



# 内蒙古额济纳胡杨林昆虫群落结构及多样性分析

贾雨桥<sup>1\*</sup>, 王霞<sup>2\*</sup>, 李玉春<sup>3</sup>, 巴依苏拉<sup>4</sup>, 鲍婉婷<sup>2</sup>, 李红霞<sup>3</sup>,  
乔轶华<sup>3</sup>, 彭少刚<sup>1</sup>, 陆鹏飞<sup>1\*\*</sup>, 程业森<sup>2\*\*</sup>

(1. 北京林业大学, 林木资源高效生产全国重点实验室, 北京 100083; 2. 阿拉善盟林业和草原有害生物防治检疫站, 内蒙古自治区阿拉善盟阿拉善左旗 750300; 3. 额济纳旗林业和草原局胡杨研究所, 内蒙古自治区阿拉善盟额济纳旗 735400; 4. 额济纳胡杨林国家级自然保护区管理局, 内蒙古自治区阿拉善盟额济纳旗 735400)

**摘要:** 调查额济纳胡杨林昆虫资源现状, 分析昆虫群落多样性, 为额济纳胡杨林昆虫资源建立数据基础和  
保护胡杨林提供生态学依据。于 2023 年 5-7 月, 采用色板法、马氏网法、灯诱法、扫网法和糖醋液法, 对  
额济纳天然和不同干扰类型胡杨林昆虫群落结构和多样性进行了调查和分析。结果显示, 共采集昆虫标本  
182 973 头, 隶属于 12 目 170 科 793 种, 半翅目、双翅目、膜翅目和鞘翅目昆虫为优势类群, 且双翅目昆  
虫个体数量远大于其他目, 占总个体数量的 52.434%, 其次是半翅目占 21.134%。在天然胡杨林中, 个  
体数量为优势类群的有半翅目和双翅目, 昆虫个体数量表现为: 过熟林>幼龄林>中龄林>衰亡林, 中龄林的  
Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ ) 最大, 衰亡林大的 Margalef 丰富度指数 ( $dM$ ) 最大, 5 月昆虫多样性指  
数最低, 幼龄林中植食性昆虫的个体数量 (16 752 头)和捕食性昆虫的个体数 (6 854 头) 最多。在不同干  
扰类型胡杨林中, 个体数量为优势类群的有半翅目和双翅目, 昆虫个体数量表现为: 放牧区胡杨林>旅游区  
胡杨林>农田区胡杨林, 放牧区胡杨林中的 Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ ) 和 Margalef 丰富度指数 ( $dM$ )  
最大, 5 月昆虫多样性指数最低, 放牧区胡杨林中植食性昆虫的个体数量 (7 846 头)和捕食性昆虫的个  
体数量 (4 664 头) 最多。研究结果初步揭示额济纳胡杨林昆虫的种类、数量和群落的多样性, 实时了解昆虫  
群落的动态变化, 进一步管理胡杨林和害虫防治提供生态学依据。

**关键词:** 额济纳; 胡杨林; 昆虫; 群落结构; 多样性

中图分类号: Q968.1

文献标识码: A

## Analysis of insect community structure and diversity in Ejina *Populus euphratica* forest in Inner Mongolia

基金项目: 阿拉善盟科技计划项目 (AMY2022-14); 国家重点研发计划 (2023YFC2604802); 国家自然科学基金 (32371889)

\*共同第一作者: 贾雨桥, 男, 硕士研究生, 研究方向为昆虫群落结构及多样性分析, E-mail: 2737859239@qq.com; 王霞, 女,  
硕士, 工程师, 研究方向为林草生物保护, E-mail: amlcjwx@163.com

\*\*共同通讯作者 Author for correspondence: 陆鹏飞, 男, 教授, 研究方向为昆虫化学生态学, E-mail: lpengfei224@126.com; 程  
业森, 男, 正高级工程师, 研究方向为林草生物保护, E-mail: chys7210@163.com

收稿日期 Received: 2024-01-10; 修回日期 Revision received: 2024-05-16; 接受日期 Accepted: 2024-05-20

JIA Yu-Qiao<sup>1\*</sup>, WANG Xia<sup>2\*</sup>, LI Yu-Chun<sup>3</sup>, BA Yi-Su-La<sup>4</sup>, BAO Wan-Ting<sup>2</sup>, LI Hong-Xia<sup>3</sup>, QIAO Yi-Hua<sup>3</sup>, PENG Shao-Gang<sup>1</sup>, LU Peng-Fei<sup>1\*\*</sup>, CHENG Ye-Sen<sup>2\*\*</sup> (1. Beijing Forestry University, State Key Laboratory of Efficient Production of Forest Resources, Beijing 100083, China; 2. Alxa League State of Forestry and Grassland Pest Control and Quarantine, Alxa Left Banner, Alxa League, Inner Mongolia 750300, China; 3. Ejina Forestry and Grassland Administration, Hu Yang Research Institute, Ejina Banner, Alxa League, Inner Mongolia 735400, China; 4. Ejina Hu Yang National Nature Reserve Administration, Ejina Banner, Alxa League, Inner Mongolia 735400, China)

**Abstract:** To investigate the current situation of the insect resources of *Populus euphratica* forest in Ejina and analyze the diversity of insect community in order to provide ecological basis for establishing the data base of the insect resources and protecting the *P. euphratica* forest in Ejina. From May to July 2023, the insect community structure and diversity of natural and different disturbance types of *P. euphratica* forest in Ejina were investigated and analyzed by using color plate method, Malaise net method, lamp lure method, sweeping net method and sweet and sour solution method. The results showed that a total of 182 973 insect specimens were collected, belonging to 12 orders, 170 families, and 793 species. Hemiptera, Diptera, Hymenoptera, and Coleoptera were the dominant groups, and the number of Diptera individuals was far greater than that of other orders, accounting for 52.434% of the total number of individuals, followed by Hemiptera at 21.134%. In the natural *P. euphratica* forest, the dominant groups in terms of individual numbers are Hemiptera and Diptera, the number of insect individuals shows the following order: Over-mature forest > Young forest > Middle forest > Declining forest, the Shannon-Wiener diversity index ( $H'$ ) was the largest in the middle forest, and the Margalef richness index ( $dM$ ) was the largest in the Declining forest, the insect diversity index was the lowest in May, the number of phytophagous insects (16 752) and predatory insects (6 854) was the largest in the young forest. In the *P. euphratica* forests with different disturbance types, the dominant groups in terms of individual numbers are Hemiptera and Diptera, the number of insect individuals shows the following order: Grazing area *P. euphratica* forest > Tourist area *P. euphratica* forest > Farmland area *P. euphratica* forest, the Shannon-Wiener diversity index ( $H'$ ) and the Margalef richness index ( $dM$ ) are the largest in the Grazing area *P. euphratica* forest, the insect diversity index is the lowest in May, the number of phytophagous insects (7 846) and predatory insects (4 664) was the largest in the Grazing area *P. euphratica* forest. The results preliminarily revealed the diversity of insect species, quantity and community in *P. euphratica* forest, and provided ecological basis for further management of *P. euphratica* forest and pest control by understanding the dynamic changes of insect community in real time.

**Key words:** Ejina; *Populus euphratica* forest; insects; community structure; diversity

胡杨 *Populus euphratica* 是落叶乔木，由于其特殊的生理特性，对干旱、盐碱、高温等具有极强的适应能力，能在沙漠地区形成大面积森林（王立明等，2003；余伟莅，2013）。胡杨有生而千年不死，死而千年不倒，倒而千年不朽的美誉。内蒙古自治区阿拉善盟额济纳

旗以胡杨林特色景观著称，有胡杨林约 2.97 万 ha，是世界上仅存的三大胡杨林之一。额济纳胡杨林是额济纳绿洲植被重要组成部分，是目前国内保护最为完整、景色最壮观的原生态胡杨林（丁翊羽，2020；郭春燕，2023）。沿着额济纳河岸分布大面积胡杨林，其对于该地区生物多样性维持、水源涵养、水土保持、防风固沙、气候调节等生态功能具有重要意义（高润宏等，2000；刘钟龄等，2001；汤永康等，2023）。胡杨林除了发挥生态功能之外，还促进了当地放牧业、旅游业和农业的发展。

生物多样性是人类赖以生存和发展的基础（刘宇琛等，2023），也是衡量某一地区生态是否可持续发展的重要指标（Christensen *et al.*, 1996）。昆虫作为动物界物种数最多的类群，物种繁多，分布范围广，适应力强，个体较小，它在自然界中占据了多样性更高、空间尺度更小的生境（李少鹏，2022），在生物多样性保护和研究中具有重要的地位（陈飞龙等，2019）。此外，昆虫对生存环境变化敏感的特性也为研究昆虫多样性与环境变化的关系提供了前提（Eyre, 1996）。因此，充分认识和了解昆虫生物多样性特点，对于保护某一地区的生物多样性具有重要意义。

额济纳胡杨林由于树种单一、疏林多、密林少，且稳定性较低，近年来被多种害虫侵害，如蔡氏胡杨个木虱 *Egeirotria ceardi*、无斑滑头个木虱 *Homalocephala unicolor*、柳脊虎天牛 *Xylotrechus namanganensis*、小板网蝽 *Monostira unicostata*、褙裳夜蛾 *Catocala remissa* 等，害虫的数量和受灾面积逐年增加，极大影响了胡杨的生长发育（李玉春，2017；庞德胜等，2018）。目前，关于额济纳胡杨林昆虫群落的研究尚未见报道。基于此，本研究从 2023 年 5-7 月，在额济纳调查了天然和不同干扰类型胡杨林昆虫，旨在了解胡杨林内昆虫的种类和数量，为昆虫资源建立数据基础；此外，分析胡杨林不同时间昆虫群落结构及多样性，为进一步评价胡杨林生态系统的健康状况、管理胡杨林和害虫防治提供生态学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域概况

试验样地位于内蒙古自治区阿拉善盟额济纳旗胡杨林，地理位置：东经 101°03'~101°17'，北纬 41°03'~42°11'；地域海拔高度：900~1 000 m，最低处 820 m；气候：属于典型内陆干燥性气候，干旱少雨，蒸发量大，日照充足，温差较大，风沙多；气温：年均气温 8.3°C，极端低温-36.4°C，7 月平均气温 26.6°C，极端高温 42.5°C，年日均气温 8.6°C；降水：年均降水量 37.0 mm，年极端最大降水量 103.0 mm，最小降水量 7.0 mm；胡杨林中植被：乔木胡杨 *Populus euphratica*、灌木怪柳 *Tamarix chinensis*，草本主要是苦豆子 *Sophora alopecuroides* 和骆驼蓬 *Peganum harmala*。

### 1.2 额济纳胡杨林实验样地

选择天然胡杨林（无人干扰）和不同干扰类型胡杨林（人为干扰）作为研究对象（图 1）。天然胡杨林按龄级划分：幼龄林、中龄林、过熟林和衰亡林（魏庆营，1990；王世绩，1995；王海蓉，2012）；不同干扰类型胡杨林划分为：放牧区胡杨林、旅游区胡杨林和农田

区胡杨林，且每种胡杨林各 1 块实验样地，共 7 块，每块实验样地的胡杨至少达 30 株以上，面积不少于 900 m<sup>2</sup>。

天然胡杨林的主要特征：幼龄林胡杨平均高 3 m，平均胸径 4 cm，株密度极大，叶为披针型，林内有稀疏的苦豆子和骆驼蓬；中龄林胡杨平均高 10 m，平均胸径 25 cm，叶为异叶，林内冰草和苦豆子的盖度达 80%；过熟林胡杨平均高 14 m，平均胸径 60 cm，树皮厚部分成条状剥落甚至自动脱落，木材心腐，林内有怪柳；衰亡林胡杨平均高 10 m，平均胸径 45 cm，长势衰弱，树冠枯顶或部分枯死，林内沙化极其严重（表 1）。

不同干扰类型胡杨林的主要特征：放牧区胡杨林，胡杨平均高 12 m，平均胸径 45 cm，有稀疏的苦豆子，放羊和放骆驼比较频繁；旅游区胡杨林，胡杨平均高 10 m，平均胸径 50 cm，有稀疏的怪柳，旅游开发比较严重，林内有木栈道，晚上有灯光，还进行喷药防治木虱；农田区胡杨林，农田区主要种植哈密瓜，周围胡杨平均高 10 m，平均胸径 25 cm（表 1）。

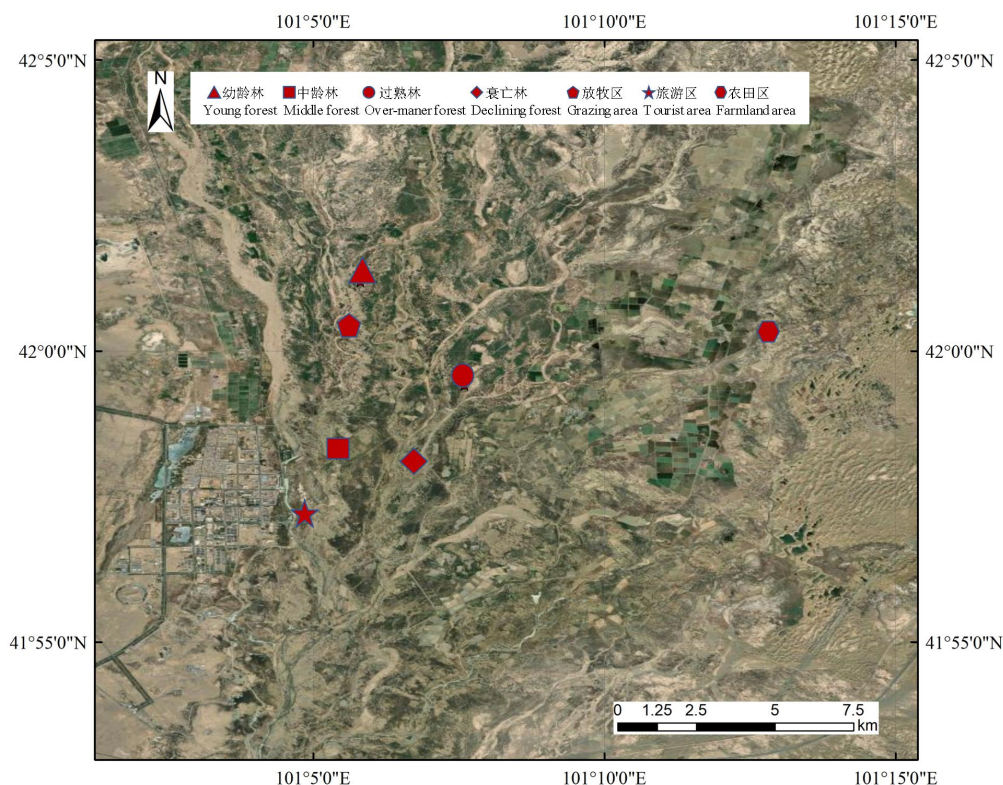


图 1 额济纳天然和不同干扰类型胡杨林分布示意图

Fig. 1 Distribution diagram of natural and different disturbance types of *Populus euphratica* forest in Ejina

表 1 额济纳天然和不同干扰类型胡杨林情况

Table 1 Natural and different disturbance types of *Populus euphratica* forest in Ejina

胡杨林	位置	经度/E	纬度/N	植被类型	人为干扰
<i>Populus euphratica</i> forest	Location	Longitude	Latitude	Vegetation type	Human interference
幼龄林 Young forest	庆华小油路 Qing hua small oil road	101°05'49"	42°01'12"	胡杨 <i>Populus euphratica</i> 、苦 豆子 <i>Sophora</i> <i>alopecuroides</i> 、骆驼蓬 <i>Peganum harmala</i>	无

中龄林 Middle forest	二道桥 Two bridge	101°05'21"	41°58'14"	胡杨 <i>Populus euphratica</i> 、苦 豆子 <i>Sophora</i> <i>alopecuroides</i> 、冰草 <i>Agropyron cristatum</i>	无
过熟林 Over-maner forest	四道桥 Four bridge	101°07'36"	41°59'25"	胡杨 <i>Populus euphratica</i> 、 柽柳 <i>Tamarix chinensis</i>	无
衰亡林 Declining forest	三道桥 Three bridge	101°06'40"	41°58'06"	胡杨 <i>Populus euphratica</i>	无
放牧区 Grazing areas	庆华小油路 Qing hua small oil road	101°05'36"	42°00'24"	胡杨 <i>Populus euphratica</i> 、 苦豆子 <i>Sophora</i> <i>alopecuroides</i>	放羊和骆驼 Herding sheep and camel
旅游区 Tourist area	一道桥 One bridge	101°04'50"	41°57'11"	胡杨 <i>Populus euphratica</i> 、 柽柳 <i>Tamarix chinensis</i>	旅游开发和河流 Tourism development and river
农田区 Farmland area	七道桥 Seven bridge	101°12'47"	42°00'19"	胡杨 <i>Populus euphratica</i> 、 灰绿藜 <i>Oxybasis glauca</i>	种哈密瓜和公路 Planting cantaloupes and highways

### 1.3 昆虫采集

2023年5-7月,在额济纳选择4种不同发育阶段的天然胡杨林和3种不同干扰类型的胡杨林,通过色板法、马氏网法、灯诱法、扫网法和糖醋液法采集昆虫。额济纳属于典型的内陆干燥气候、降雨极少,其对这5种采集方法的效果影响较小。此外,胡杨树木高大、开阔,利用这5种采集方法比较方便且获取的昆虫丰富,用多种采集方法尽可能保证数据的完整性和代表性。

#### 1.3.1 色板法

在每个胡杨林样地中心区域,选择胸径相似的胡杨3株,将红色、绿色和黄色粘虫板分别缠绕在胡杨胸径位置,并且用图钉固定确保色板不掉落。色板每10d换1次,每个月采集3次。采集色板时,在色板东南西北分别写上样地名称、时间和方向,并剪下长25cm、宽12~15cm的色板,放入自制箱子,拿回实验室在光学显微镜下观察、拍照、分类计数。诱集1次时间为10d,每种胡杨林每月糖醋液诱集3次(郭祖国等,2019)。

#### 1.3.2 马氏网法

采用Townes型马氏网进行定点取样法调查,在样地中心区域(通风且阳光充足处)安装马氏网,收集瓶绑在树上,并朝向东南方。安装时用地锚将各绳索固定,使各个网面适当绷紧、拉平,网脊倾斜角度为45°,黑色阻隔筛网也用地锚将其固定,并与地面无缝隙便于爬行类昆虫的收集,样品瓶内加入75%酒精至1/2~2/3瓶容积,每15d收集1次。诱集1次时间为15d,每种胡杨林每月马氏网诱集2次(郑世仲等,2023)。

#### 1.3.3 灯诱法

在每个样地中心区域,将2m×2.5m幕布用特制的铁杆竖直固定,并尽可能展开成平面。用特制的铁架,将黑光灯吊在幕布居中的位置,灯泡离幕布40cm左右,功率500w,电源为可移动户外电源,每次诱集开始时间为天黑后0.5h,诱集时间1~1.5h。将体型较大的鳞

翅目昆虫捏死后，用塑封袋或三角袋收集；较小的鳞翅目昆虫和其它昆虫直接用毒瓶收集。月初开始每隔 4~5 d 灯诱 1 次，每种胡杨林每月灯诱 1 次（张立敏等，2012）。

#### 1.3.4 扫网法

扫网：在每个样地内以双对角线法调查，再十字形横穿样地，随机扫网约 200 次，将采集的昆虫塞入广口毒瓶中毒杀，然后在扫网的相应地点用目测法检查在植被上活动的漏捕的昆虫。抖网：在样地中心，选择 3 株相似大小的胡杨，每株分为东、西、南、北 4 个方位，在每个方位随机选取 3 根带叶片的枝条，用捕虫网分别套住，以均匀的力量向左右连续抖动 10 次，在抖动结束后将捕虫网退出，采集的昆虫放入广口毒瓶。每种胡杨林每月扫网采集 3 次（乔海莉，2007）。

#### 1.3.5 糖醋液法

在每个样地中心区域随机选择 3 株胡杨，分别在树干基部各设置 1 杯糖醋液，塑料杯口径 5 cm、高约 12 cm，杯内糖醋液约 4/5 杯容积，埋入土坑下，用枯枝盖住（防止沙土吹进杯内），枯枝与杯口适当留出间隙（方便昆虫进入）。糖醋液配比白糖：白醋：75%酒精：水=3：1：3：80。诱集 1 次时间为 10 d，每种胡杨林每月糖醋液诱集 3 次（邹言等，2021）。

### 1.4 昆虫分类鉴定

昆虫分类：所有采集的昆虫拿回室内，通过肉眼、光学显微镜或体视显微镜进行拍照分类统计。每种昆虫均在显微镜下拍照确保能鉴定到科级，并且尽可能放在 95%酒精里保存。

昆虫鉴定：参考能乃扎布《内蒙古昆虫》；白晓拴等《内蒙古贺兰山地区昆虫》；王新普和杨贵军《宁夏贺兰山昆虫》；郑乐怡和归鸿《昆虫分类》；《昆虫分类学》（修订版）蔡邦华著，蔡晓明和黄复生修订；张巍巍和李元胜《中国昆虫生态大图鉴》；赵梅君和李丽珍《中国 600 种昆虫图鉴》；王远平等《中国蛾类图鉴》或者请教昆虫专家和昆虫分类老师。

### 1.5 昆虫群落功能团和各类群的划分

从昆虫的食性出发，以分类学上的科为单位，将昆虫群落分为 4 个功能类群：植食性昆虫（Phytophagous insects）指那些以植物为食的昆虫，包括叶片、枝干、茎、花、果实和种子等；捕食性昆虫（Predator insects）指那些以其他昆虫或动物为食的昆虫；寄生性昆虫（Parasitic insects）指依赖其他昆虫、动物来获取营养和生存条件的昆虫；中性昆虫（Neutral insects）指腐食性的或对植物几乎没有危害也不捕食其他动物的昆虫（顾伟等，2015）。

各类群优势性状根据 Berger-Parker 指数划分，划分标准依据正态分布原则确定。本文采用的具体标准为：当  $0.1 \leq D$ ，为优势类群；当  $0.01 \leq D < 0.1$ ，为常见类群；当  $0.001 \leq D < 0.01$ ，为偶见类群；当  $D < 0.001$ ，为稀有种或罕见种（赵海燕等，2015）。

### 1.6 数据处理和分析

计算相关生态学指标：Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ )、Berger-Parker 优势度指数 ( $D$ )、Margalef 丰富度指数 ( $dM$ ) 和 Pielou 均匀度指数 ( $J$ )。计算公式如下：



(1) Shannon-Wiener 多样性指数  $H'$ ,  $H' = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$ ,  $P_i$  为第  $i$  物种的个体总数占昆虫个体总数的比例 (马克平, 1994)。

(2) Berger-Parker 优势度指数 ( $D$ ),  $D = N'/N$ ,  $N'$  为优势种的个体数量,  $N$  为所有物种个体数之和 (Shanin, 1996)。

(3) Margalef 丰富度指数 ( $dM$ ),  $dM = (S-1) / \ln N$ ,  $S$  为物种数,  $N$  为所有物种个体数之和 (马克平和刘玉明, 1994)。

(4) Pielou 均匀度指数 ( $J$ )  $J = H'/H_{\max} = H'/\ln S$ ,  $H'$  为 Shannon-Wiener 多样性指数,  $H_{\max}$  为  $H'$  的最大理论值, 即假定群落内各个物种均以相同比例存在时的  $H'$  值,  $S$  为物种数 (马克平和刘玉明, 1994)。

使用 Excel 2019 和 Origin 2019 进行做图分析。在 ArcGIS 10.8 软件中, 绘制出天然和不同干扰类型胡杨林的分布图。

## 2 结果与分析

### 2.1 额济纳天然和不同干扰类型胡杨林昆虫群落组成

本研究共采集和鉴定昆虫 182 973 头, 隶属于 12 目 170 科 793 种 (表 2)。

在科级阶元和种级阶元上, 双翅目 Diptera、膜翅目 Hymenoptera 和鞘翅目 Coleoptera 都属于优势类群, 各阶元百分比之和分别为 77.06% 和 77.81%。在科级阶元和种级阶元上, 半翅目 Hemiptera、鳞翅目 Lepidoptera 和脉翅目 Neuroptera 都属于常见类群; 直翅目 Orthoptera、蜻蜓目 Orthoptera、缨翅目 Thysanoptera、螳螂目 Mantodea、革翅目 Dermaptera 和毛翅目 Trichoptera 都属于偶见类群。

对于个体数量而言, 半翅目 ( $D=21.134\%$ )、双翅目 ( $D=52.434\%$ ) 和鞘翅目 ( $D=11.286\%$ ) 都属于优势类群, 其百分比之和为 84.854%; 膜翅目 ( $D=9.269\%$ )、鳞翅目 ( $D=3.856\%$ ) 和脉翅目 ( $D=1.940\%$ ) 属于常见类群; 直翅目 ( $D=0.043\%$ )、蜻蜓目 ( $D=0.011\%$ )、缨翅目 ( $D=0.013\%$ )、螳螂目 ( $D=0.004\%$ )、革翅目 ( $D=0.001\%$ ) 和毛翅目 ( $D=0.010\%$ ) 属于稀有类群, 其百分比之和仅为 0.082%。

各目昆虫中的优势科, 1) 半翅目: 木虱科 Psyllidae、划蝽科 Corixidae、盲蝽科 Miridae、叶蝉科 Cicadellidae、蚜科 Aphididae; 2) 双翅目: 蚤蝇科 Phoridae、小粪蝇科 Sphaeroceridae、眼蕈蚊科 Sciaridae、摇蚊科 Chironomidae、蠓科 Ceratopogonidae; 3) 膜翅目: 大头泥蜂科 Philanthidae、茧蜂科 Braconidae、金小蜂科 Pteromalidae; 4) 鞘翅目: 步甲科 Carabidae、蚁形甲科 Anthicidae、隐翅虫科 Staphylinidae、拟花蚤科 Scaptiida; 5) 鳞翅目: 麦蛾科 Gelechiidae、螟蛾科 Pyralidae、夜蛾科 Noctuidae; 6) 脉翅目: 草蛉科 Chrysopidae、粉蛉科 Coniopterygidae。从天然和不同干扰类型胡杨林中的所有昆虫来看, 优势种都为无斑滑头个木虱 *Homalocephala unicolor*, 个体数量分别为 11 532 头和 8 360 头。

表 2 额济纳天然和不同干扰类型胡杨林昆虫群落组成

Table 2 Composition of insect communities in natural and different disturbance types of *Populus euphratica* forest in Ejina

目 Order	科 Family		种 Species		个体 Individual	
	数量 (科)	百分比 (%)	数量 (种)	百分比 (%)	数量 (头)	百分比 (%)
	Number	Percentage	Number	Percentage	Number	Percentage
半翅目 Hemiptera	18	10.59	77	9.71	38 670	21.134
双翅目 Diptera	46	27.06	203	25.60	95 940	52.434
膜翅目 Hymenoptera	47	27.65	285	35.94	16 959	9.269
鞘翅目 Coleoptera	38	22.35	129	16.27	20 650	11.286
鳞翅目 Lepidoptera	11	6.47	71	8.95	7 055	3.856
脉翅目 Neuroptera	4	2.35	14	1.77	3 549	1.940
直翅目 Orthoptera	1	0.59	6	0.76	79	0.043
蜻蜓目 Odonata	1	0.59	2	0.25	20	0.011
缨翅目 Thysanoptera	1	0.59	2	0.25	23	0.013
螳螂目 Mantodea	1	0.59	2	0.25	8	0.004
革翅目 Dermaptera	1	0.59	1	0.13	2	0.001
毛翅目 Trichoptera	1	0.59	1	0.13	18	0.010
合计 Total	170	100.00	793	100.00	182 973	100.000

## 2.2 额济纳胡杨林昆虫群落目级阶元组成

### 2.2.1 额济纳天然胡杨林昆虫群落目级阶元组成

在天然胡杨林中，科级阶元、种级阶元和个体级阶元都为优势类群的只有双翅目；种级阶元都为优势类群的有双翅目、膜翅目和鞘翅目（表3）。在幼龄林中，双翅目、膜翅目和鞘翅目昆虫合计的物种数量占总物种数量的79.25%；在中龄林中，其占78.36%；在过熟林中，其占77.06%；在衰亡林中，其占77.30%。在天然胡杨林中，个体数量都为优势类群的有半翅目和双翅目。在幼龄林中，半翅目和双翅目昆虫合计的个体数量占总个体种数量的75.35%；在中龄林中，其占72.54%；在过熟林中，其占63.35%；在衰亡林中，其占71.35%。在天然胡杨林中，直翅目、蜻蜓目、缨翅目、螳螂目、革翅目的个体数量都较少或只在某些胡杨林里面出现，都是稀有类群；毛翅目在衰亡林中为偶见种。

天然胡杨林中昆虫种数量表现为：幼龄林>衰亡林>过熟林>中龄林；昆虫个体数量表现为：过熟林>幼龄林>中龄林>衰亡林；优势种无斑滑头个木虱的个体数量，衰亡林>幼龄林>过熟林>中龄林；在不同月份中，7月>6月>5月（图2）。

表3 额济纳天然胡杨林昆虫群落目级阶元组成

Table 3 Order level composition of insect communities in the natural *Populus euphratica* forest in Ejina

目 Order	幼龄林 Young forest			中龄林 Middle forest			过熟林 Over-matur forest			衰亡林 Declining forest		
	科数量 (科)	种数量 (种)	个体数量 (头)	科数量 (科)	种数量 (种)	个体数量 (头)	科数量 (科)	种数量 (种)	个体数量 (头)	科数量 (科)	种数量 (种)	个体数量 (头)
	Number of families	Number of species	Number of individuals	Number of families	Number of species	Number of individuals	Number of families	Number of species	Number of individuals	Number of families	Number of species	Number of individuals
半翅目 Hemiptera	12	35	6 387	10	31	3 356	12	36	8 651	17	41	6 744



双翅目	33	102	22 891	35	84	12 409	23	80	16 908	32	90	8 183
Diptera												
膜翅目	33	121	2 802	34	109	1 904	29	116	5 009	33	120	953
Hymenoptera												
鞘翅目	26	71	4 824	23	46	1 947	25	66	7 707	29	76	3 302
Coleoptera												
鳞翅目	6	25	1 530	7	22	1 027	6	26	985	6	27	1 073
Lepidoptera												
脉翅目	4	9	392	4	6	1 061	4	10	1 046	4	11	598
Neuroptera												
直翅目	3	3	3	2	3	8	3	3	30	2	2	10
Orthoptera												
蜻蜓目	1	1	10	2	2	11	0	0	0	0	0	0
Odonata												
缨翅目	2	2	3	0	0	0	1	1	4	1	1	4
Thysanoptera												
螳螂目	0	0	0	1	1	1	1	2	3	1	1	4
Mantodea												
革翅目	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dermaptera												
毛翅目	1	1	10	1	1	10	0	0	0	1	1	50
Trichoptera												
合计 Total	122	371	38 854	119	305	21 734	104	340	40 343	126	370	20 921

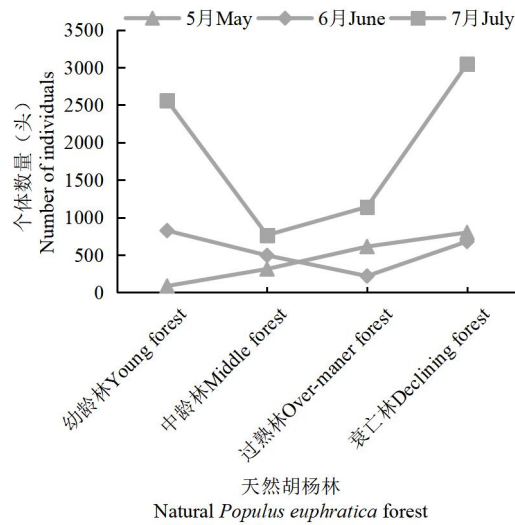


图 2 天然胡杨林优势种无斑滑头个木虱个体数量

Fig. 2 Individual numbers of the dominant species of *Homalocephala unicolor* in natural *Populus euphratica* forest

### 2.2.2 额济纳不同干扰类型胡杨林昆虫群落目级阶元组成

在不同干扰类型胡杨林中，科级阶元、种级阶元和个体级阶元均为优势类群的只有双翅目；种级阶元为优势类群的有双翅目、膜翅目和鞘翅目（表 4）。在放牧区胡杨林中，双翅目、膜翅目和鞘翅目昆虫合计的物种数量占总物种数量的 74.78%；在旅游区胡杨林中，其占 76.95%；在农田区胡杨林中，其占 67.50%。在不同干扰类型胡杨林中，个体数量都为优

势类群的有半翅目和双翅目。在放牧区胡杨林中，半翅目和双翅目昆虫合计的个体数量占总个体种数量的 76.40%；在旅游区胡杨林中，其占 88.49%；在农田区胡杨林中，其占 80.39%。在不同干扰类型胡杨林中，蜻蜓目、缨翅目、螳螂目、革翅目的个体数量都较少或只在某些胡杨林里面出现，都是稀有类群，毛翅目在农田区胡杨林中为偶见种。

不同干扰类型胡杨林内昆虫种数量表现为：放牧区胡杨林>旅游区胡杨林>农田区胡杨林；昆虫个体数量表现为：放牧区胡杨林>旅游区胡杨林>农田区胡杨林；优势种无斑滑头个木虱的个体数量，放牧区胡杨林>农田区胡杨林>旅游区胡杨林；在不同月份中，7月>6月>5月（图3）。

表 4 额济纳不同干扰类型胡杨林昆虫群落目级阶元组成

Table 4 Order level composition of insect communities in different disturbance types of *Populus euphratica* forest in Ejina

目 Order	放牧区胡杨林 <i>Populus euphratica</i> forest in grazing area			旅游区胡杨林 <i>Populus euphratica</i> forest in tourist area			农田区胡杨林 <i>Populus euphratica</i> forest in farmland area		
	科数量 (科)	种数量 (种)	个体数量 (头)	科数量 (科)	种数量 (种)	个体数量 (头)	科数量 (科)	种数量 (种)	个体数量 (头)
	Number of families	Number of species	Number of individuals	Number of families	Number of species	Number of individuals	Number of families	Number of species	Number of individuals
半翅目 Hemiptera	9	27	4 981	12	34	5 051	12	33	3 455
双翅目 Diptera	37	104	15 731	34	87	11 927	31	62	7 687
膜翅目 Hymenoptera	24	102	3 982	30	81	974	13	38	290
鞘翅目 Coleoptera	27	49	945	22	49	496	27	62	1 453
鳞翅目 Lepidoptera	9	45	1 286	6	21	678	7	32	610
脉翅目 Neuroptera	4	11	165	4	7	57	4	8	230
直翅目 Orthoptera	1	1	1	1	1	2	3	3	24
蜻蜓目 Odonata	0	0	0	1	1	1	0	0	0
缨翅目 Thysanoptera	1	1	10	1	1	1	1	1	1
毛翅目 Trichoptera	1	1	10	0	0	0	1	1	110
合计 Total	113	341	27 111	111	282	19 187	99	240	13 860

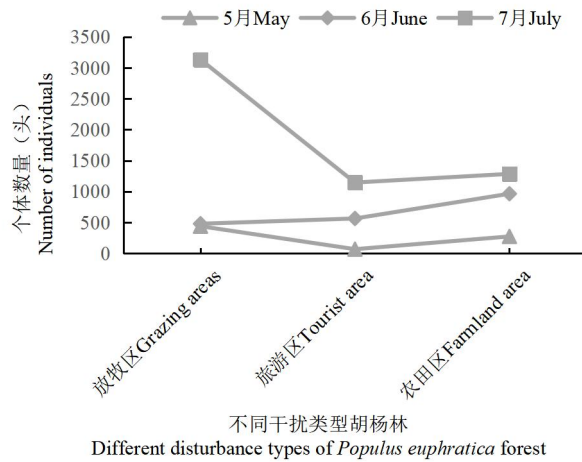


图3 不同干扰类型胡杨林优势种无斑滑头个木虱个体数量

Fig. 3 Individual numbers of the dominant species of *Homalocephala unicolor* in different disturbance types of *Populus euphratica* Forest

### 2.3 额济纳胡杨林昆虫群落多样性

#### 2.3.1 额济纳天然胡杨林昆虫群落多样性

在天然胡杨林中，中龄林的 Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ ) 最大，过熟林最小；2023 年 6 月和 7 月的 Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ ) 都比 5 月大 (表 5)。即 2023 年 5-7 月，Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ ) 有上升趋势。

在天然胡杨林中，2023 年 6 月和 7 月的 Berger-Parker 优势度指数 ( $D$ ) 普遍比 5 月小。即 2023 年 5-7 月，7 种胡杨林的 Berger-Parker 优势度指数 ( $D$ ) 有下降趋势。

在天然胡杨林中，幼龄林和衰亡林 7 月的 Margalef 丰富度指数 ( $dM$ ) 分别为 24.9631 和 25.8729 远大于其他胡杨林。2023 年 6 月和 7 月的 Margalef 丰富度指数 ( $dM$ ) 普遍比 5 月大。即 2023 年 5-7 月，7 种胡杨林的 Margalef 丰富度指数 ( $dM$ ) 有上升趋势。

在天然胡杨林中，幼龄林和中龄林 7 月的 Pielou 均匀度指数 ( $J$ ) 比其他胡杨林都大。2023 年 6 月和 7 月的 Pielou 均匀度指数 ( $J$ ) 普遍比 5 月大。即 2023 年 5-7 月，7 种胡杨林的 Pielou 均匀度指数 ( $J$ ) 有上升趋势。

表 5 2023 年 5-7 月额济纳天然胡杨林昆虫群落多样性指数

Table 5 Insect community diversity index of natural *Populus euphratica* forest in Ejina from May to July 2023

胡杨林 <i>Populus euphratica</i> forest	Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ ) Shannon-Wiener Diversity index			Berger-Parker 优势度指数 ( $D$ ) Berger-Parker dominance index			Margalef 丰富度指数 ( $dM$ ) Margalef Richness index			Pielou 均匀度指数 ( $J$ ) Pielou evenness index		
	5月	6月	7月	5月	6月	7月	5月	6月	7月	5月	6月	7月
	May	June	July	May	June	July	May	June	July	May	June	July
幼龄林 Young forest	2.0118	3.3518	3.7672	0.7791	0.3091	0.3183	9.6028	17.4327	24.9631	0.4553	0.6516	0.6864
中龄林 Middle forest	2.4846	3.4038	3.6056	0.4929	0.3766	0.2675	11.1812	19.4209	18.7748	0.5456	0.6699	0.6936
过熟林 Over-mancer	2.4178	3.0793	3.0949	0.5621	0.4138	0.3998	17.5468	17.3354	19.5878	0.5077	0.6031	0.5869

forest													
衰亡林													
Declining forest	2.9112	3.3556	3.1298	0.4623	0.3883	0.4974	14.8338	19.7915	25.8729	0.6081	0.6476	0.5711	
forest													

### 2.3.2 额济纳不同干扰类型胡杨林昆虫群落多样性

在不同干扰类型胡杨林中，6月和7月的 Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ ) 普遍比5月大(表6)。即2023年5-7月，Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ ) 有上升趋势。总体上，放牧区胡杨林的 Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ ) 最大。

在不同干扰类型胡杨林中，2023年6月和7月的 Berger-Parker 优势度指数 ( $D$ ) 普遍比5月小。即2023年5-7月，Berger-Parker 优势度指数 ( $D$ ) 有下降趋势。

在不同干扰类型胡杨林中，2023年6月和7月的 Margalef 丰富度指数 ( $dM$ ) 都比5月大。即2023年5-7月，Margalef 丰富度指数 ( $dM$ ) 有上升趋势。总体上，放牧区胡杨林的 Margalef 丰富度指数 ( $dM$ ) 最大，且远大于其他胡杨林。

在不同干扰类型胡杨林中，2023年5-7月的 Pielou 均匀度指数 ( $J$ ) 相差不大。

表6 2023年5月-7月额济纳不同干扰类型胡杨林昆虫群落多样性指数

Table 6 Insect community diversity index of different disturbance types of *Populus euphratica* forest in Ejina from May to July 2023

胡杨林 <i>Populus euphratica</i> forest	Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ ) Shannon-Wiener Diversity index			Berger-Parker 优势度指数( $D$ ) Berger-Parker dominance index			Margalef 丰富度指数 ( $dM$ ) Margalef Richness index			Pielou 均匀度指数 ( $J$ ) Pielou evenness index		
	5月 May	6月 June	7月 July	5月 May	6月 June	7月 July	5月 May	6月 June	7月 July	5月 May	6月 June	7月 July
	放牧区 Grazing area	2.9612	3.0437	2.6329	0.4797	0.3467	0.6978	15.3975	19.4151	18.4672	0.6218	0.5887
旅游区 Tourist area	2.0415	2.2527	3.0862	0.7640	0.6191	0.4249	7.8870	14.9055	19.6377	0.4927	0.4579	0.5975
农田区 Farmland area	2.6171	3.2204	2.4494	0.6230	0.5214	0.6665	13.0423	17.9547	9.1959	0.5546	0.6410	0.5622

## 2.4 额济纳胡杨林昆虫功能团组成

### 2.4.1 额济纳天然胡杨林昆虫功能团组成

在天然胡杨林中，植食性昆虫的科、种和个体数量都普遍大于其它功能团昆虫(表7)。对于植食性昆虫的种数量而言，衰亡林中的种数量(121种)最大，中龄林的种数量(93种)最小；对于捕食性昆虫的种数量而言，幼龄林的种数量(121种)最大，中龄林的种数量(84种)最小。对于植食性昆虫个体数量而言，幼龄林中的个体数量(16752头)最大，过熟林(14158头)次之，两者的个体数量都远大于其他胡杨林；对于捕食性昆虫个体数量而言，幼龄林中的个体数量(6854头)最大。(捕食性昆虫个体数量+寄生性昆虫个体数量)/植食性昆虫个体数量=益害比，中龄林的益害比最大为0.80，幼龄林和衰亡林的益害比较小分别为0.56和0.55，天然胡杨林整体的益害比为0.63。

表 7 额济纳天然胡杨林昆虫功能团组成

Table 7 Composition of insect functional groups in natural *Populus euphratica* forest in Ejina

胡杨林 <i>Populus euphratica</i> forest	科数量 (科) Number of families				种数量 (种) Number of species				个体数量 (头) Number of individuals			
	植食性 昆虫	捕食性 昆虫	寄生性 昆虫	中性 昆虫	植食性 昆虫	捕食性 昆虫	寄生性 昆虫	中性 昆虫	植食性 昆虫	捕食性 昆虫	寄生性 昆虫	中性 昆虫
	Phytophagous insects	Predatory insects	Parasitic insects	Neuter insects	Phytophagous insects	Predatory insects	Parasitic insects	Neuter insects	Phytophagous insects	Predatory insects	Parasitic insects	Neuter insects
幼龄林 Young forest	41	38	18	25	113	121	90	47	16 752	6 854	2 503	12 745
中龄林 Middle forest	42	37	18	22	93	84	78	50	8 316	3 997	2 633	6 788
过熟林 Over-matur forest	38	31	11	24	104	100	83	53	14 158	4 593	4 812	16 780
衰亡林 Declining forest	45	39	17	25	121	111	87	51	10 018	4 898	627	5 378

2.4.2 额济纳不同干扰类型胡杨林昆虫功能团组成

在不同干扰类型胡杨林中，植食性昆虫的科、物种和个体数量都普遍大于其它功能团昆虫（表 8）。对于植食性昆虫的种数量而言，放牧区胡杨林的种数量（120 种）最大，农田区胡杨林的种数量（93 种）最小；对于捕食性昆虫的种数量而言，放牧区胡杨林的种数量（90 种）最大，农田区胡杨林的种数量（66 种）最小。对于植食性昆虫个体数量而言，放牧区胡杨林的个体数量（7 846 头）最大，旅游区胡杨林的个体数量（5 105 头）最小；对于捕食性昆虫个体数量而言，放牧区胡杨林的个体数量（4 664 头）最大，其它两种胡杨林相差不多。（捕食性昆虫个体数量+寄生性昆虫个体数）/植食性昆虫个体数量=益害比，放牧区胡杨林的益害比最大为 0.85，农田区胡杨林的益害比最小为 0.63，不同干扰类型胡杨林整体的益害比为 0.76。

表 8 额济纳不同干扰类型胡杨林昆虫功能团组成

Table 8 Composition of insect functional groups in different disturbance types of *Populus euphratica* forest in Ejina

胡杨林 <i>Populus euphratica</i> forest	科数量 (科) Number of families				种数量 (种) Number of species				个体数量 (头) Number of individuals			
	植食性 昆虫	捕食性 昆虫	寄生性 昆虫	中性 昆虫	植食性 昆虫	捕食性 昆虫	寄生性 昆虫	中性 昆虫	植食性 昆虫	捕食性 昆虫	寄生性 昆虫	中性 昆虫
	Phytophagous insects	Predatory insects	Parasitic insects	Neuter insects	Phytophagous insects	Predatory insects	Parasitic insects	Neuter insects	Phytophagous insects	Predatory insects	Parasitic insects	Neuter insects
放牧区 Grazing area	45	35	11	22	120	90	75	56	7 846	4 664	1 983	12 618
旅游区 Tourist area	41	30	21	19	107	71	62	42	5 105	2 450	1 600	10 032
农田区 Farmland area	38	32	11	18	93	66	46	35	6 522	2 241	1 852	3 245

### 3 讨论与结论

#### 3.1 额济纳天然和不同干扰类型胡杨林昆虫群落组成

研究表明,额济纳天然和不同干扰类型胡杨林的昆虫资源非常丰富。双翅目的比例占一半以上,其中眼蕈蚊科和摇蚊科的数量突出,它们都是趋光性昆虫,通过灯诱可以捕获大量的此类昆虫。唯一的优势种无斑滑头个木虱在所有胡杨林中数量都非常多,其主要为害胡杨当年生枝条的新梢,初始被害叶片卷曲,几片被害叶片卷曲在一起呈“菊花”状,且幼树受害最重,容易造成整个植株枯死(张炳坤,2021)。本研究通过色板捕获了大量的无斑滑头个木虱,因此可以在幼龄林布置色板,监测其数量的变化,除此之外深入研究不同颜色色板的诱捕效果,可以为防治提供新方法,如赵龙龙等(2021)研究不同颜色色板对中国梨木虱 *Psylla chinensis* 的诱捕效果。

在天然胡杨林中,物种数量为优势类群的有双翅目和膜翅目,调查发现通过马氏网法可以大量捕获,而膜翅目中小蜂总科的物种数量和金小蜂科的个体数量丰富,它们多数为寄生性昆虫,后续可研究其对寄主的防控机制,为害虫的防治提供新途径。如郑平等(2009)在内蒙古研究舟蛾金小蜂 *Heferoprymna* sp.、舟蛾赤眼蜂 *Trichogramma closteme*、舟蛾卵跳小蜂 *Ooencyrtus* sp.对杨二尾舟蛾的控制作用。个体数量为优势类群的有半翅目和双翅目,调查发现色板法和灯诱法可以大量捕获。过熟林昆虫个体数量和幼龄林昆虫个体数量比其他胡杨林高得多,原因可能是过熟林茂盛的枝叶和幼龄林的嫩叶、新芽,以及林地中的草本植物为昆虫提供了丰富的食物来源,除此之外密集的胡杨幼苗和繁茂的过熟林,都能够更好的抵抗沙尘暴,为昆虫提供了良好的躲避场所(李玉杰等,2018)。在天然胡杨林中,优势种无斑滑头个木虱的个体数量较多的分别是衰亡林和幼龄林,且明显大于其它胡杨林,可能与它的生境有关,还需要进一步研究。在不同月份中,无斑滑头个木虱的个体数量:5月<6月<7月,与它的生活史有关(张炳坤等,2021),其出现的初期在5月,此时是防治的最佳时期,需要加大防治力度。

在不同干扰类型胡杨林中,物种数量为优势类群的有双翅目和膜翅目,个体数量为优势类群的有半翅目和双翅目,这与天然胡杨林的优势类群相同。旅游区和农田区胡杨林的物种数、个体数均明显低于放牧区胡杨林。原因可能是,旅游区胡杨林过度开发(木栈道、景观灯、人为活动)并多次大量使用化学药剂防控害虫,这破坏了昆虫的栖息环境,影响了昆虫群落结构(王怀探等,2011);农田区胡杨林有大面积的哈密瓜地,瓜农们5月份开始耕地、种植、施药控制白粉虱 *Trialeurodes vaporariorum* 以及旁边的公路等(马小才和杨军,2016),这些都可能对昆虫的生存和繁殖产生负面影响。在不同干扰类型胡杨林中,无斑滑头个木虱个体数量的变化趋势与天然胡杨林相同,表明不同干扰类型对其影响较小。

#### 3.2 额济纳天然和人为干扰胡杨林昆虫群落多样性特征

在天然胡杨林中,Shannon-Wiener多样性指数( $H'$ )和Margalef丰富度指数( $dM$ )在2023年6月和7月普遍比5月大。原因是5月温度较低,昆虫活动能力弱,难以采集到,

并且研究发现在灯诱的过程中天气温度稍微下降,采集的昆虫数量就大幅减少(常晓娜等,2008);而且5月沙尘暴天气较多,色带上粘上沙子或尘土后,采集的昆虫数量也会明显减少;除此之外胡杨5月开始发芽开花,6-7月枝繁叶茂为昆虫提供大量食物和栖息环境(乌日根夫等,2003)。因此,天然胡杨林的昆虫多样性与温度、天气、胡杨林的生长发育规律都有关。中龄林的 Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ ) 最高,因此昆虫群落的多样性水平较高,昆虫群落结构复杂。在天然胡杨林中,植食性昆虫的物种和个体数量都普遍大于其它功能团,为昆虫群落贡献了最大的物种丰富度(杨欢等,2023)。天然胡杨林整体的益害比为 0.63,益虫数量远低于害虫数量,应重点关注害虫的动态变化并加以控制。

在不同干扰类型胡杨林中, Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ ) 和 Margalef 丰富度指数 ( $dM$ ) 在 2023 年 6 月和 7 月普遍比 5 月大,与天然胡杨林的研究结果相似。放牧区胡杨林中的 Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ ) 和 Margalef 丰富度指数 ( $dM$ ) 均为最大值,表明放牧活动对胡杨林的影响相对较小,而旅游区胡杨林和农田区胡杨林受人为干扰严重,昆虫物种和个体数量都少,多样性水平低,昆虫群落结构简单。在不同干扰类型胡杨林中,放牧区胡杨林和旅游区胡杨林中性昆虫的个体数量都大于其它功能团,其中摇蚊科和小粪蝇科的数量较多,它们都是趋光性昆虫,可以通过灯诱法捕获。旅游区胡杨林和农田区胡杨林中捕食性昆虫个体数量少且低于植食性昆虫,说明旅游开发、耕地除草和施药等影响了捕食性昆虫的生境和搜索行为,从而影响了捕食性昆虫的种群数量(Bezemer *et al.*, 2014)。

综上所述,在昆虫物种数、个体数、Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ )、Margalef 丰富度指数 ( $dM$ )、Pielou 均匀度指数 ( $J$ ) 方面,天然胡杨林明显大于不同干扰类型胡杨,表明不同干扰因素严重影响了胡杨林昆虫群落结构及多样性。因此,建议额济纳胡杨林管理和开发过程中,开展重要指示昆虫的动态监测;在发挥胡杨林生态价值和多种功能的同时,尽量避免或降低对昆虫群落的干扰,以利于维持昆虫群落结构的稳定性,减小虫害发生的风险。

致谢:十分感谢额济纳旗林草局正高级工程师李玉春、内蒙古农业大学史丽教授和内蒙古师范大学白晓拴教授对昆虫鉴定方面的指导,同时也感谢在昆虫鉴定过程中给予帮助的其他所有老师和同学。感谢阿拉善盟林草有害生物防治检疫站、额济纳旗林草局和胡杨林管理局的大力支持。

## 参考文献 (References)

- Bezemer TM, Harvey JA, Cronin T. Response of native insect communities to invasive plants [J]. *Annual Review of Entomology*, 2014, 59: 119-141.
- Chang XN, Gao HJ, Chen FJ, *et al.* Effects of environmental humidity and rainfall on insects [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 4: 619-625. [常晓娜, 高慧璟, 陈法军, 等. 环境湿度和降雨对昆虫的影响 [J]. *生态学杂志*, 2008, 4: 619-625]
- Chen FL, Huang FS, Xia JY, *et al.* Insect community structure of *Carya cathayensis* forest under different management modes [J]. *Journal of Zhejiang Agricultural and Forestry University*, 2019, 36 (3): 429-436. [陈飞龙, 黄凤生, 夏俊勇, 等. 不同经营模式下山核桃林昆虫群落结构 [J]. *浙江农林大学学报*, 2019, 36 (3): 429-436]
- Christensen NL, Bartusk AM, Brown JH. The report of the ecological society of America committee on the scientific basis for ecosystem management [J]. *Ecological Applications*, 1996, 6 (3): 665-691.
- Ding HY. Effects of Tourism Activities on Plant Communities in Ejina *Populus euphratica* Forest Reserve [D]. Beijing: Beijing Forestry University Master Thesis, 2020. [丁翊羽. 旅游活动对额济纳胡杨林保护区植物群落的影响 [D]. 北京: 北京林业大学硕士学位论文, 2020.]



位论文, 2020]

- Eyre MD, Lott DA, Garsid A. Assessing the potential for environment monitoring using ground beetles (Coleoptera: Carabidae) with river side and Scottish data [J]. *Annales Zoologici Fennici*, 1996, 33 (1): 157-163]
- Gao RH, Zhang W, Guo XH. Evaluation of ecological benefits and protection counter-measures of *Populus euphratica* forest in Ejina [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2000, 14 (5): 74-77. [高润宏, 张巍, 郭晓红. 额济纳胡杨林生态效益评价及保护对策探讨 [J]. 干旱区资源与环境, 2000, 14 (5): 74-77]
- Gu W, Ma L, Ding XH, et al. Insect diversity in different habitats in Zhalong wetland [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22 (9): 2405-2412. [顾伟, 马玲, 丁新华, 等. 扎龙湿地不同生境的昆虫多样性 [J]. 应用生态学报, 2011, 22 (9): 2405-2412]
- Guo CY, Wang J, Hao YZ, et al. Analysis of variation characteristics of leaf color of *Populus euphratica* and influencing meteorological factors in Ejina [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2023, 43 (4): 618-627. [郭春燕, 王佳, 郝玉珠, 等. 额济纳胡杨叶色变化特征及其影响气象因子分析 [J]. 西北植物学报, 2023, 43 (4): 618-627]
- Guo ZG, Wang MX, Cui L, et al. Advance in insect phototaxis and the development and application of colored sticky boards [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019, 30 (10): 3615-3626. [郭祖国, 王梦馨, 崔林, 等. 昆虫趋色性及诱虫色板的研究和应用进展 [J]. 应用生态学报, 2019, 30 (10): 3615-3626]
- Li SP. Survey of Insect Diversity in Gogostehan Ulla Nature Reserve [D]. Inner Mongolia: Inner Mongolia Agricultural University Master Thesis, 2022. [李少鹏. 高格斯台罕乌拉自然保护区昆虫多样性调查 [D]. 内蒙古: 内蒙古农业大学硕士学位论文, 2022]
- Li YC. Study on biological characteristics and control of *Egeirotria cearidi* in Ejina banner [J]. *Green Science and Technology*, 2017, 5: 4-6. [李玉春. 额济纳旗蔡氏胡杨个木虱生物学特性与防治研究 [J]. 绿色科技, 2017, 5: 4-6]
- Li YJ, Zhang JD, Bai WK, et al. Insect community composition and biodiversity characteristics of different functional green spaces in Beijing [J]. *Journal of Ecology and Environment*, 2018, 27 (6): 1044-1051. [李玉杰, 张晋东, 白文科, 等. 北京不同功能绿地昆虫群落组成和生物多样性特征 [J]. 生态环境学报, 2018, 27 (6): 1044-1051]
- Liu YC, Xiao NW, Lin YH, et al. Resource investigation and diversity analysis of insect in Laifeng county, Wuling mountain area [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2023, 60 (3): 971-979. [刘宇琛, 肖能文, 林银海, 等. 武陵山区来凤县昆虫资源调查与多样性分析 [J]. 应用昆虫学报, 2023, 60 (3): 971-979]
- Liu ZL, Zhu ZY, Hao DY. Reflections on the damage of oasis ecosystem and ecological conservation countermeasures in the lower reaches of Heihe river (Ejina river). [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2001, 15 (3): 1-8. [刘钟龄, 朱宗元, 郝敦元. 黑河(额济纳河)下游绿洲生态系统受损与生态保育对策的思考 [J]. 干旱区资源与环境, 2001, 15 (3): 1-8]
- Ma KP, Liu YM. Methods for measuring the diversity of biological community I $\alpha$  diversity measurement method (Part 2) [J]. *Biological Diversity*, 1994, 4: 231-239. [马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法I $\alpha$ 多样性的测度方法(下) [J]. 生物多样性, 1994, 4: 231-239]
- Ma KP. Methods for Measuring the Diversity of Biological Community I $\alpha$  Diversity Measurement Method (Part 1) [J]. *Biological Diversity*, 1994, 3: 162-168. [马克平. 生物群落多样性的测度方法I $\alpha$ 多样性的测度方法(上) [J]. 生物多样性, 1994, 3: 162-168]
- Ma XC, Yang J. Key points of autumn cantaloupe cultivation technology in Turpan area [J]. *Northwest Horticulture (Vegetable)*, 2016, 4: 39. [马小才, 杨军. 吐鲁番地区秋茬哈密瓜栽培技术要点 [J]. 西北园艺(蔬菜), 2016, 4: 39]
- Pang DS, Qian HG, Bai XS. Trends and prevention and control strategies of forest pests in Ejina [J]. *Protection Forest Science and Technology*, 2018, 9: 85-87. [庞德胜, 钱宏革, 白晓拴. 额济纳森林虫害发生趋势与防控对策 [J]. 防护林科技, 2018, 9: 85-87]
- Qiao HL. Diversity of microorganism and insects, invasive risk of *Anoplophora glabripennis* in natural forest of *Populus euphratica* in Tarim [D]. Beijing: Beijing Forestry University Doctoral Thesis, 2007. [乔海莉. 塔里木天然胡杨林微生物与昆虫多样性及光肩星天牛的入侵风险 [D]. 北京: 北京林业大学博士学位论文, 2007]
- Shanin SS. Species diversity and seasonal succession of phytoplankton in the White sea [J]. *Okeanologiya*, 1996, 36: 407-412.
- Tang YK, Guo CY, Sun XL, et al. Analysis of vegetation changes and influencing factors of *Populus euphratica* forest in Ejina from 1977 to 2020 [J]. *Desert and Oasis Meteorolog*, 2023, 17 (4): 152-159. [汤永康, 郭春燕, 孙小龙, 等. 1977-2020年额济纳胡杨林植被变化特征及其影响因子分析 [J]. 沙漠与绿洲气象, 2023, 17 (4): 152-159]
- Wang HC, Zhong YD, Luo F. Impact of tourism development on insect diversity: A case study of Yuelu mountain [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27 (10): 58-62. [王怀探, 钟永德, 罗芬. 旅游开发对昆虫多样性的影响——以岳麓山为例 [J]. 中国农学通报, 2011, 27 (10): 58-62]
- Wang HR, Hao P, Zhong JH, et al. Community diversity analysis of *Populus euphratica* forest of different age classes in Ejina oasis [J]. *Inner Mongolia Forestry Survey and Design*, 2012, 35 (3): 93-96, 71. [王海蓉, 郝鹏, 仲家虎, 等. 额济纳绿洲不同龄级胡杨林群落多样性分析 [J]. 内蒙古林业调查设计, 2012, 35 (3): 93-96, 71]

- Wang LM, Zhang QL, Yin JY. Study on growth regularity and biological productivity of *Populus euphratica* forest in Ejina [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2003, 17 (2): 94-99. [王立明, 张秋良, 殷继艳. 额济纳胡杨林生长规律及生物生产力的研究 [J]. 干旱区资源与环境, 2003, 17 (2): 94-99]
- Wang SJ, Chen BH, Li HQ. *Populus euphratica* Forest [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1995. [王世绩, 陈炳浩, 李护群. 胡杨林 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1995]
- Wei QY. *Populus euphratica* Forest [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1990. [魏庆营. 胡杨林 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1990]
- Wu Ri GF, Zhan SH, Cheng JQ, et al. Biology, ecology, drought resistance mechanism and reproduction mechanism of natural *Populus euphratica* forest in Ejina banner [J]. *Inner Mongolia Forestry Survey and Design*, 2003, 4: 1-5. [乌日根夫, 战士宏, 程继全, 等. 额济纳旗天然胡杨林生物学、生态学抗旱机理与繁殖机理研究 [J]. 内蒙古林业调查设计, 2003, 4: 1-5]
- Yang H, Zhang T, Cao WX, et al. Structure and diversity of insect communities in six wetland parks in Chengdu [J]. *Wetland Science*, 2023, 21 (1): 44-57. [杨欢, 张韬, 曹雯星, 等. 成都市 6 座湿地公园中昆虫群落的结构与多样性 [J]. 湿地科学, 2023, 21 (1): 44-57]
- Yu WL. Study on Phenological Rhythm and Physiological and Ecological Characteristics of *Populus euphratica* in Ejina [D]. Beijing: Beijing Forestry University Master Thesis, 2013. [余伟莅. 额济纳胡杨物候节律及生理生态特性研究 [D]. 北京: 北京林业大学硕士学位论文, 2013]
- Zhang BK, Zhou L, Cui XP. Preliminary study on the occurrence law and comprehensive prevention and control measures of *Populus euphratica* in northern Xinjiang [J]. *Xinjiang Agricultural Science and Technology*, 2021, 6: 19-21. [张炳坤, 周黎, 崔小平. 新疆北部异叶胡杨害虫发生规律与综合防控措施初探 [J]. 新疆农业科技, 2021, 6: 19-21]
- Zhang LM, Zhang YH, Chen B, et al. Study on diversity and evaluation methods of insect community attracted by black light in Yuanyang terrace [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science)*, 2012, 27 (5): 617-622, 657. [张立敏, 张玉虎, 陈斌, 等. 元阳梯田黑光灯诱集昆虫群落多样性及其评价方法研究 [J]. 云南农业大学学报 (自然科学), 2012, 27 (5): 617-622, 657]
- Zhao HY, Qin S, Ji XC, et al. Insect community structure and temporal dynamics in eggplant field in Hainan [J]. *China Plant Protection Guide*, 2015, 35 (12): 9-15. [赵海燕, 秦双, 吉训聪, 等. 海南茄子田昆虫群落结构与时序动态 [J]. 中国植保导刊, 2015, 35 (12): 9-15]
- Zhao LL, Liu J, Wei J, et al. Trapping effect of different color sticky insect boards on *Psylla chinensis* [J]. *China Fruit Trees*, 2021, 3: 39-42. [赵龙龙, 刘鳌, 卫洁, 等. 不同颜色粘虫板对中国梨木虱的诱捕效果 [J]. 中国果树, 2021, 3: 39-42]
- Zheng P, Ban J, Yang Y, et al. A preliminary study on parasitic natural enemies of *Cerura menciana* [J]. *Inner Mongolia Forestry Science and Technology*, 2009, 35 (3): 43-47. [郑平, 班俊, 杨勇, 等. 杨二尾舟蛾寄生性天敌昆虫的初步研究 [J]. 内蒙古林业科技, 2009, 35 (3): 43-47]
- Zheng SZ, Liu CF, Jin S, et al. Investigation of insect community structure and diversity in Fuding ecological tea garden by malaise net method [J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition)*, 2023, 52 (4): 438-444. [郑世仲, 刘楚非, 金珊, 等. 马氏网集虫法调查福鼎生态茶园昆虫群落结构及多样性 [J]. 福建农林大学学报 (自然科学版), 2023, 52 (4): 438-444]
- Zou Y, Liu JW, Li LK, et al. Comparison of different insect collection methods in Zhenzhuquan town, Beijing [J]. *Chinese Journal of Environmental Entomology*, 2021, 43 (3): 758-767. [邹言, 刘佳文, 李立坤, 等. 北京市珍珠泉乡不同昆虫采集方法采集效果对比分析 [J]. 环境昆虫学报, 2021, 43 (3): 758-767]