其余月份均表现为光伏板下种植均高于露天种植。与多样性指数一致,光伏板下种植的滇黄精上节肢动物群落均匀度指数在6月最小,而露天种植在7月最小,分别为0.27和0.13,8月2种植模式均匀度指数均最高,分别为0.95和0.97(图1B)。优势度指数仅在5月光伏板下种植略高于露天种植,其他月份均表现为露天种植高于光伏板下种植,光伏板下种植在6月达峰值,为0.81,而露天种植在7月达峰值,为0.91,之后迅速降低(图1C)。光伏板下种植的滇黄精上节肢动物群落丰富度变化趋势呈“升高-降低-升高”的变化趋势,而露天种植处理丰富度指数呈“升高-降低-持平”,除8月外,露天种植滇黄精上节肢动物群落丰富度指数均高于光伏板下种植,并在5月达到峰值,为4.68(图1D)。

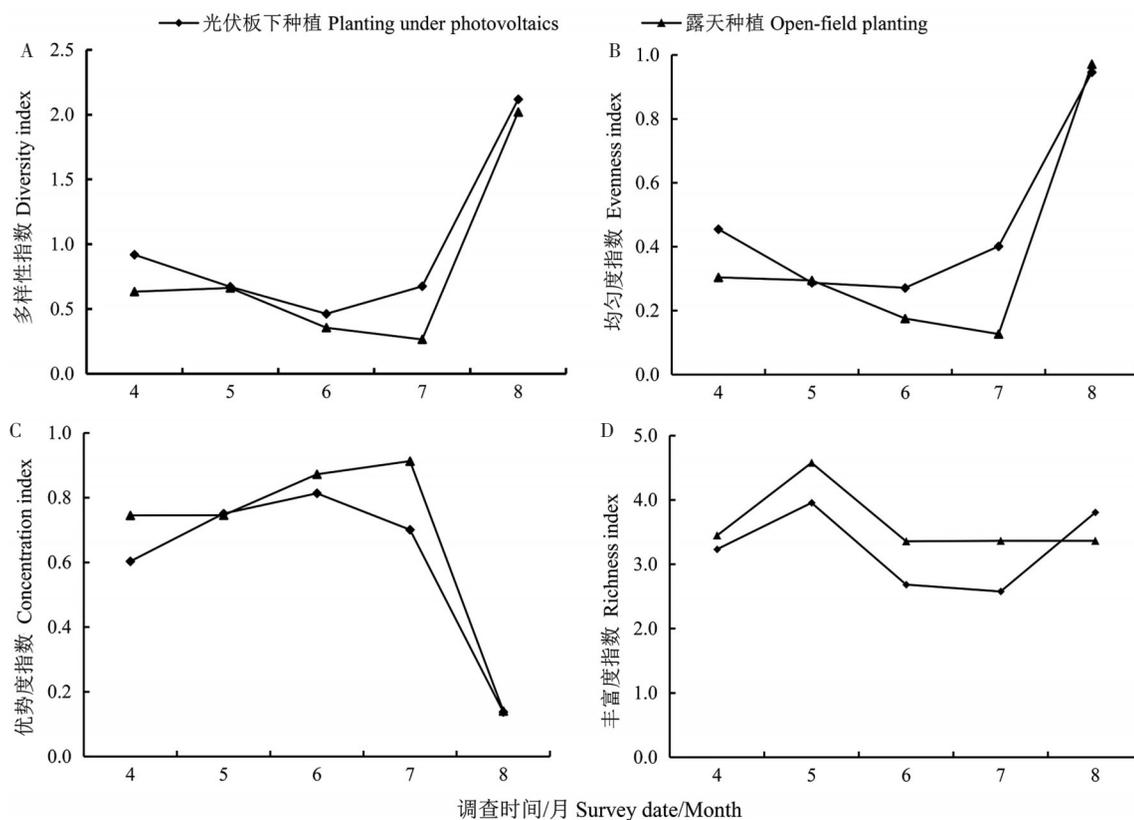


图1 2种植模式滇黄精节肢动物群落的特征指数

Fig. 1 Characteristics index of arthropod community on *P. kingianum* in two cropping patterns

从节肢动物群落的相似度来看,光伏板下种植和露天种植滇黄精上节肢动物群落相似度较高,达0.84,其中2个系统中天敌和中性节肢动物类群的相似度较高,达1.00,而害虫亚群落的相似度较低,为0.67。

### 2.4 光伏板下滇黄精节肢动物益害比

光伏板下滇黄精节肢动物天敌亚群落与害虫亚群落益害比(个体数)比例动态结果(图2)表明,从4月到7月,光伏板下滇黄精节肢动物益害比呈“下降-上升”的变化,5月益害比为最低,仅为

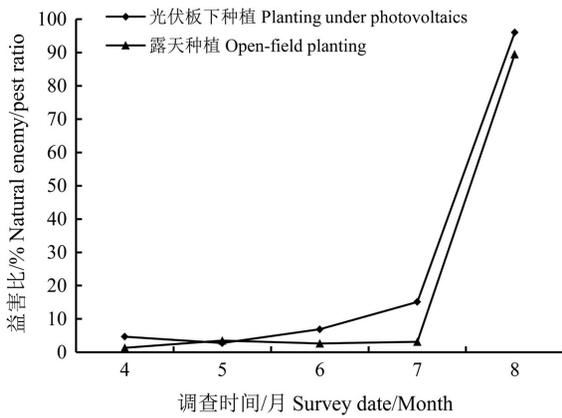


图 2 2 种植模式滇黄精上个体数量益害比时间动态  
Fig. 2 Time dynamics of individual number natural enemy/pest ratios on *P. kingianum* in two cropping patterns

2.77%。之后, 迅速上升, 7 月益害比急剧上升, 8 月益害比达整个调查期内最高值, 为 96.00%。而露天

种植的滇黄精上节肢动物益害比数量动态呈“上升-下降-上升”的变化趋势, 露天种植的滇黄精上节肢动物益害比也于 8 月达整个调查期内最高值, 为 89.47%。

### 2.5 光伏板下滇黄精上优势害虫的种群数量动态

光伏板下与露天种植滇黄精上优势种害虫均为神泽氏叶螨, 种群数量较大且发生持续时间长, 常在黄精叶片背面刺吸危害, 受害叶片正面出现许多细小的失绿白点(图 3)。光伏板下滇黄精上神泽氏叶螨种群数量显著低于露天种植 ( $F=3.553, P=0.024$ ), 2 种植模式下滇黄精上神泽氏叶螨种群数量均呈单峰型变化(图 4), 但光伏板下滇黄精上叶螨种群数量于 5 月达数量高峰 ( $6.77 \pm 2.25$  头/株), 而露天种植的滇黄精上于 7 月达数量高峰 ( $14.75 \pm 2.37$  头/株)。



A: 危害状(叶正面); B, C: 危害状(叶背面); D: 卵; E: 若螨; F: 成螨。  
A: Infestation(leaf front); B, C: Infestation(leaf back); D: Eggs; E: Larva mite; F: Adult mite.

图 3 神泽氏叶螨危害状及形态

Fig. 3 Damage symptoms and morphology of *T. kanzawai*

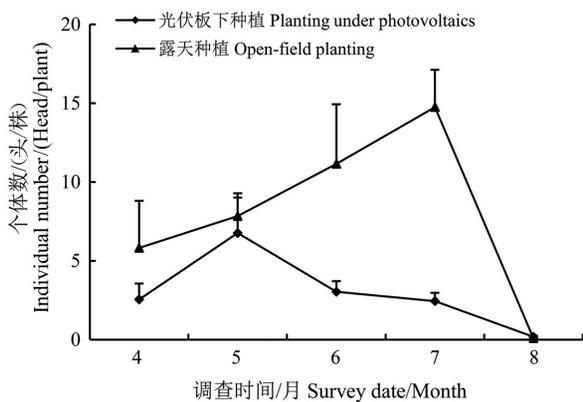


图 4 2 种植模式滇黄精害虫优势种神泽氏叶螨种群动态  
Fig. 4 Population dynamics of *T. kanzawai* on *P. kingianum* in two cropping patterns

### 3 结论与讨论

明确节肢动物群落结构组成及多样性特征, 掌握害虫及天敌种群的结构及其发生动态规律, 是开展害虫综合治理和天敌资源保护利用的基础<sup>[7, 20-21]</sup>。本研究发现, 光伏板下与露天种植 2 种植模式滇黄精上节肢动物群落极相似, 但光伏板下害虫亚群落物种数(11 种)低于露天种植(14 种), 条斑异丽金龟仅在光伏板下种植处理中发现, 但未发现虎甲蛉、绿盲蝽、灰飞虱和铜绿丽金龟等害虫, 这与刘悦等<sup>[6]</sup>对普洱市 3 种植模式下滇黄精虫害的调查结果相似, 即大田种植模式下虫害发生最为严重, 共

有 7 种虫害(蛴螬、小地老虎、蝼蛄、蓟马、蚜虫、蛭蟥、蜗牛), 林下种植模式下有 3 种虫害(蛴螬、小地老虎、思茅松毛虫), 均为轻度危害, 茶地套种模式下有 5 种虫害(蛴螬、小地老虎、蝼蛄、蚜虫、茶毛虫), 表明不同生境条件下黄精上节肢动物种类存在差异。此外, 光伏板下种植的黄精上节肢动物群落的益害比高于露天种植, 可能是光伏板下种植使生境发生了改变, 对一些节肢动物产生物理吸引和排斥作用, 如光伏设施可反射水平偏振光, 产生偏振光污染, 干扰昆虫获取方向的信息, 形成蜉蝣、石蝇和长足虻等昆虫的生态陷阱, 导致其繁衍失败或直接死亡, 使种群迅速减少<sup>[22-23]</sup>。也有可能是由于光伏板提供的遮阴效果能为天敌提供庇护场所, 从而提高了天敌的种群数量, 但具体原因还有待进一步探究。

节肢动物多样性与种植区的气候环境、地理条件、耕作制度、用药情况关系密切<sup>[20,24]</sup>。本研究中 2 种植模式下的害虫优势类群均为蜉蝣目节肢动物神泽氏叶蟊, 其发生量较大且发生持续时间长, 其他害虫则零星发生, 这与前人研究中二斑叶蟊<sup>[2,4]</sup>、山楂叶蟊<sup>[4-5]</sup>、红叶蟊<sup>[7]</sup>为优势害虫的结果相似, 但叶蟊的种类不同, 可能是因为地域差异或种植环境条件不同造成的。

有报道, 大田种植的黄精还经常遭受地老虎、蛴螬、金针虫和蝼蛄等地下害虫的危害<sup>[2,4,6]</sup>, 本研究调查过程中因未发现有蛴螬和金针虫等地下害虫的发生和危害, 因此针对滇黄精地上部分节肢动物群落组成结构及多样性进行了系统调查研究, 今后将对滇黄精地下害虫种类进行系统深入调查和分析。

#### 参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 一部[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020: 319-320.  
The National Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China: Part 1 [M]. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2020: 319-320.
- [2] 王桥美, 杨瑞娟, 严亮, 等. 滇黄精主要病虫害防治措施的研究综述[J]. 农村实用技术, 2017(12): 27-30.  
WANG Q M, YANG R J, YAN L, et al. Review on the control measures of main pests and diseases of *Polygonatum yunnanense* [J]. Rural Practical Technology, 2017(12): 27-30.
- [3] 沈宝宇, 孙文松, 宋国柱, 等. 辽宁道地药材白鲜主要病虫害发生规律及防治技术[J]. 辽宁农业科学, 2022(4): 90-92.  
SHEN B Y, SUN W S, SONG G Z, et al. Occurrence regularity and control technology of main diseases and pests on *Dictamnus dasycarpus* Turcz [J]. Liaoning Agricultural Sciences, 2022(4): 90-92.
- [4] 孙世伟. 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, 2007.  
SUN S W. Study on the occurrence and control techniques of main pests of *Polygonatum sibiricum* in Hanzhong area [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2007.
- [5] 叶家东. 皖南山区黄精栽培中主要虫害的防控[J]. 基层农技推广, 2020, 8(11): 83-84.  
YE J D. Prevention and control of main pests in *Polygonatum sibiricum* cultivation in mountainous areas of southern Anhui Province [J]. Primary Agricultural Technology Extension, 2020, 8(11): 83-84.
- [6] 刘悦, 贾平, 杨利华, 等. 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, 2021(12): 76-79.  
LIU Y, JIA P, YANG L H, et al. Occurrence and control of diseases and pests in different planting patterns of *Polygonatum kingianum* coll. et hems [J]. Forest Science and Technology, 2021(12): 76-79.
- [7] 何艳艳, 龙晓明, 杨虎权, 等. 思茅松林下黄精田节肢动物群落组成结构及多样性分析[J]. 南方农业学报, 2024, 55(1): 117-127.  
HE Y Y, LONG X M, YANG H Q, et al. Composition structure and diversity of arthropod communities in *Polygonatum kingianum* field under *Pinus kesiya* var. *langbianensis* forest [J]. Journal of Southern Agriculture, 2024, 55(1): 117-127.
- [8] 汤俊超, 吴宣文, 张姚, 等. 浅谈“光伏+农业”产业的发展模式[J]. 中国农学通报, 2022, 38(11): 144-152.  
TANG J C, WU Y W, ZHANG Y, et al. A brief introduction on the industrial development mode of photovoltaic agriculture [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2022, 38(11): 144-152.
- [9] 李馨好, 孙东滨, 张孟豪, 等. 不同作物种植对光伏坡地土壤团聚体稳定性与有机碳的影响[J]. 农业环境科学学报, 2024, 43(7): 1549-1556.  
LI X Y, SUN D B, ZHANG M H, et al. Effects of cultivating different crops on soil aggregate stability and organic carbon content in photovoltaic slopes [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2024, 43(7): 1549-1556.
- [10] 魏来, 余明艳, 覃楠楠, 等. 农光耦合系统对田间光照条件和甘薯生长的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2019, 45(3): 288-295.  
WEI L, YU M Y, QIN N N, et al. Effects of agro-photovoltaic integrating system on field illumination and sweet potato growth [J]. Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences), 2019, 45(3): 288-295.
- [11] CHO J, PARK S M, PARK A R, et al. Application of photovoltaic systems for agriculture: A study on the relationship between power generation and farming for the improvement of photovoltaic applications in agriculture [J]. Energies, 2020, 13(18): 4815.
- [12] 陈开俊, 张吉善, 韩科峰, 等. 光伏板下不同大豆品种苗期适宜性筛选[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2023, 49(4): 535-546.  
CHEN K J, ZHANG J S, HAN K F, et al. Suitability

- screening of soybean varieties at seedling stage under photovoltaic panels[J]. *Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences)*, 2023, 49(4): 535-546.
- [13] 黄艳国,何勇,徐端平. 光伏农业模式下耐阴中草药品种栽培试验研究[J]. *中国农业信息*, 2017, 29(15): 69-71.  
HUANG Y G, HE Y, XU D P. Experimental study on cultivation of shade-tolerant herbal varieties under photovoltaic agriculture model [J]. *China Agricultural Informatics*, 2017, 29(15): 69-71.
- [14] 郝心悦,许涛,于远航,等. 光伏农业“药光互补”模式中耐阴中药材品种选择[J]. *中南农业科技*, 2023, 44(10): 64-66.  
HAO X Y, XU T, YU Y H, et al. Selection of shade-tolerant Chinese medicinal materials in photovoltaic agriculture [J]. *South-Central Agricultural Science and Technology*, 2023, 44(10): 64-66.
- [15] 周新华,肖智勇,曾平生,等. 林下生境及生长年限对多花黄精生长和药用活性成分含量的影响[J]. *西南林业大学学报(自然科学)*, 2019, 39(4): 155-160.  
ZHOU X H, XIAO Z Y, ZENG P S, et al. Effects of different forest habitats and growth years on the growth of *Polygonatum cyrtoneura* and the content of medicinal active components [J]. *Journal of Southwest Forestry University (Natural Sciences)*, 2019, 39(4): 155-160.
- [16] 耿寿成,王梁. 基于药材光伏模式的前沿现代光伏农业示范园规划[J]. *天津农业科学*, 2021, 27(6): 75-79.  
GENG S C, WANG L. Planning of qianyan modern photovoltaic agricultural demonstration park basing on the photovoltaic model of medicinal materials [J]. *Tianjin Agricultural Sciences*, 2021, 27(6): 75-79.
- [17] 刘棋,成文章,拜如霞,等. 云南普洱紫花三叉白及昆虫群落多样性研究[J]. *环境昆虫学报*, 2018, 40(5): 1036-1050.  
LIU Q, CHENG W Z, BAI R X, et al. Insect community structure on *Bletilla striata* (Thunb.) Reichb. f in Pu'er District, Yunnan Province [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2018, 40(5): 1036-1050.
- [18] 李勇辉,张其钢,雷婷,等. 云南桑园昆虫群落组成及时间生态位分析[J]. *河南农业科学*, 2023, 52(4): 90-98.  
LI Y H, ZHANG Q G, LEI T, et al. Composition and temporal niches of insect communities in Yunnan mulberry field [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2023, 52(4): 90-98.
- [19] 曹宁宁,葛文超,叶辰,等. 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*, 2019, 50(2): 299-306.  
CAO N N, GE W C, YE C, et al. Composition structure and diversity of arthropod communities on understory planted *Panax notoginseng* in *Pinus kesiya* var. *langbianensis* forest [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2019, 50(2): 299-306.
- [20] 倪娟平,程赛赛,高梅香,等. 阔叶红松林地表鞘翅目多样性及种间关联性[J]. *生态学杂志*, 2018, 37(5): 1417-1425.  
NI J P, CHENG S S, GAO M X, et al. Diversity and interspecific associations of ground Coleoptera in a broad-leaved Korean pine mixed forest [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2018, 37(5): 1417-1425.
- [21] 王淑枝,王育红,张自启,等. 洛阳市测报灯下昆虫种群结构及主要害虫发生动态[J]. *河南农业科学*, 2023, 52(9): 110-121.  
WANG S Z, WANG Y H, ZHANG Z Q, et al. Insect population structure and occurrence dynamics of main pests in Luoyang City under forecast lamp [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2023, 52(9): 110-121.
- [22] HORVÁTH G, BLAHÓ M, EGRI A, et al. Reducing the maladaptive attractiveness of solar panels to polarotactic insects [J]. *Conservation Biology*, 2010, 24(6): 1644-1653.
- [23] 陈学平,简丽,陶双成,等. 公路太阳能发电的环境影响综述及发展对策[J]. *交通运输研究*, 2023, 9(4): 17-31.  
CHEN X P, JIAN L, TAO S C, et al. Environmental impact review and development strategies of solar power in highway [J]. *Transport Research*, 2023, 9(4): 17-31.
- [24] 王玉芹,丁文静,刘岩,等. 丹参田花期昆虫群落结构及多样性研究[J]. *环境昆虫学报*, 2020, 42(4): 910-915.  
WANG Y Q, DING W J, LIU Y, et al. The study on structure and diversity of insect community in *Salvia miltiorrhiza* fields during flowering period [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2020, 42(4): 910-915.