昆明树木园枯枝落叶层无脊椎动物群落多样性*

王婧 聂晶 张立敏 谢永辉 李正跃1.3 张宏瑞1.3***

(¹云南农业大学植物保护学院,昆明 650201; ²云南农业大学基础与信息工程学院,昆明 650201; ³云南农业大学农业生物 多样性与病虫害控制教育部重点实验室,昆明 650201)

摘 要 为了解昆明树木园枯枝落叶层无脊椎动物群落结构及特征,于2010年5月—2011年9对昆明树木园中香樟(Cinnamomum camphora)、圆柏(Sabina chinensis)、玉兰(Magnolia denudata)、云南松(Pinus yunnanensis)、红枫(Acer palmatum cv. Atropuceum)共5个树种的枯枝落叶层无脊椎动物进行采样调查。共采获无脊椎动物25237头,隶属于2门5纲18目15科,其中蜱螨目和弹尾目为优势类群;缨翅目、伪蝎目、半翅目和革翅目为常见类群。采用Shannon多样性指数、Pielou均匀度指数和Simpson优势度指数来衡量5个树种的枯枝落叶层无脊椎动物多样性,结果表明:5个树种的枯枝落叶层中无脊椎动物群落物种组成相似,群落中时空异质性较低;5个树种的枯枝落叶层中共采集菌食性蓟马375头,隶属1科、3属、4种,其中,奇管蓟马属(Allothrips)为云南新纪录属,同时也是昆明树木园菌食性蓟马群落中的绝对优势类群。

关键词 树木园; 枯枝落叶层; 无脊椎动物; 生物多样性; 对角线采样法; 菌食性蓟马中图分类号 Q958.1 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2012)12-3144-06

Diversity of invertebrate community in leaf litters of Kunming Arboretum, Yunnan Province of Southwest China. WANG Jing¹, NIE Jing¹, ZHANG Li-min², XIE Yong-hui¹, LI Zheng-yue^{1,3}, ZHANG Hong-rui^{1,3**} (¹College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; ²College of Basic Science and Information Engineering, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; ³Ministry of Education Key Laboratory of Agriculture Biodiversity for Plant Disease Management, Kunming 650201, China). Chinese Journal of Ecology, 2012, **31**(12): 3144–3149.

Abstract: An investigation was conducted on the invertebrates in leaf litters under five tree species (Cinnamomum camphora, Sabina chinensis, Magnolia denudata, Pinus yunnanensis, and Acer palmatum cv. Atropuceum) in Kunming Arboretum from May 2010 to September 2011, aimed to understand the community structure and characteristics of the invertebrate assemblages in the leaf litters of the five tree species. A total of 25237 invertebrate individuals belonging to 15 families of 18 orders in 5 classes under 2 phyla were collected, among which, Acarina and Collembola were the dominant groups, while Thysanoptera, Pseudoscorpionidea, Hemiptera, and Dermaptera were the common groups. Shannon diversity index, Pielou evenness index, and Simpson dominance index were used to compare the diversity of the invertebrate assemblages. A similar species composition of the invertebrate assemblages was observed in the leaf litters of the five tree species, and the spatiotemporal heterogeneity of the assemblages was small. In the leaf litters of the five tree species, a total of 375 adult fungus-feeding thrips were collected, belonging to 4 species, 3 genera, and 1 family, in which, Allothrips was the dominant fungus-feeding thrips group, and also, a newly recorded genus for Yunnan Province.

Key words: arboretum; leaf litter; invertebrate; biodiversity; diagonal sampling; fungus-feeding thrips.

^{*}云南省教育厅科学研究基金项目(2012Z028, 2012J078)、云南农业大学农业入侵生物可持续控制研究省创新团队项目(2011HC005)、农业部公益性行业科研专项(201103036, 200803025)和云南农业大学本科生科技创新基金项目(ZC201009)资助。

^{* *} 通讯作者 E-mail: hongruizh@126.com

城市环境恶化,人口集中,建筑物密集,城市热 岛效应明显,这些问题严重影响了城市的发展进程 (黄良美等,2011)。城市森林作为城市绿色空间的 一部分,具有重要的生态功能、经济效益和景观美化 作用(李锋和王如松,2004),其生态效益和社会效 益也日益被人们所重视(Alvey,2006)。城市森林包 括城区和郊区对城市环境及发展产生显著效应的所 有植被区(何兴元等,2002)。枯枝落叶层作为森林 生态系统中重要的组成部分,是森林生态系统营养 物质循环的一个重要的环节,对森林资源的保护和 持续利用、涵养水源和水土保持均具有重要意义 (刘强和彭少麟,2010)。枯枝落叶层中生存的生物 对地表生物群落的结构和功能有着重要影响(Wardle et al., 2004), 无脊椎动物是森林土壤生态系统 中的重要组成部分,与土壤微生物和植物根系等构 成了地下生物群落,其活动对土壤的物质循环和能 量转化有着重要作用(李志安等,2004;苏永春等, 2004)。无脊椎动物对环境变化较敏感,特别是与 气候相关,不同地区相同季节动物群落结构会有不 同的变化(Anu et al., 2009),被视为有效的监测生 态系统环境变化的潜在指示生物(朱永恒等, 2005)。昆明树木园位于昆明市北郊,既是云南省 珍稀濒危树种调查和保护基地,也是对市民开放的 林园。通过调查昆明树木园枯枝落叶层无脊椎动物 的类群与数量组成,可以了解北亚热带气候下森林 枯枝落叶层无脊椎动物群落结构特征及其变化,为 进一步研究森林枯枝落叶层中生物的存在对森林的 影响及枯枝落叶层中生物多样性提供科学依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 样地概况

昆明树木园(25°01′N,102°41′E)位于云南省昆明市北郊,属典型的亚热带气候。海拔1900~2150 m,年均气温14.8℃,年降水量900~1000 mm,年均相对湿度72%,干、湿季节明显,全年无霜期年均在240 d以上。全年晴天较多,日照数年均2445.6 h,日照率56%。终年太阳投射角度大,年均总辐射量约5.43×10 5 kJ·m $^{-2}$,其中雨季2.63×10 5 kJ·m $^{-2}$,干季2.8×10 5 kJ·m $^{-2}$,土壤为第三纪古红土和玄武岩发育的山地红壤,pH值5~5.5,较干燥贫瘠,有机质含量1%~2%。原生植被是麻栎(Quercus acutissima)、栓皮栎(Q. variabilis)、云南松(Pinus yunnanensis)为主的松栎混交林,沟箐部分有旱冬瓜

(Alnus nepalensis)、马桑(Coriaria sinica)、盐肤木(Rhus chinensis)等生长。树木园着重收集栽培滇中地区适生的珍稀濒危树种、木兰科树木、竹类,至2000年,共有林木900余种,其中珍稀树种80多种,木兰科树种100多种。

1.2 研究方法

- 1.2.1 取样 2010年5—9月和2011年3—9月对树木园香樟(Cinnamomum camphora)、圆柏(Sabina chinensis)、玉兰(Magnolia denudata)、云南松、红枫(Acer palmatum cv. Atropuceum)5个树种下的枯枝落叶层进行定期随机取样调查,每隔15d取一次样。5个树种种植区域海拔相近,都为单一林种,每个树种下枯枝落叶层的样方选取大小为15m×15m,按对角线法每个样方取5个点,每个样点面积为0.5m×0.5m。采集的样品装入自封袋中,标记并带回实验室。限于条件,本研究未收集小型湿生类群以及原生动物类群。
- 1.2.2 样品分离及标本制作 样品带回实验室后, 采用贝氏漏斗,用 50 W 白炽灯烘烤 48 h,无脊椎动物掉人漏斗下端盛有 75% 酒精的收集瓶中。对收集到的标本进行分类鉴定和统计,蓟马制作玻片标本(张宏瑞等,2006),并进行鉴定。
- 1.3 枯枝落叶层无脊椎动物群落多样性分析

枯枝落叶层中无脊椎动物的相对多度按各类群的捕获量占捕获总量的百分比来划分,占 10%以上为优势类群,1%~10%为常见类群,<1%为稀有类群(王军等,2008a)。

无脊椎动物群落结构特征采用下列公式计算,用 R(2.14.1)进行数据分析。

1)物种相对多度

$$P'_{i} = n_{i}/N \qquad (i = 1, 2, \dots S)$$

式中: P'_i 为类群 i 物种相对多度; n_i 为类群 i 物种多度;S 为一定时空范围内群落中物种类群数;N 为一定时空范围内的个体总数, $N = \sum_{i=1}^{S} n_i$ 。

2) Bray-Curtis 非相似性指数(Bray & Curtis, 1957)

自然界中,群落的空间格局及其变化过程是生态学的基础研究之一,目前通常采用群落在不同生境内物种组成间的相似性或非相似性作为物种组成空间格局变化的重要指标。本研究选用 Bray-Curtis 非相似性指数(Bray-Curtis 非相似性指数=1-Bray-Curtis 相似性指数)作为评价指标。

$$d_{jk} = \frac{A + B - 2J}{A + B}$$

式中: $A = \sum_{i=1}^{N} x_{ij}$; $B = \sum_{i=1}^{N} x_{ik}$; $J = \sum_{i=1}^{N} \min(x_{ij}, x_{ik})$,i为群落中的某一个类群, $i = 1, 2, \dots N$;j,k分别为不同生境; $x_{i,j}$ 为类群i在生境j中的个体数, $x_{i,k}$ 为类群i

3)基于非相似性指数的复合多元方差分析 Adonis检验

Adonis 检验用于分离不同生境间非相似性指数 间的差异,并检验差异显著性。

4) Simpson 优势度指数(Simpson, 1949)

$$C = \sum P_i^2$$

5) Shannon 多样性指数

$$H = -\sum_{i} P_{i} \ln P_{i}$$

式中: $P_i = n_i/N$; n_i 为每个类群的个体数;N 为总个体数。

6) Pielou 均匀度指数(廖崇惠和陈茂乾,1990; 廖崇惠等,1997)

 $E = H/\ln s$

式中:H为 Shannon 多样性指数;s 为物种丰富度。

2 结果与分析

2.1 树木园枯枝落叶层无脊椎动物群落类群和数量组成

从表1可见,共捕获无脊椎动物25237 头,分别隶属于2门5纲18目15科。其中,蜱螨目个体数占捕获总量的比例最大,占49.7%,弹尾目占39.6%,这2个目为该地区枯枝落叶层中无脊椎动物的优势类群;常见类群为缨翅目管蓟马科、伪蝎目、半翅目扁蝽科和革翅目蠼螋科,分别占总数的1.8%、1.3%、1.2%和1.0%。优势类群和常见类群的个体数占捕获总数的94.6%,为该地区枯枝落叶层无脊椎动物的基本组成部分;其余各类群为稀有类群,累计占总捕获量的5.4%,但该类群种类丰富,占种类总数的76.9%,因此常见类群和稀有类群均与土壤动物的多样性有关。

2.2 群落平均密度、相对多度和频度

从表 2 可以看出,蜱螨目和弹尾目的平均密度最大,占全年总和的比值(相对多度)最高。在 19 个类群中,蜱螨目、弹尾目、革翅目、鞘翅目、缨翅目的 频度均为100%,说明这5个类群每次采样均有

表 1 昆明树木园 5 个树种下枯枝落叶层中无脊椎动物类群与数量(头)

Table 1 Composition of taxa and individuals of invertebrates in leaf litter under five species of trees in Kunming Arboretum

| | 圆柏 | 玉兰 | 云南松 | 红枫 | 香樟 |
|-----------------------------|------|------|------|------|----------------|
| 环节动物门 Annelida | | | | | |
| 寡毛纲 Oligochaeta | | | | | |
| 小蚓类 Microdrile | 3 | 3 | 2 | 2 | 5 |
| 节肢动物门 Arthropoda | | | | | |
| 蛛形纲 Arachnida | | | | | |
| 伪蝎目 Pseudoscorpionidea | 18 | 22 | 49 | 45 | 53 |
| 蜘蛛目 Araneae | 26 | 31 | 23 | 22 | 13 |
| 蜱螨目 Acarina | 2276 | 1272 | 1701 | 1702 | 1079 |
| 等足目 Isopoda | 22.0 | 12/2 | 1,01 | 1702 | 1077 |
| 鼠妇科 Porcellionidae | 9 | 12 | 19 | 12 | 11 |
| 倍足纲 Diplopoda | | | | | •• |
| 带马陆目 Polydesmida | 10 | 12 | 13 | 8 | 8 |
| 唇足纲 Chilopoda | 10 | | 10 | Ü | Ü |
| 蜈蚣目 Scolopendromorpha | 3 | 5 | 5 | 10 | 9 |
| 昆虫纲 Insecta | | | · | 10 | |
| 弹尾目 Collembola | 1407 | 1063 | 1261 | 1317 | 1125 |
| 双尾目 Diplura | 8 | 11 | 3 | 10 | 13 |
| 革翅目 Dermaptera | · · | •• | | 10 | 10 |
| 蠼螋科 Labiduridae | 28 | 30 | 18 | 41 | 29 |
| 等翅目 Isoptera | | 20 | 10 | | |
| 白蚁科 Termitidae | 32 | 32 | 32 | 27 | 17 |
| 膜翅目 Hymenoptera | 32 | J-2 | J-2 | | 1, |
| 蚁科 Formicidae | 32 | 8 | 35 | 12 | 32 |
| 缨小蜂科 Cynipidae | 2 | 4 | 5 | 16 | 2 |
| 啮虫目 Psocoptera | 25 | 19 | 23 | 27 | 3 |
| 蜚蠊目 Blattodea | -20 | • / | -20 | | |
| 蜚蠊科 Blattellidae | 13 | 6 | 9 | 13 | 6 |
| 双翅目 Diptera | 13 | Ü | | 15 | o |
| 瘿蚊科 Cecidomyiidae | 1 | 4 | 3 | 1 | 3 |
| 水虻科 Stratiomyidae | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| 鞘翅目 Coleoptera | · · | Ü | O | - | · · |
| 隐翅虫科 Staphylinidae | 29 | 29 | 16 | 19 | 2 |
| 鰓金龟科 Melolonthidae | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 |
| 粪金龟科 Geotrupidae | 0 | 5 | 0 | 2 | 3 |
| 谷盗科 Ostomatidae | 1 | 10 | 0 | 0 | 0 |
| 蚁甲科 Pselaphidae | 21 | 13 | 15 | 14 | 6 |
| 鳞翅目 Lepidoptera | 6 | 0 | 4 | 0 | 2 |
| 半翅目 Hemiptera | Ü | Ü | 7 | Ü | _ |
| 一角 Hemplera 扁蝽科 Aradidae | 4 | 6 | 17 | 25 | 2 |
| 缨翅目 Thysanoptera | 7 | U | 1/ | 43 | 4 |
| 等蓟马科 Phlaeothripidae | 47 | 64 | 83 | 68 | 34 |
| 百四一/ Timacoumpidae | +/ | 04 | 0.5 | 00 | J + |

采集。从各主要类群在 2010 年的相对多度变化得出(表 2),蜱螨目在各月份均为优势类群,相对多度 36%~60%。弹尾目在 7、8 和 10 月为常见类群,即相对多度<10%,在其他月份均为优势类群,其相对多度 3.2%~56.0%。缨翅目相对多度为 0.06%~3.0%,为常见类群。从各主要类群在2011年的相

表 2 昆明树木园 5 个树种枯枝落叶层无脊椎动物各类群 的平均密度、相对多度和频度

Table 2 Density, relative abundance, frequency of invertebrate in leaf litter under five species of trees in Kunming Arboretum

| 类群 | 平均密度(头·m ⁻²) | 相对多度 | 频度(%) |
|------------------------|--------------------------|------|-------|
| 小蚓类 | 1. 03±1. 80 | + | 58. 8 |
| 伪蝎目 Pseudoscorpionidea | 10.58±19.24 | ++ | 76. 5 |
| 蜘蛛目 Araneae | 6. 09±2. 41 | + | 88. 2 |
| 蜱螨目 Acarina | 421. 64±73. 64 | +++ | 100 |
| 等足目 Isopoda | 3.96±7.73 | + | 88. 2 |
| 带马陆目 Polydesmida | 3. 03±1. 73 | + | 94. 1 |
| 弹尾目 Collembola | 336. 64±104. 94 | +++ | 100 |
| 蜈蚣目 Scolopendromorpha | 1. 68±2. 31 | + | 82.4 |
| 双尾目 Diplura | 2. 21±7. 12 | + | 58.8 |
| 革翅目 Dermaptera | 8. 90±6. 55 | ++ | 100 |
| 等翅目 Isoptera | 6.09±3.32 | + | 88. 2 |
| 膜翅目 Hymenoptera | 8. 07±6. 06 | + | 82.4 |
| 啮虫目 Psocoptera | 5. 01±16. 11 | + | 64. 7 |
| 蜚蠊目 Blattodea | 2. 43±5. 74 | + | 64. 7 |
| 双翅目 Diptera | 1. 01±3. 24 | + | 47. 1 |
| 鞘翅目 Coleoptera | 11. 59±5. 29 | + | 100 |
| 鳞翅目(幼虫)Lepidoptera | 0.86±3.91 | + | 94. 1 |
| 半翅目 Hemiptera | 9.91±11.57 | ++ | 70.6 |
| 缨翅目 Thysanoptera | 15. 48±5. 64 | ++ | 100 |

平均密度为平均值±标准差;相对多度指各类群全年总和的比值,其中:+为稀有类群(<1%),++为常见类群(1%~10%),++为优势类群(>10%);频度为采样中,该类群被捕获次数的百分比,即被捕获次数/采样总次数。

对多度变化得出(表 2),蜱螨目在各月份均为优势类群,相对多度 29%~56%。弹尾目(Collembola)在7、8月为常见类群,即相对多度<10%,在其他月份均为优势类群,其相对多度为 2.8%~48.0%。缨翅目相对多度为 0.5%~9.0%,为常见类群。

- **2.3** 昆明树木园枯枝落叶层无脊椎动物群落物种 多样性
- **2.3.1** Bray-Curtis 非相似性指数 从表 3 可以看出,不同时空格局内群落不同类群组成间的 Bray-Curtis 平均非相似性指数为 0.1418,平均非相似性

系数均较低,表明不同年份及不同林分之间,各树种 下的枯枝落叶层无脊椎动物群落物种组成非常 相似。

- 2.3.2 Adnois 检验 由表 4 可知,无论是不同年份 间,还是不同生境(即不同树种)间,无脊椎动物类 群组成间均无差异显著性,表明昆明树木园枯枝落 叶层无脊椎动物群落不同类群组成不具有显著的时 空异质性,物种组成结构较均匀。因此,选用基于随 机抽样的 α 多样性评价指标即 Shannon 多样性指数、Simpson 优势度指数和 Pielou 均匀度指数对昆明 树木园枯枝落叶层无脊椎动物群落多样性进行分析。
- 2.3.3 群落多样性 由表 5 可知,昆明树木园枯枝落叶层无脊椎动物群落在不同树种间,物种类群数、Simpson 优势度指数、Shannon 多样性指数和 Pielou均匀度指数都较为接近,这表明不同树种并不影响无脊椎动物群落的物种类群组成和多样性特征。云南松枯枝落叶层无脊椎动物群落的类群数较高,Simpson 指数和 Shannon 指数均最高(表 5)。

昆明树木园枯枝落叶层无脊椎动物群落物种类 群种类非常相近(表5),并且不同时空范围内物种 类群组成结果较为相似,群落中时空异质性较低,即 β多样性程度较低(表3,表4)。选用常用的 α 多 样性评价指标对不同林分物种类群进行综合分析后 知,不同林分间枯枝落叶层无脊椎动物群落的 Simpson 优势度指数、Shannon 多样性指数和 Pielou 均匀度指数均较为接近,多样性特征差别较小。

2.4 5个树种下枯枝落叶层的菌食性蓟马种类

菌食性蓟马是热带、亚热带地区森林枯枝落叶层中的常见类群,这类蓟马一般生活在潮湿的枯枝落叶层中,取食真菌孢子或者菌丝体(童晓立和张维球,1989),其种类和数量的变动通常可以反映森

表 3 不同树种无脊椎动物 Bray-Curtis 非相似性指数分析
Table 3 Bray-Curtis dissimilarity index matrix of invertebrate in leaf litter

| Table 5 | Table 5 Bray-Curus dissimilarity much matrix of invertebrate in lear fitter | | | | | | | | |
|---------|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 2010 香樟 | 2010 圆柏 | 2010 玉兰 | 2010 松树 | 2010 红枫 | 2011 香樟 | 2011 圆柏 | 2011 玉兰 | 2011 松树 |
| 2010 圆柏 | 0. 1763 | | | | | | | | |
| 2010 玉兰 | 0. 1893 | 0.0967 | | | | | | | |
| 2010 松树 | 0. 1659 | 0. 1302 | 0. 1765 | | | | | | |
| 2010 红枫 | 0. 1732 | 0. 1200 | 0.0981 | 0. 1462 | | | | | |
| 2011 香樟 | 0. 2113 | 0. 1442 | 0. 1625 | 0. 1664 | 0. 1365 | | | | |
| 2011 圆柏 | 0. 1650 | 0.0854 | 0.0793 | 0. 1665 | 0.0956 | 0. 1156 | | | |
| 2011 玉兰 | 0. 2151 | 0. 1224 | 0. 1359 | 0.0982 | 0. 1106 | 0. 1246 | 0. 1149 | | |
| 2011 松树 | 0. 1738 | 0.0742 | 0.0807 | 0. 1747 | 0.0966 | 0. 1081 | 0.0704 | 0. 1316 | |
| 2011 红枫 | 0. 2092 | 0. 1632 | 0. 1323 | 0. 2068 | 0. 1587 | 0. 2170 | 0. 1328 | 0. 1817 | 0. 1469 |

表 4 基于 Bray-Curtis 的 Adnois 检验方差分析 Table 4 ANOVA test of the Bray distance matrix Adnois

| | 自由度 | 平方和 | 均方 | F | R^2 | P |
|----|-----|--------|-------|--------|--------|--------|
| 年份 | 1 | 0. 013 | 0.013 | 1. 066 | 0. 136 | 0. 470 |
| 生境 | 4 | 0.035 | 0.009 | 0. 697 | 0. 355 | 0.870 |
| 残差 | 4 | 0.050 | 0.012 | | 0. 509 | |
| 总合 | 9 | 0.098 | | | 1.000 | |

表 5 昆明树木园枯枝落叶层无脊椎动物群落多样性比较 Table 5 Comparison of diversity indices of invertebrates in leaf litter under five species of trees in the Kunming Arboretum

| 树种 | 物种类 群数 | Simpson 优势度指数 | Shannon 多样性指数 | Pielou 均匀度指数 |
|-----|-----------|------------------|------------------|-----------------|
| 香樟 | 19 | 0. 6190 | 1. 2795 | 0. 4427 |
| 圆柏 | 19 | 0. 5651 | 1. 0947 | 0. 3718 |
| 玉兰 | 18 | 0.6078 | 1. 2699 | 0. 4394 |
| 云南松 | 19 | 0. 6195 | 1. 3101 | 0. 4449 |
| 红枫 | 18 | 0. 5819 | 1. 2287 | 0. 4251 |

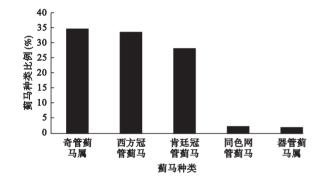


图 1 昆明树木园枯枝落叶层蓟马种类比例 Fig. 1 Ratio of the thrips species collected from the leaf litter in Kunming Arboretum

林环境的变化(Mound,1977)。本次研究在昆明树木园 5 个树种下枯枝落叶层中共采获菌食性蓟马375 头,隶属 1 科、3 属、5 种(图 1),即管蓟马科、奇管蓟马属(Allothrips)未定种(Allothrips sp.)、冠管蓟马属(Stephanothrips)的西方冠管蓟马(S. occidentalis)和肯廷冠管蓟马(S. kentingensis)、网管蓟马属(Apelaunothrips)的同色网管蓟马(A. consimilis)和器管蓟马属(Hoplothrips)未定种(Hoplothrips sp.),各种头数分别是74头、72头、60头、5头和4头。其中,若虫有160头。

所鉴定种类中奇管蓟马属 Allothrips 未知种为 云南新纪录属,同时也是昆明树木园菌食性蓟马的 优势类群。

3 讨论

土壤枯枝落叶层无脊椎动物的变化,易受到环 境条件的影响,尤其是受到光照、降水、土壤类型等 因素制约(尹文英,1992)。本研究采集了 2010 年 5-9 月和 2011 年 3-9 月的样品,由于未采集 2010 年10月-2011年2月的样品,未能做出季节性探 究。而2010年初云南遭遇旱灾,降雨量均较少,枯 枝落叶层中无脊椎动物在类群组成的变化上没有显 著的旱季和雨季之分。枯枝落叶层无脊椎动物主要 类群在相对多度、平均密度和多样性指数等特征随 着气候变化而变化。例如,蜱螨目的密度高峰期出 现在5-8月,弹尾目的密度高峰出现在3-6月,7 月开始回落.9月密度又开始增长.与广东长岗山森 林凋落物土壤动物群落调查的结果相似(王军等, 2008b)。在此次调查中,5个树种下的枯枝落叶层 无脊椎动物中弹尾目和蜱螨目多为食腐植质和菌类 等,常见类群缨翅目也为菌食性,这些菌食性无脊椎 动物促进了有机质残余物的生物降解和腐殖化,少 数类群如伪蝎目,革翅目为捕食性,可以捕食性无脊 椎动物如弹尾目和螨类等(尹文英,1992),捕食性 类群数量远小于腐食性和菌食性类群数量,其他食 性类群数量极小。森林枯枝落叶层蕴藏着丰富的动 物类群,数量重大,与森林状况有着密切的关系,在 进行植物枯枝落叶层研究,森林建设管理及水土保 护研究中均应考虑。

树木园中5个树种下的枯枝落叶层中无脊椎动 物生物多样性指数表明,在气候及降雨相同,不同树 种枯枝落叶层中,无脊椎动物群落物种类群非常相 近,多样性特征差别较小,且群落中时空异质性较 低。在讨论物种多样性时, Simpson 优势度指数和 Shannon 多样性指数是目前最为常用和简洁的多样 性评价指标,由于这2个常用指数均基于统计学随 机抽样理论,故研究者在使用这2个指标时通常假 设或默认通过完全随机抽样从目标群落中获取样 本。但当目标群落中物种组成存在时空异质性,随 机抽样假设就不能成立。因此,本研究首先根据昆 明树木园枯枝落叶层的林分分布特点,以树种将群 落划分为5个生境类型,以调查时间划分为2个调 查时间周期;其次,利用 Bray-Curtis 平均非相似性指 数检验不同时间周期/不同生境类型间,无脊椎动物 群落物种组成间是否存在时空异质性;最后,因昆明 树木园枯枝落叶层无脊椎动物群落不存在显著性时 空异质性,选用 Simpson 优势度指数、Shannon 多样性指数和 Pielou 均匀度对比昆明树木园枯枝落叶层无脊椎动物群落不同物种类群间多样性特征,准确得出多样性特征差别较小这一结论。

缨翅目昆虫在关于土壤动物群落的报道中常常 被视为稀有类群,其个体数占土壤动物个体总数一 般不会超过1%(尹文英,2000)。在土壤中发现的 缨翅目大多数属于管蓟马科的菌食性蓟马,偶尔也 会发现一些在土中越冬或化蛹的蓟马科种类。近年 发现,菌食性蓟马是热带、亚热带地区森林枯枝落叶 层中的常见类群(李志伟等,2004),有数据显示:在 广东石门台的4种不同林分中,蓟马个体数占枯枝 落叶层无脊椎动物总数的 4.3% ~13.5% (李志伟 等,2004):本研究中,菌食性蓟马的个体数占土壤 动物个体总数的 1.6%, 采到的菌食性蓟马数量与 广东石门台地区采到的相比偏低,可能的原因是石 门台地处南亚热带和中亚热带之间的过渡地带,海 拔较低,地貌和气候都较复杂,而昆明市属于北亚热 带气候,且树木园海拔较高,温度、降水、土壤湿度等 条件与广东石门台相比较不适宜菌食性蓟马生存。 因此,也可进一步研究利用枯枝落叶层菌食性蓟马 的种类和数量变动来监测生态环境。

致 谢 澳大利亚联邦科学与工艺研究组织 Laurence A. Mound 博士和昆士兰科技大学 Lixin Eow 博士研究生帮助修改英文摘要,在此致以衷心感谢!

参考文献

- 何兴元,金莹杉,朱文泉,等. 2002. 城市森林生态学的基本理论与研究方法. 应用生态学报, **12**(12): 1679-1683.
- 黄良美, 邓超冰, 黎 宁. 2011. 城市热岛效应热点问题研究进展. 气象与环境学报, **27**(4): 54-58.
- 李 锋, 王如松. 2004. 城市绿色空间生态服务功能研究进展. 应用生态学报, **15**(3): 527-531.
- 李志安, 邹 碧, 丁永祯, 等. 2004. 森林凋落物分解重要影响因子及其研究进展. 生态学杂志, 23(6):77-83.
- 李志伟, 童晓立, 张维球, 等. 2004. 广东石门台自然保护 区森林土壤无脊椎动物群落多样性. 华南农业大学学 报, **1**(1): 80-85.

- 廖崇惠, 陈茂乾. 1990. 热带人工林土壤动物群落的次生演替和发展过程研究. 应用生态学报, **1**(1):53-59.
- 廖崇惠, 李健雄, 黄海涛. 1997. 南亚热带森林土壤动物群落多样性研究. 生态学报, **17**(5): 549-555.
- 刘 强,彭少麟. 2010. 植物凋落物生态学. 北京: 科学出版社.
- 苏永春, 勾影波, 郁 达, 等. 2004. 江苏常熟虞山土壤动物群落多样性研究. 生物多样性, **12**(3): 333-338.
- 童晓立, 张维球. 1989. 中国管蓟马亚科(Phlaeothripinae)菌食性蓟马种类简记. 华南农业大学学报, **10**(3): 58-66
- 王 军,廖庆生,丁伟民,等. 2008a. 粤东地区速生桉树林 与天然林枯枝落叶层无脊椎动物多样性比较. 应用生 态学报, **19**: 25-31.
- 王 军,姚海元,麦俊伟,等. 2008b. 广东长岗山森林凋落 物土壤动物群落结构及季节变化. 生态学杂志, 27 (3):408-413.
- 尹文英. 1992. 中国亚热带土壤动物. 北京: 科学出版社. 尹文英. 2000. 中国土壤动物. 北京: 科学出版社.
- 张宏瑞, Okajima S, Mound LA. 2006. 蓟马采集和玻片标本的制作. 昆虫知识, **43**(5): 725-728.
- 朱永恒, 赵春雨, 王宗英, 等. 2005. 我国土壤动物群落生态学研究综述. 生态学杂志, **24**(12): 1477-1481.
- Alvey AA. 2006. Promoting and preserving biodiversity in the urban forest. *Urban Forestry & Urban Greening*, **5**: 195 201.
- Anu A, Sabu TK, Vineeshc PJ. 2009. Seasonality of litter insects and relationship with rainfall in a wet evergreen forest in south Western Ghats. *Journal of Insect Science*, 9: 1–10.
- Bray JR, Curtis JT. 1957. An ordination of upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, **27**: 326-349.
- Mound LA. 1977. Species diversity and the systematics of some New World leaf-litter Thysanoptera (Phlaeothripinae: Glyptothripini). *Systematic Entomology*, **2**: 225–244.
- Simpson EH. 1949. Measurement of diversity. *Nature*, **163**: 688
- Wardle DA, Bardgett RD, Klironomos JN, et al. 2004. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. Science, 304: 1629–1633.

作者简介 王 婧,女,1990年生,主要从事植物保护方面的研究。E-mail: orz_mayday@ sina. com 责任编辑 刘丽娟