

中国特有植物四合木的昆虫群落与多样性特征^{*}

赵 伟 刘 强^{**}

(天津师范大学化学与生命科学学院 天津 300387)

Insect community and its diversity characteristics on Chinese endemic plant of *Tetraena mongolica*
ZHAO Wei LIU Qiang^{**} (College of Chemistry and Life Science, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China)

Abstract An investigation was carried out on the insect community on *Tetraena mongolica*, and the diversity characteristics were analyzed. A total of 1 935 insect specimens were collected, belonging to 8 orders, 42 families (or superfamilies), and 136 species. They were species of Homoptera, Hymenoptera, Hemiptera, Coleoptera, Diptera, Thysanoptera, Orthoptera and Neuroptera. Insects of Homoptera had the highest individual number, which comprised 67.96% of the total number. There were 59 species of Hymenoptera, highest in all orders. The dominant group (> 10%) was Cicadellidae, and the common groups (1% ~ 10%) were Chalcidoidea, Meenopliidae, Cerambycidae, Formicidae, Piesmatidae, Aphidoidea and Miridae. There were 1 610 specimens of herbivorous insect (belonging to 59 species), which had the highest species richness and individual number indexes in community structure, and among which the sucking groups had the highest individual number and dominance indexes, but the lowest evenness index. Parasitoids had the highest diversity and the lowest dominance indexes, among which most groups belonged to Hymenoptera. The dominance index of neutral insects was relatively higher. Predators had lower species richness and individual number indexes, but had a higher diversity index next to parasitoids.

Key words *Tetraena mongolica*, insect community, diversity

摘 要 对中国特有植物四合木 (*Tetraena mongolica*) 植株上昆虫群落进行调查和多样性特征分析, 共采得四合木上昆虫标本 1 935 号, 隶属于 8 目 42 个科 (或总科) 136 种。包括同翅目、膜翅目、半翅目、鞘翅目、双翅目、缨翅目、直翅目和脉翅目的种类。同翅目昆虫在数量上占有绝对的优势, 达 67.96%。膜翅目丰富度最高, 有 59 种; 优势类群 (> 10%) 是叶蝉, 常见类群 (1% ~ 10%) 包括小蜂、粒脉蜡蝉、天牛、蚂蚁、皮蝽、蚜虫和盲蝽等。调查所得昆虫群落中植食性昆虫有 59 种共 1 610 只, 丰富度和个体数量在群落中占有绝对的优势。其中尤以吸食类昆虫为最, 其个体数量和优势度指数最大, 但均匀度最低。寄生性天敌昆虫在群落中多样性最大, 优势度最低, 多为膜翅目种类。中性昆虫优势度指数较高。捕食性昆虫物种丰富度和个体数量较小, 但多样性高, 仅次于寄生性昆虫。

关键词 四合木, 昆虫群落, 多样性

四合木 (*Tetraena mongolica*) 为蒺藜科灌木, 古地中海子遗植物, 是国家二级濒危保护物种, 中国特有的单种属植物^[1]。1996 年在西鄂尔多斯建立了国家级自然保护区, 并专门设立了四合木核心区以加强对其保护。近 10 多年来, 对四合木的研究日益引起许多学者的关注和重视。目前四合木的研究主要是从植物学、遗传学和生态学 3 个角度对四合木的生物学特

性、生理生态适应性、种群结构及动态、群落特征、遗传多样性、景观破碎化过程、传粉昆虫^[2]及其寄生性天敌^[2~4]、化学生态学^[5,6]等 8 个方面的研究。国内对某一种木本植物上昆虫群落

^{*} 国家自然科学基金项目 (30570344)。

^{**} 通讯作者, E-mail: Htjnu@126.com

收稿日期: 2009-04-06 修回日期: 2009-05-15

的研究, 乔木如榕树^[7-8]和苹果等几种果树^[9-11], 灌木仅见于茶树^[12]。四合木不仅是一种古老的单种属植物, 而且是分布在具有国际意义荒漠生态系统重要保护地点的第一类地点^[13]中的一种濒危灌木。近 2 年作者发现四合木受到 2 种害虫的严重危害, 大片的植株枯死, 有导致绝灭的危险。四合木昆虫群落的研究不仅对这一特殊地区植物—植食性昆虫—天敌三级营养与非生物自然环境的之间相互作用以及分布在这一被称之为“孑遗植物避难所”的狭小地域中古老残遗植物对环境的适应与进化均具有特殊的意义, 同时可为四合木害虫的综合防治提供一定的理论依据。

1 研究方法

1.1 研究地概况

研究地点位于内蒙古西鄂尔多斯国家级自然保护区的四合木分布区, 本区植物在内蒙古植物区划中属于内蒙古高原草原省的鄂尔多斯高原区及亚洲荒漠植物区的阿拉善荒漠植物省, 东阿拉善植物州。该区属温带大陆性气候, 冬季寒冷, 夏季酷热, 干旱少雨, 风大沙多, 热量丰富。本区属草原化荒漠地带, 土以灰漠土和棕钙土为主, 地表沙化严重属超旱生植被类型, 植物种类贫乏, 各群落主要由强旱生灌木层片组成, 多年生草本占近 1/3 组成了群落的次要层片, 群落外貌呈灰绿色的紧密丛状, 分布均匀, 有四合木—小半灌木荒漠、四合木—丛生禾草荒漠、四合木—超旱生灌木—小半灌木荒漠、四合木—超旱生小灌木—小半灌木荒漠、四合木—盐柴类小半灌木—丛生禾草荒漠 5 个群落类型^[14]。

1.2 研究方法

2007 年 5~8 月每月上旬各调查 1 次。调查时选择晴好天气于 10:00~13:00 进行。每次取样, 分别在四合木 5 个群落类型各样地中设置一块 20 m×20 m 标准地。在标准地内随机选取冠幅 100 cm 左右、基部独立平整而无杂草的 5 株四合木, 在植株上迅速喷以广谱性击倒快杀虫剂。10 min 后震动树冠, 待昆虫落于喷药前铺于植株下的白布或纱布后, 将布连同

昆虫一起装入标记好的塑料袋中带回制成针插或浸制标本保存。然后把这 5 株中所有被蛀干害虫危害的枝条从基部剪下, 逐一剖开枝条统计种类和数量。所有种类尽可能鉴定到种^[14-21]。数据处理运用的群落特征参数有个体总数 (N)、物种丰富度 (S)、相对多度 (P)、Shannon-Wiener 多样性指数 (H')、Pielou 均匀度 (J)、Berger-Parker 优势度指数 (D)^[22]。中性昆虫即指既非天敌又非害虫的昆虫^[23]。

2 结果与分析

2.1 昆虫群落的基本组成

共采得四合木上昆虫标本 1 935 号, 隶属于 8 目 42 个科 (或总科) 136 种。由表 1 可以看出, 四合木上昆虫的群落组成特点是同翅目昆虫在数量上占有绝对的优势, 达 67.96%; 其中叶蝉科的相对多度为 60.10%。其次膜翅目的相对多度为 16.38%; 其中小蜂总科为 8.11%。其他各目的相对多度则均小于 7%。

膜翅目在群落中丰富度最高, 有 64 种。在膜翅目中丰富度最高的又是小蜂总科, 有 38 种, 蜜蜂科次之, 有 10 种; 其他各科均在 5 种以下。其次双翅目有 21 种。同翅目有 17 种, 在同翅目中叶蝉类虽然在数量上占有绝对优势, 但是其物种丰富度则小于蚜总科。鞘翅目和半翅目丰富度均为 15 种。其他各目的物种丰富度仅 1~2 种。

总体来看, 优势类群 (> 10%) 是叶蝉, 常见类群 (1%~10%) 包括小蜂、粒脉蜡蝉、天牛、蚂蚁、皮蝽、蚜虫和盲蝽等。

2.2 昆虫群落结构及多样性特征

四合木昆虫群落结构由植食者、寄生者、捕食者和中性昆虫组成。植食者依取食部位不同又分为食叶、采花、蛀干 3 类; 食叶类又分为吸食类和嚼食类 2 类, 见表 2。群落中植食性昆虫有 59 种共 1 610 只, 丰富度和个体数量在群落中占有绝对的优势。寄生性昆虫次之, 有 48 种 180 只。捕食者和中性昆虫物种丰富度相近, 分别为 15 和 14 种。但中性昆虫个体数量更多, 有 113 只; 捕食者只有 32 只。

2.2.1 植食者 各类植食者的丰富度、个体数量、多样性、均匀度和优势度等如表 2 所示。从表 2 可以看出, 食叶昆虫中吸食类的丰富度、个体数量和优势度高于嚼食类, 但嚼食类有更高的多样性和均匀度。其中吸食类昆虫的个体数量在整个昆虫群落中也是占绝对优势的, 优势度也最大, 但均匀度最低。吸食类包括同翅目和缨翅目的全部, 半翅目的皮蝽科、网蝽科和盲蝽科等。优势类群是叶蝉和粒脉蜡蝉。其中 1 种叶蝉为优势种, 多度达 60.10%, 成虫 6 月上

表 1 昆虫群落基本组成

目 (目相对多度)	科 /总科	个体总数	相对多度 (%)	物种丰富度
同翅目 (67.96%) Homoptera	叶蝉科 Cicadellidae	1 163	60.10	5
	粒脉蜡蝉科 Menopliidae	113	5.84	1
	蚜总科 Aphidoidea	25	1.29	7
	粉蚧科 Pseudococcidae	9	0.47	1
	珠蚧科 Margaridae	3	0.16	1
	蚧科 Coccidae	1	0.05	1
	木虱科 Psyllidae	1	0.05	1
	小蜂总科 Chalcidoidea	157	8.11	38
膜翅目 (16.38%) Hymenoptera	茧蜂科 Braconidae	4	0.21	2
	姬蜂科 Ichneumonidae	4	0.21	1
	青蜂科 Chysidae	9	0.47	4
	泥蜂科 Sphecidae	11	0.57	4
	螺赢蜂科 Eumenidae	2	0.10	1
	蜜蜂科 Apidae	46	2.38	10
	蚊科 Formicidae	84	4.34	4
	象甲总科 Curculionidae	19	0.98	5
鞘翅目 (6.61%) Coleoptera	拟步甲科 Tenebrionidae	7	0.36	2
	瓢虫科 Coccinellidae	2	0.10	2
	叩甲科 Elateridae	9	0.47	1
	花甲科 Dascillidae	1	0.05	1
	天牛科 Cerambycidae	87	4.50	2
	隐翅虫科 Staphylinidae	1	0.05	1
	皮蠹科 Dermestidae	2	0.10	1
	皮蝽科 Psyllidae	36	1.86	2
半翅目 (4.19%) Hemiptera	网蝽科 Tingidae	3	0.16	1
	盲蝽科 Miridae	23	1.19	6
	蝽科 Pentatomidae	15	0.78	3
	长蝽科 Lygaeidae	3	0.16	2
	花蝽科 Anthrenidae	1	0.05	1
	秆蝇科 Chioropidae	11	0.57	6
	寄蝇科 Tachinidae	3	0.16	2
	头蝇科 Pipunculidae	3	0.16	1
双翅目 (3.15%) Diptera	蜂虻科 Bombyliidae	4	0.21	2
	丽蝇科 Calliphoridae	1	0.05	1
	食蚜蝇科 Syrphidae	10	0.52	4
	瘿蚊科 Cecidomyiidae	14	0.72	3
	眼蕈蚊科 Sciaridae	14	0.72	1
	粪蚊科 Sepsidae	1	0.05	1
	管蓟马科 Phlaeothripidae	20	1.03	1
	粉蛉科 Coniopterygidae	4	0.21	1
缨翅目 (1.03%) Thysanoptera	蝗总科 Acridoidea	5	0.26	1
脉翅目 (0.21%) Neuroptera	蠹斯科 Tegonidae	4	0.21	1
直翅目 (0.47%) Orthoptera				

旬出现, 7~8月间盛发, 密布灌木层。嚼食类昆虫由鞘翅目的象甲、拟步甲和花甲以及直翅目的蝗虫和螽斯组成; 优势类群是象甲。拟步甲成虫在四合木萌动期后的整个生长期都会危害, 可取食叶、花和果实, 但因为其主要取食叶, 故不计入采花类。

四合木的采花昆虫在群落中多样性和均匀度都较高, 均为第3位, 主要是蜜蜂和蜂虻。以火红拟孔蜂 *Hoplitis pyrrhosoma*、北方切叶蜂

Megachile manchuriana 分舌蜂 *Colletes* sp.、伏暗蜂 *Stelis franconica*、西方蜜蜂 *Apis mellifera*、蒙古条蜂 *Anthophora mongolica*、紫木蜂 *Xylocopa valga*、鼠尾草无蛰蜂 *Amegilla salviae*、淡脉隧蜂 *Lasioglossum* sp.、沙漠石蜂 *Chalcidoma deserticola* 等和双翅目蜂虻科的卵蜂虻 *Anthrax distigma*、短毛异蜂虻 *Hemipenthes volutina* 等在群落中最常见, 尤其在四合木的花期。刘强等做过专门的研究。

表 2 昆虫群落的结构

	植食者				寄生者	捕食者	中性昆虫
	食叶类		采花类	蛀干类			
	吸食类	嚼食类					
物种丰富度 (S)	34	11	12	2	48	15	14
个体总数 (N)	1 428	45	50	87	180	32	113
多样性 (H')	1. 11	2. 09	2. 19	0. 66	3. 37	2. 49	1. 37
均匀度 (J)	0. 31	0. 87	0. 88	0. 95	0. 87	0. 92	0. 52
优势度 (D)	0. 77	0. 27	0. 30	0. 63	0. 14	0. 19	0. 65
优势类群	叶蝉 粒脉蜡蝉	象甲	蜜蜂	天牛	小蜂	泥蜂	蚂蚁

蛀干类昆虫在群落中物种丰富度和多样性最低, 但均匀度最高, 仅红缘天牛 *Asias habdendr* 和槐绿虎天牛 *Chlorophorus diadema* 2种。2种天牛幼虫世代混杂, 成虫分别在6月和7月开始出现。剪枝调查发现, 四合木群落遭受天牛虫害的程度十分严重, 很多地段危害率高达90%以上, 受害区域广阔, 已经导致大片四合木死亡。红缘天牛和槐绿虎天牛为害率有所差异, 整体看来槐绿虎天牛为害率要远大于红缘天牛。

2.2.2 寄生者 寄生性天敌昆虫在群落中多样性最大, 优势度最低, 多为膜翅目种类, 包括小蜂、茧蜂、姬蜂和青蜂, 另外还有少数双翅目的头蝇和寄蝇种类。膜翅目中小蜂总科昆虫是主要的类群。寄蝇和头蝇很少。四合木的传粉昆虫受寄生性天敌危害严重, 在同翅目昆虫若虫中也发现了被寄生现象。

2.2.3 捕食者 捕食性天敌昆虫在群落中虽物种丰富度和个体数量较小, 但多样性仅次于寄生性昆虫, 包括膜翅目的泥蜂和蜾蠃、鞘翅目的瓢甲和隐翅甲、脉翅目的粉蛉、半翅目的大眼

长蝽 *Geocoris* sp. 和花蝽、双翅目的食蚜蝇、网翅目螳螂、蜻蜓目蜻蜓。

优势类群泥蜂捕食对象包括直翅目等多种植食性害虫。泥蜂的捕食能力很强。作者曾从1只体型较小的泥蜂的巢中挖出5只螽斯的若虫, 而且每只若虫的体型都大于泥蜂。在整个物候期内都可见到泥蜂的活动。食蚜蝇有大斑鼓额食蚜蝇 *Scaeva albomaculata*、大灰后食蚜蝇 *Metasyrphus corollae*、方斑墨食蚜蝇 *Melanostoma mellinum* 和灰带管食蚜蝇 *Eristalis cerealis* 等, 此4种食蚜蝇虽也访花但其主要是以捕食为主, 能大量捕食同翅目的昆虫, 故将其归入捕食性昆虫中。

2.2.4 中性昆虫 中性昆虫优势度较高。其中蚂蚁最多, 还有少数蝇和蚊类。蚂蚁主要为弓背蚁 *Camponotus* sp. 1种。

3 结论与讨论

杀虫剂冠层喷雾法在国外是调查和估计森林高大乔木冠层节肢动物密度和物种多样性的首选方法^[24]。由加拿大研究人员 Martin 在

1961年首次使用, 10年后才为人们广泛接受^[29]。在基于地面的树冠层冠层喷雾法和接近树冠层的冠层喷雾法的大量研究报道, 都是针对高大乔木, 尤其是热带雨林中高大乔木昆虫多样性研究的^[26~34]。目前我国尚未见关于杀虫剂喷雾法研究森林冠层节肢动物多样性的报道。关于低矮灌木昆虫群落及其多样性使用冠层喷雾法未见报道。四合木为高度一般在30~50 m的小灌木, 枝条坚硬, 灌丛紧实密集。每棵基部独立, 植株间一般有较大距离。使用套袋剪枝法不利于收集活动力更强的物种; 使用捕虫网扫描又难以收集栖息在灌丛中的昆虫。经过对比试验作者采用的灌层喷雾法结合病枝解剖的方法用于研究荒漠灌木昆虫群落及多样性研究, 效果十分理想。荒漠地域广阔, 植被稀疏, 取样的植株可忽略不计, 杀虫剂喷雾法不会对环境造成污染。该方法适用于荒漠地区多种灌木上昆虫群落的研究。

同翅目昆虫为数量上的绝对优势目, 可能与以下原因有关。第一, 四合木虽是强旱生灌木, 但叶厚, 叶肉多汁, 与其他旱生植物相比, 表皮细胞的角质层较薄, 更接近于中生叶, 细胞内具液泡或充满黏液^[2]; 在干旱地区, 不仅可以使小型同翅目昆虫通过刺吸植物的汁液满足营养的需要, 更能够满足其对水分的需要。第二, 同翅目昆虫是以小型叶蝉为优势, 其生活史短, 发育快, 1年可发生1至多代, 多者可达10几代, 行两性生殖, 多以卵或成虫越冬, 但在合适的气候条件下可以继续发育, 而无真正的休眠期^[17]。第三, 四合木生长期长, 在霜冻之后叶片也不易脱落, 仍能保持饱满多汁状态, 可为这些昆虫在越冬前提供充足的食物来源。第四, 四合木的氨基酸含量为中等水平, 与玉米、高粱基本相同, 有较高的营养价值, 其它微量元素也较丰富, 叶片中的营养物质水平高于枝条, 但四合木作为强旱生植物, 水势很低^[2], 这使得四合木汁液中的营养元素浓度高于一般植物。这种特点也是适于刺吸类昆虫的生存的。可见同翅目昆虫在与四合木的长期协同进化中是与这种古老孑遗植物特点相适应的。

寄生性天敌在群落中物种丰富度最大, 多样性也最高, 其中膜翅目的种类占了绝大多数, 尤其小蜂类最丰富。刘强等在研究四合木传粉昆虫时发现, 主要传粉昆虫火红拟孔蜂 *Hoplitis pyrrhosoma* 的寄生性天敌有10余种之多, 为害率达35%以上。另一种主要传粉昆虫沙漠石蜂 *Chalcidodoma desertorum* 的天敌危害也很严重, 寄生率高达50%以上^[2]。可见寄生性昆虫在昆虫群落中能够对寄主昆虫种群数量起到明显的控制作用。群落中虽寄生性天敌种类丰富, 但是大多数寄生性天敌昆虫与其寄主的对应关系现在还不明确, 需要进一步做大量的研究。

采集到的捕食性天敌种类和数量较少, 只有15种32只, 其中泥蜂4种11只。捕食者除上面表中列出的粉蛉和泥蜂外, 在群落中经常能看到的还有蚁蛉及食虫虻等一些数量较多的种类, 由于这些昆虫善飞行、活动能力强, 游动捕食, 随机取样很难采到这些种类的标本, 因此获得的标本数量少, 但在捕食者群落中的作用和地位不能低估, 尤其是荒漠地区。它们对群落结构的影响需做进一步的研究。

同翅目昆虫数量虽然很大, 但是由于其体型小和刺吸方式的危害, 且受天敌的控制作用, 因此对四合木未形成致命的危害。而天牛虽绝对数量少于同翅目, 但因为幼虫生活隐蔽, 天敌缺乏目前已对四合木形成致命的威胁。

参 考 文 献

- 1 中国植物研究所. 中国珍稀濒危植物. 北京: 科学出版社, 1989. 364~365.
- 2 杨持, 王迎春, 刘强, 等. 四合木保护生物学. 北京: 科学出版社, 2002. 1~150.
- 3 吕传钰, 刘强, 落巨福. 拟孔蜂巨柄啮小蜂生物学及温度对实验种群的影响. 动物学报, 2005. 51(增刊): 31~34.
- 4 胡霞, 刘强, 落巨福. 中华食蜂郭公虫的生物学特性和行为观察. 昆虫知识, 2008. 45(1): 58~61.
- 5 高雯芳, 贾长虹, 刘强. 四合木提取物对14种植物病原菌生物活性的研究. 天津师范大学学报(自然科学版), 2007. 27(1): 35~38.
- 6 刘兵, 高雯芳, 刘强. 四合木甲醇提取物中杀线虫物质的分离与活性鉴定. 天津师范大学学报(自然科学版).

- 2008 28(1): 12~14.
- 7 彭艳琼, 杨大荣, 王秋艳, 等. 木瓜榕上昆虫群落结构及分布特征. 昆虫学报, 2002 45(5): 629~635
 - 8 杨大荣, 彭艳琼, 王秋艳, 等. 热带雨林三种榕树隐头果昆虫群落结构与功能群生态特性. 生态学报, 2003 23(9): 1798~1805.
 - 9 张翌楠, 赵惠燕, 李鑫, 等. 苹果生长前期昆虫群落空间结构分析. 昆虫知识, 2002 39(5): 353~357
 - 10 师光禄, 张铁强, 刘素琪, 等. 间种牧草枣林刈草对树上昆虫群落结构及动态的影响. 生态学报, 2007 27(1): 97~102
 - 11 王有年, 张铁强, 李奕松, 等. 枣园节肢动物群落的时间动态. 生态学杂志, 2007 26(8): 1228~1232
 - 12 陈亦根, 熊锦君, 黄明度, 等. 茶园节肢动物类群多样性和稳定性研究. 应用生态学报, 2004 15(5): 875~878
 - 13 “中国生物多样性保护行动计划”总报告编写组. 中国生物多样性保护行动计划. 北京: 中国环境科学出版社, 1994. 67~68
 - 14 郑乐怡, 归鸿. 昆虫分类. 南京: 南京师范大学出版社, 1999.
 - 15 高兆宁. 宁夏农业昆虫图志. 北京: 中国农业出版社, 1998.
 - 16 萧采瑜. 中国蜡类昆虫鉴定手册. 北京: 科学出版社, 1977.
 - 17 张雅林. 中国叶蝉分类研究. 陕西杨凌: 天则出版社, 1990.
 - 18 能乃扎布. 内蒙古昆虫志. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 1988.
 - 19 任国栋, 于有志. 中国荒漠半荒漠的拟步甲科昆虫. 保定: 河北大学出版社, 1999.
 - 20 薛万琦, 赵建铭. 中国蝇类. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1996.
 - 21 郑哲民. 蝗虫分类学. 西安: 陕西师范大学出版社, 1993.
 - 22 丁岩钦. 昆虫数学生态学. 北京: 科学出版社, 1994. 426~475.
 - 23 徐建祥, 吴进才. 综论稻田生态系中性昆虫的意义及调控. 生态学杂志, 1999 18(5): 41~44.
 - 24 Basset Y., Springle N. D., Abernethy H. P., et al. In: Stork N. E., Adis J., Dillman R. K. (eds), Review of Methods in Tree Canopies: Canopy Arthropods. Chapman & Hall, London, 1997. 27~52
 - 25 孟庆繁. 森林冠层昆虫多样性研究方法. 昆虫知识, 2007 44(6): 815~820
 - 26 Basset Y. The arboreal fauna of the rainforest tree *Agave odontodon actinophyllum* as sampled with restricted canopy fogging: composition of the fauna. Entomologist, 1990 109(3): 173~183
 - 27 Basset Y. The taxonomic composition of the arthropod fauna associated with an Australian rainforest tree. Aust. J. Zool., 1991 39(2): 171~190
 - 28 Guilbert E., Chazeau J., Laubogne L. D. Canopy arthropod diversity of New Caledonian forests sampled by fogging: preliminary results. Mem. Queensl. Mus., 1994 36(1): 77~85
 - 29 Guilbert E., Baylac M., Najt J. Canopy arthropod diversity in a new Caledonian primary forest sampled by fogging. Pacif. Entomol., 1995 71(1): 3~12
 - 30 Majer J. D., Recher H. F., Postle A. C. Comparison of arthropod species richness in eastern and western Australian canopies: a contribution to the species number debate. Mem. Queensl. Mus., 1994 36: 121~131
 - 31 Ozanne C. M. P. The arthropod communities of coniferous forest trees. Selbyana, 1996 17(1): 43~49
 - 32 Ozanne C. M. P. A comparison of the canopy arthropod communities of coniferous and broadleaved trees in the United Kingdom. Selbyana, 1999 20(2): 290~298
 - 33 Southwood T. R. E., Moran V. C., Kennedy C. E. J. The richness, abundance and biomass of the arthropod communities on trees. J. Anim. Ecol., 1982 51(2): 635~647
 - 34 Watanabe H. Estimation of arboreal and terrestrial arthropod densities in the forest canopy as measured by insecticide smoking. In: Stork N. E., Adis J., Dillman R. K. (eds), Canopy Arthropods. Chapman & Hall, London, 1997. 401~414