

鹤山丘陵退化生态系统植被恢复的土壤动物群落结构

徐国良^{1,2}, 周国逸^{1*}, 莫江明¹, 周小勇¹, 彭闪江¹

(1. 中国科学院华南植物园鼎湖山森林生态系统定位研究站, 广东肇庆鼎湖 526070; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:对南亚热带恢复生态学研究基地-鹤山丘陵综合试验场 20a 人工植被林土壤动物群落进行了调查研究。研究样地包括草坡、松林、荷木混交林、马占相思林和豆科混交林。结果表明:在个体数量上,豆混林与马占林之间不存在显著差异,但与其它林分间差异明显($p < 0.05$);草坡土壤动物个体数明显处于最低水平;在类群的丰富度上,豆混林显著($p < 0.05$)高于所有其它林分,但无论是林分之间抑或季节之间,其变化的幅度都明显比个体数小;根据 DG 指数,各人工林可明显分为豆混林(I)、马占林(II)和荷混林(III)、针叶林(III)、草坡(III)3 个层次。季节的差异很明显,湿季各项指标都低于干季。土壤表层各项指标的绝对值都与 F2、F3 层有极显著的差别($p < 0.01$),而 F2、F3 层之间却非常接近。长角跳虫科、鳞跳虫科、蚁科、康虫八科、蟹蛛科、巨蟹蛛科、球蛛科、鞘翅幼虫和半翅幼虫与群落总体特征(DG 指数)的相关性都达到显著水准($p < 0.05$)。DG 指数在反映不同人工林土壤动物群落特征上具有很好的稳定性。

关键词:鹤山; 人工林; 恢复; 土壤动物

文章编号:1000-0933(2005)07-1670-08 **中图分类号:**Q958.15 **文献标识码:**A

The responses of soil fauna composition to forest restoration in Heshan

XU Guo-Liang^{1,2}, ZHOU Guo-Yi^{1*}, MO Jiang-Ming¹, ZHOU Xiao-Yong¹, PENG Shan-Jiang¹ (1. Dinghushan Forest Ecosystem Research Station, South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Zhaoqing 526070, China; 2. The Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(7): 1670~1677.

Abstract: Soil fauna communities were studied in various 20 year-old regenerated vegetation types at the Heshan Research Station. There was no significant difference in fauna individual number between the mixed Acacia forest and *Acacia mangium* forest. However, there was significant difference in fauna individual number between these two forests and the grassland, pine and mixed *Schima superba* forest ($p < 0.05$). The lowest fauna individual number was found in grassland while mixed Acacia forest had the highest group abundance ($p < 0.05$). The variation in group abundance at various vegetation types or between wet and dry seasons was small compared to the changes in fauna individual number. Based on DG index these man-made vegetation types were classified into three categories: mixed Acacia forest (I), *Acacia mangium* forest (II), grassland (III), pine (III) and mixed *Schima superba* forest (III). Both the fauna individual number and group abundance were distinctively low during the wet season as compared to dry season. Soil fauna in F1 soil layer was significantly richer than in F2 and F3 layers ($p < 0.01$). Entomobryidae, Cyphoderidae, Formicidae, Campodeidae, Thomisidae, Heteropodidae, Leptonetidae, Coleoptera larvae, Himiptera larvae and Homoptera larvae were significantly correlated with changes of the whole soil fauna communities ($p < 0.05$). Our results showed that DG index truly reflects soil fauna community characteristics in various artificial vegetation

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30470306;30270283);中国科学院知识创新工程重要方向资助项目(KSCX2-SW-120);中国科学院华南植物研究所所长基金资助项目;广东省自然科学基金资助项目(021524)

收稿日期:2004-04-28; **修订日期:**2005-05-20

作者简介:徐国良(1975~),男,江西德兴人,博士生,从事森林生态系统土壤动物结构、功能及其与全球变化的关系研究。xugl75@126.com

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail:gyzhou@scib.ac.cn

Foundation item: the Innovation Priority Project of Chinese Academy of Sciences (No. KSCX2-SW-120), National Natural Science Foundation of China (No. 30270283), Field Frontiers Project of CAS Knowledge Innovation Program, Director Foundation of South China Institute of Botany, CAS, and Provincial Natural Science Foundation of Guangdong

Received date: 2004-04-28; **Accepted date:** 2005-05-20

Biography: XU Guo-Liang, Ph. D. candidate, mainly engaged in composition and function of soil fauna and its relations with global changes in forest ecosystems. E-mail: xugl75@126.com

types.

Key words: Heshan; man-made forest; restoration; soil fauna

退化生态系统的恢复包括其中各组分的演替变化。土壤动物作为森林生态系统的重要组分,也会对系统的恢复发生响应。目前,廖崇惠、李健雄等对热带人工林恢复过程中的土壤动物群落进行了研究,刘满强等在江西鹰潭退化红壤生态系统也开展了相似的工作^[1~3]。我国南亚热带是国内恢复生态学的一个重要研究基地,其工作主要集中在鹤山综合试验场。在此,已对各生态恢复试验植被群落的结构功能、生理生化、水文、气候等方面进行了大量而持续的调查研究^[4~16]。但是,关于土壤动物的恢复生态学,除廖崇惠等于试验场建立初期进行过报道外^[17~20],尚未有进一步的研究。

退化生态系统植被恢复过程中,生态系统的功能总伴随植被结构的发展而增强,出现明显的环境效应和生物效应^[21]。现在,距鹤山试验场进行恢复生态学研究而开始构建人工植被已有 20a 时间,各植被都得到了不同程度的发展,呈现出森林景观,植被改造和重建的模式选择效应也已初步显现。但这种效应在土壤动物群落上有何体现呢?土壤动物群落对该进程有何指示作用?本研究即对不同类型人工林的土壤动物群落进行调查研究,以为恢复生态学研究提供更多的土壤动物学依据。

1 研究背景与方法

1.1 样地背景

中国科学院鹤山丘陵开放综合试验站位于广东省中部的鹤山市,东经 112°54',北纬 22°41'。试验站所在地属南亚热带季风气候。年平均气温 21.7℃,极端最高温 37.5℃,极端最低温 0℃;年均太阳辐射 4350.5 MJ/(m²·a);年均大于等于 10℃有效积温为 7597℃,年均降雨量为 1800 mm,有明显的干、湿季之分:干季为 10 月到翌年 3 月份,湿季为 4 月到 9 月份;年均蒸发量为 1638.8 mm,丘陵地土壤为赤红壤(砖红壤性红壤)^[4]。

1.2 样地设置

在鹤山丘陵综合试验场 5 种人工植被内建立样地,分别是草坡、湿地松(*Pinus elliotii*)纯林(简称松林)、马占相思纯林(*Acacia mangium*) (简称马占林)、豆科混交林(简称豆混林)、以荷木(*Schima superba*)为主的乡土树种混交林(简称荷混林)。草坡代表仅保护而未经人为改造的处理,松林代表针叶树及纯林改造的效应,马占林代表固 N、阔叶先锋树种及纯林改造的效应,豆混林代表固 N、阔叶及混交改造的效应,荷混林代表以本地阳生阔叶树为主的中期演替阶段及混交效应。需要指出的是,以上的林分名称是沿用造林初期的称谓,实际上多年后各植被都经历了不同程度的演替发展。各样地植物组成情况如下:

I 草坡 在 1983 年刚设立永久样地时,草坡的主要植物是鹧鸪草(*Eriachne pallescens*)和岗松(*Baechea frutescens*) 2 种旱生性植物,现在虽无乔木层,但灌木层非常繁茂,几乎全部被桃金娘(*Rhodomyrtus tomentosa*)覆盖,岗松减少明显,野牡丹(*Melastoma candidum*)、山管兰(*Dianella ensifolia*)、芒萁(*Dicrano pteris linearis*)等种类消失,而野漆(*Rhus succedanea*)、三叉苦(*Evodia lepta*)、粗叶榕(*Ficus hirta*)、山藤子(*Embelia laeta*)、龙船花(*Ixora chinensis*)等种类入侵^[22]。

II 松林 林下仍似造林前以芒萁为主,其盖度达 90%以上,平均高度约为 10m,间有少量灌木,如梅叶冬青(*Ilex asprella*)、野牡丹(*Melastoma candidum*)等,乔木层只有湿地松^[8]。

III 马占林 1984 年在该地区荒坡上种植马占相思(*Acacia mangium*),现在,造林前草坡优势种如芒萁(*Dicrano pteris dichotoma*)、桃金娘(*Rhodomyrtus tomentosa*)等现已明显退化,出现了较复杂的林下植物种类,如山苍子(*Litsea cubeba*)、春花(*Rhopiopsis indica*)、野牡丹(*Melastoma candidum*)等^[5]。林分已形成乔、灌、草 3 层结构,灌木层盖度约 0.5,草本层盖度约 0.3,林地枯落物层厚 5~7cm^[6]。

IV 豆混林 主要树种为马占相思(*Acacia mangium*)和大叶相思(*Acacia auriculaeformis*),除此之外,还有少量的绢毛相思(*Acacia holosericea*)和台湾相思(*Acacia confuse*)等豆科植物^[7]。灌木层和草本层繁茂,其盖度分别为 57.75%和 67.89%,都明显高于除草坡以外的其它各植被^[12]。

V 荷混林 主要树种为荷木(*Schima superba*)和红荷(*S. wallichii*),另有少量其它乡土树种,如红锥(*Castanopsis hickelii*)、火力楠(*M. macclurei*)、黎朔(*C. fissa*)等^[19]。与造林前明显不同,由于树体长势整齐,林冠密实,林内透光差,林下灌木较少,几乎无草本层。

1.3 采样

1.3.1 采样时间 分别于 2003 年湿季期的 8 月和干季期的 11 月进行采样。

1.3.2 采样方法 在每个样地内随机选取 5 个点。在每一点上用直径 8.5cm 的采土器取 3 个样:F1 层(0~5cm)、F2 层(5~10cm)和 F3 层(10~15cm),每个样品由 5 次取样混和而成。这样,一个样地内共取得 15 个样品,每个取样季共得 75 个样品。样品立即带回实验室,用 Tullgren 漏斗收集其中的土壤动物。

1.4 鉴定、分析方法

标本除螨类外,其余各类都鉴定至科(总科)^[23,24]。采用 One-way-ANOVA 分析,计算和分析不同林分、季节和土层间土壤动物群落的差异,数据的差异显著性利用 Duncan 多重比较法实现,对单个林分不同季节间的比较采用 *t*-检验。所有统计在 SPSS11.5 软件上进行。

2 研究结果

2.1 个体数量

由图 1,各人工林土壤动物个体数量的排序是:豆混林>马占林>荷混林>针叶林>草坡。豆混林与马占林土壤动物个体数明显高于其它林分,草坡则最少。

湿季期(图 1),豆混、马占两林与荷混林、草坡之间存在显著差异($F=4.90$; $p<0.05$),而针叶、荷混两林与草坡之间无显著差异;干季期(图 1),豆混、马占林与其它 3 林分间都存在显著差异($F=39.32$; $p<0.05$),荷混林仅显著高于草坡($F=39.32$; $p<0.05$),针叶林与草坡处于最低水平。可见,豆混林与马占林土壤动物个体数明显为优。季节的差异很明显,从湿季到干季,豆混林上升了 184.59%,马占林上升了 163.30%,荷混林上升了 122.90%,针叶林上升了 39.81%,草坡上升了 66.80%。上升幅度的排序基本与其基数的排序一致;其中除针叶林外,其它林分的变化都达到了显著程度($p<0.05$)。土壤动物个体数量随季节作用发展空间在不同植被间差别较大,同时基数越大的群落变化幅度越大。

土壤表层动物个体数量与 F2、F3 层有极显著的差别($p<0.01$)(图 2),而 F2、F3 层之间却非常接近。同时,土壤表层动物个体数也随不同林分波动很大,而 F2、F3 层的变化幅度较小。在 F1 层,湿季期(图 2A),豆混、马占两林与荷混林、草坡间有显著差异($F=5.44$; $p<0.05$);针叶林、荷混林和草坡之间差异不显著;干季期(图 2B),土壤动物个体数量的分异特征更加明显,豆混林显著高于所有其它林分($F=20.78$; $p<0.05$),马占林也显著高于荷混林、针叶林和草坡($F=20.78$; $p<0.05$),而后三者之间则都不存在显著差异。这些特征皆与前面提到的总体特征一致。从湿季到干季,土壤动物的个体数的增长也主要体现在土壤表层。可见,不同人工林土壤动物个体数间的差别是由 F1 层决定的,而 F2、F3 层对总体特征的贡献则很小。

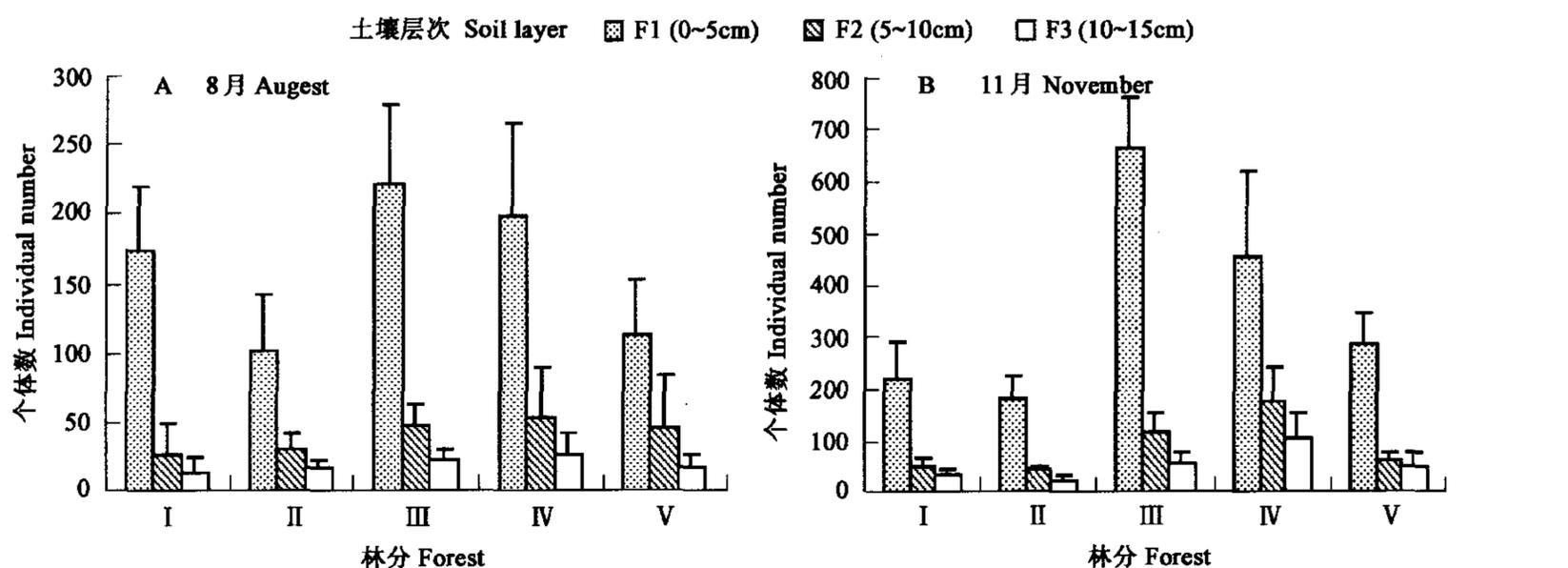


图 1 不同人工林内土壤动物的个体数量

Fig. 1 Individuals of soil fauna in different plantations

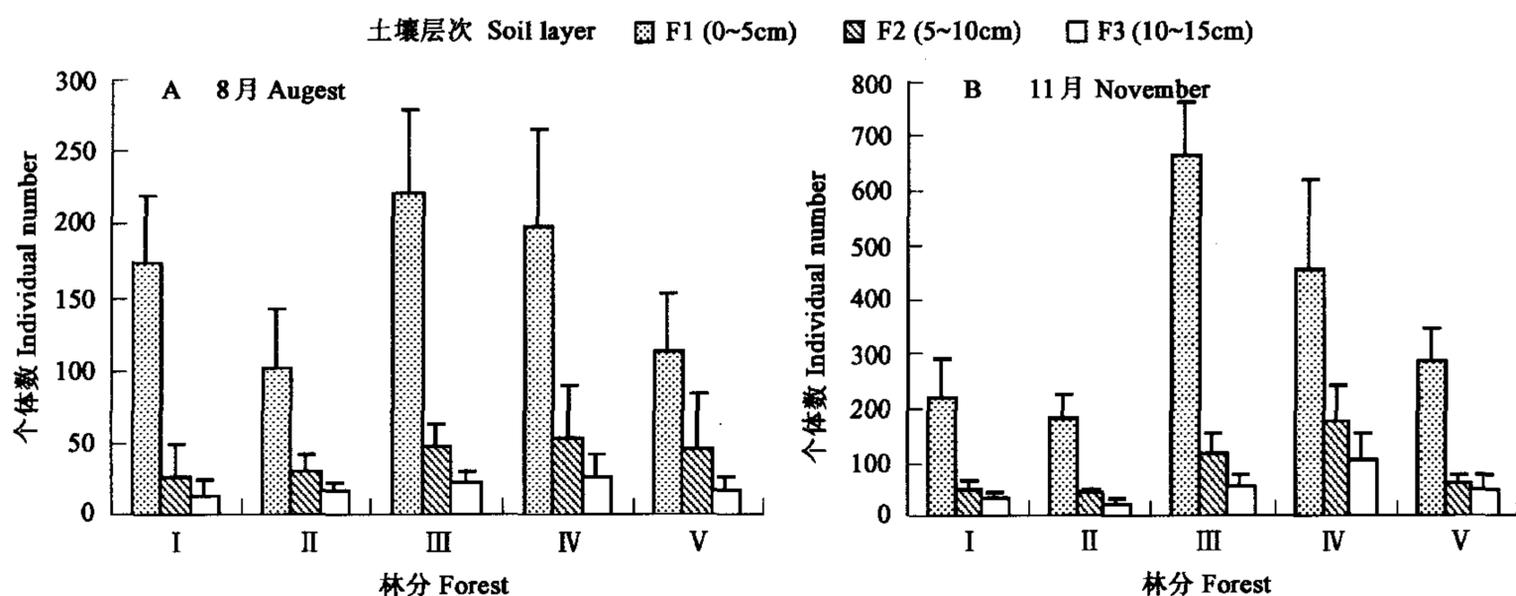


图 2 不同人工林土壤动物个体数量的垂直分布特征

Fig. 2 Vertical characteristics of soil fauna individuals in different plantations

I 松林 Pine; II 草坡 Greenland; III 豆混 Mixed acacia; IV 马占 A. mangium; V 荷混 Mixed schima

2.2 类群丰度

豆混林土壤动物类群数最丰富(图 3),其次为马占林,草坡具有最少的土壤动物类群。

在湿季(图 3),豆混林动物类群丰度显著($F=13.60$; $p<0.05$)高于所有其它林分,马占林与荷混林、针叶林、草坡三者之间也都存在显著差异($F=13.60$; $p<0.05$),后三者之间差异不显著;在干季(图 3),豆混林同样显著高于其它所有林分($F=$

10.58; $p < 0.05$), 马占林与草坡间有显著差异 ($F = 10.58$; $p < 0.05$), 荷混林、针叶林和草坡彼此间差异不显著。干季土壤动物类群更为丰富, 但对于各林分来说, 季节变化都未达到显著程度。可以看到, 与土壤动物个体数量的特征相比, 无论是林分之间抑或季节之间, 类群数的变化幅度都明显小。个体数是数量特征, 类群却是个质量概念, 所以在同一植被下, 类群的组成具有相对的稳定性, 而短期内土壤动物群落的季节变化主要来源于数量动力。

土壤表层动物类群丰度与 F2、F3 层有极显著的差别 ($p < 0.01$) (图 4), 后两者之间却非常接近。同时, 不同类型人工林之间土壤表层的动物类群丰度变化也较大, 而 F2、F3 层的变化幅度很小。在 F1 层, 湿季期 (图 4A), 豆混林的类群丰度显著高于其它所有林分 ($F = 13.75$; $p < 0.05$), 马占林只与荷混林有显著差异 ($F = 13.75$; $p < 0.05$), 针叶林、荷混林和草坡之间差异不显著; 干季期 (图 4B), 豆混林也都显著高于其它林分 ($F = 11.97$; $p < 0.05$), 马占林仅显著高于草坡 ($F = 11.97$; $p < 0.05$), 荷混林、针叶林与草坡之间差异不显著。

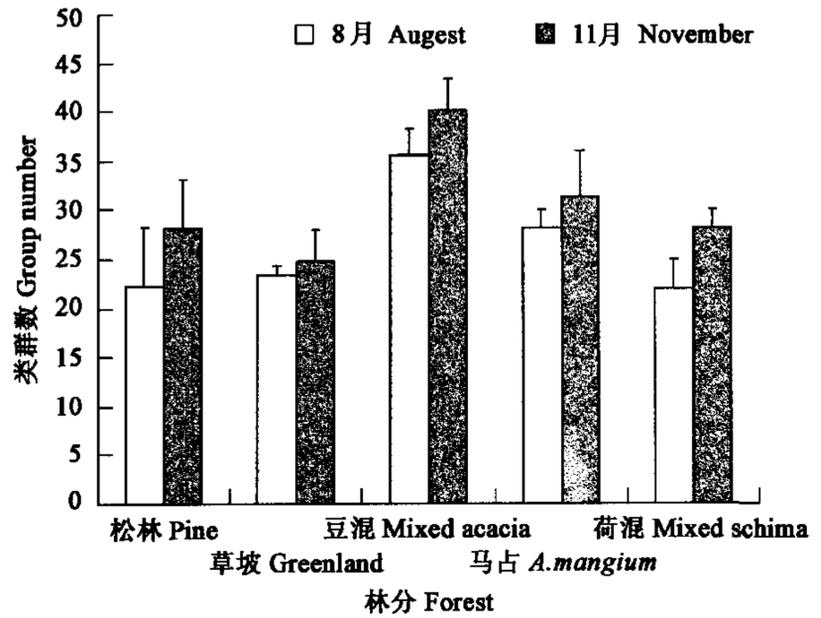


图 3 不同人工林内土壤动物的类群数

Fig. 3 Group number of soil fauna in different plantations

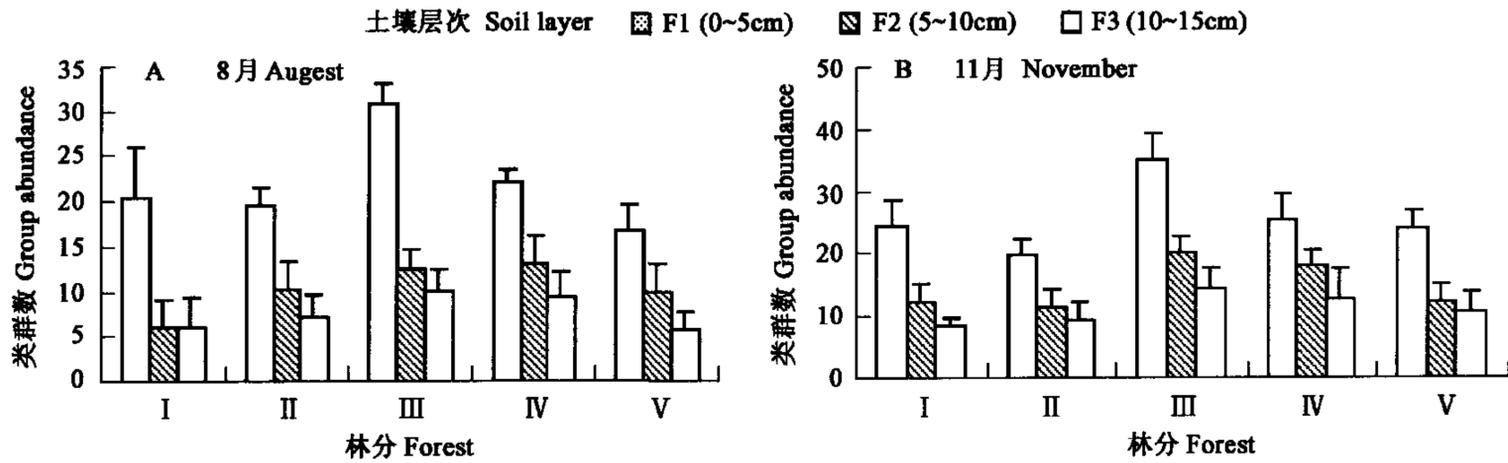


图 4 不同人工林土壤动物类群数的垂直分布特征

Fig. 4 Vertical characteristics of soil fauna group abundances in different man-made forests

I 松林 Pine; II 草坡 Greenland; III 豆混 Mixed acacia; IV 马占 A. mangium; V 荷混 Mixed schima)

2.3 群落多样性

土壤动物群落多样性在各植被间的差异很明显: 豆混林指数最高, 其次是马占林, 再次依次为针叶林、荷混林和草坡。

经差异显著性检验, 无论在干季还是在湿季 (图 5), 豆混林与其它所有林分间都存在显著差异 ($p < 0.05$), 马占林则显著高于针叶林、荷混林和草坡 ($p < 0.05$), 后三者间差异不显著。即根据群落多样性指数, 各人工林可明显分为豆混林 (I)、马占林 (II) 和荷混林 (III)、针叶林 (IV)、草坡 (V) 3 个层次。可见, 用 DG 指数表征的土壤动物多样性特性具有很好的稳定性。季节间的差异同样存在。除草坡微有下降外, 其它各林分在干季都有不同程度的上升, 具体为: 豆混林 61.43%, 马占林 24.80%, 荷混林 63.72%, 针叶林 15.75%。

土壤表层动物多样性与 F2、F3 层有极显著的差别 ($p < 0.01$) (图 6), 而 F2、F3 层之间差别不明显。同时, 不同类型人工林之间土壤表层的动物多样性变化很大, F2 和 F3 层变化小。在 F1 层, 湿季期 (图 6A), 豆混林动物多样性与其它所有林分间都有显著差异 ($F = 12.00$; $p < 0.05$), 马占林与荷混林、草坡差异显著 ($F = 12.00$; $p < 0.05$), 针叶林、荷混林和草坡之间差异不显著; 干季期 (图 6B), 更加明显, 豆混林显著高于其它所有林分 ($F = 31.94$; $p < 0.05$), 马占林显著高于荷混林、针叶林和草坡

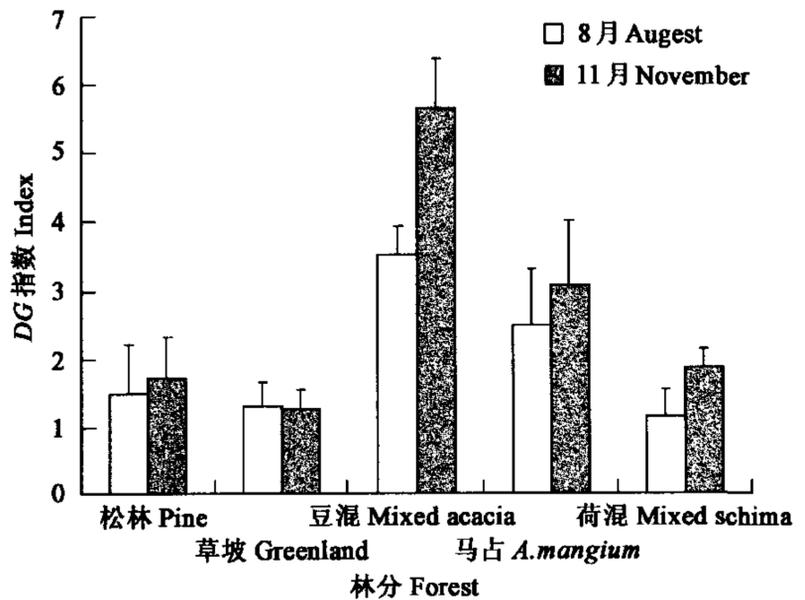


图 5 不同人工林内土壤动物群落的 DG 指数

Fig. 5 DG index of soil fauna communities in different plantations

($F=31.94$; $p<0.05$), 荷混林、针叶林与草坡之间无显著差异。从湿季到干季, 土壤动物 DG 指数的增长也主要体现在土壤表层。

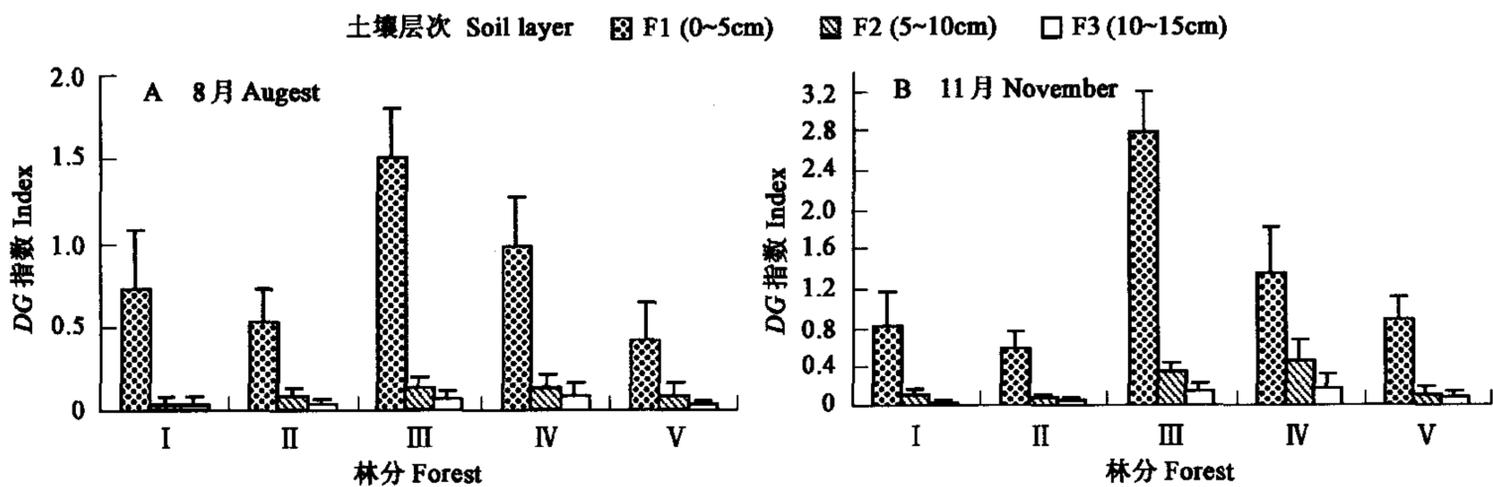


图 6 不同人工林土壤动物 DG 指数的垂直分布特征

Fig. 6 Vertical characteristics of soil fauna DG indexes in different man-made forests

I - 松林 Pine; II - 草坡 Greenland; III - 豆混 Mixed acacia; IV - 马占 *A. mangium*; V - 荷混 Mixed schima

3 讨论

3.1 土壤动物群落结构与植被演替进程有密切关系

植物是生态系统的第一性生产者, 植被的存在形式及其发育状况决定了生态系统中其它成分的组成、结构特征。已有大量土壤动物群落与植被类型相关关系的研究^[1,17,18,25~30], 证明土壤动物群落组成结构是与植被状况密切相关的。因此, 土壤动物群落特征对生态系统的不同恢复阶段具有重要的指示作用。在大孤山铁矿废弃地生态环境恢复与重建中, 大型土壤动物种类、数量变化标志大孤山铁矿废弃地生态环境恢复与重建阶段的先后, 而且大型土壤动物群落生态结构与生物量的变化指示了铁矿废弃地生态环境恢复与重建质量^[31]; 在退化红壤上进行的研究表明造林种的选择对土壤动物发展影响很大以及混交林体现了一定的“混交优势”^[3]。在电白小良热带人工森林生态系统研究站进行的植被改造、恢复与演替进程研究中, 通过土壤动物群落学研究提出利用桉树作为改造小良侵蚀台地的先锋树种是成功的, 而阔叶混交林更好地促进了土壤动物的多样化和丰盛度^[2]。这些结论与本研究结果可以互相印证: 土壤动物群落的各指标特征都显示豆科混交林显著优于其它各林分; 马占林其次, 显著高于荷混林、针叶林和草坡; 草坡各项指标都最低。草坡是没有经任何人为干预而自然恢复的对照样地, 与之比较, 可以肯定人为改造措施产生了积极效应; 但改造树种选择的影响同样重要, 这可以从豆科树种表现出的优势性看出; 同时, 豆混林的显著正效应证明混交是一个行之有效的改造措施。

另外, 根据本研究结果, 可以认为鹤山人工林生态系统整体上尚处于发育的初级阶段。首先, 荷混林、针叶林与草坡之间在土壤动物个体数、类群丰度和生物多样性指数上都不存在显著差异, 在统计上还未体现改林的效应。其次, 可以发现, 植被环境较优的人工林土壤动物的发展空间亦大(豆混林>马占林>荷混林>针叶林>草坡), 这揭示各林分都尚未达到相对稳定的状态。杨效东等认为顶极群落季节雨林中, 土壤动物群落类群组成及数量分布变化会比次生林明显减小^[32]。第三, 植食性的害虫随着植被环境的改良而发展(豆混林>马占林>荷混林>针叶林>草坡), 如鞘翅目昆虫($r=0.918$)和半翅目昆虫($r=0.943$)与之达到显著正相关($p<0.05$); 同翅目幼虫($r=0.839$)的相关性系数也比较高。这是因为, 在生态系统的发展过程中, 由于其发育的初级阶段整个系统尚未形成生态平衡机制, 处于不稳定状态, 因此在食物链中低级因子会首先得到发展。廖崇惠等也认为在进行植被恢复过程中, 当人工林尚处于演替初级阶段时, 森林虫害较为严重^[1]。最后, 各林分土壤动物在各土层中的层间分异极明显, 与该地带成熟林情况差别很大^[28], 这很可以说明该地土壤尚未充分熟化, 生态系统尚处于演替的初级阶段。

3.2 关键类群的研究

土壤动物群落的组成极其复杂, 其中可能只有某些类群的反应特别敏感, 可以作为系统状态的指标^[33,34], 而这正是多数情况下进行生态学研究时关注的。通过相关性研究, 找出能影响群落状态的关键类群, 不仅可以简化研究问题, 而且可以为进一步的土壤动物环境指示类群的研究打下基础。

DG 指数比较科学地综合了体型、数量差异极大的各类群所构成土壤动物群落的数量多度、类群丰度特征, 可以作为群落状态的指标与各类群进行比较。在不同林分间计算各动物类群的密度与 DG 指数相关系数。其中长角跳虫科、鳞跳虫科、蚁科、康虫八科、蟹蛛科、巨蟹蛛科、球蛛科、鞘翅幼虫和半翅幼虫都达到显著水准($p<0.05$), 它们的 r 值分别是 0.9857、0.9964、0.9271、0.9634、0.9619、0.9626、0.9461、0.9180 和 0.9431。长角跳虫科和鳞跳虫科属弹尾目, 它们是大型跳虫; 康虫八科属双

尾目;这些原始的昆虫适于生活在比较阴蔽的环境,与植被演替后林下环境由阳性向阴性转变存在正相关关系。蚁科、蟹蛛科、巨蟹蛛科和球蛛科都是土壤动物食物链中较高级的捕食者,它们当然与土壤动物群落的丰度直接相关;在森林生态系统中,鞘翅目昆虫、半翅目昆虫一般作为害虫的角色存在,如前述,它们与植被的早期发展阶段是呈正相关的。

3.3 关于多样性指数的运用

本研究在进行土壤动物群落多样性分析时应用了 DG 指数。实际上,在多种表征群落多样性的指数中,Shannon-Weiner 多样性指数(H')应用最广,国内大多土壤动物学者也将其用于不同土壤动物群落多样性的比较分析。然而,土壤动物群落不同类群间在个体数量和生物量上差异巨大, H' 指数着重考虑的是群落内部各物种之间此多彼少的竞争关系,常与群落均匀度显著相关而与丰富度关系不密切^[35]。在群落中只要各个物种的数量相等,不管其数量如何地少,这个群落就可以获得最大的多样性。 DG 指数由廖崇惠等提出,随后在 1997 年又对之进行了修正^[28]。 DG 指数的重要意义在于引进了不同群落之间同类群相对数量比较的概念,因此可以避免群落内各物种丰度的比较,把群落中各物种都视为同等的独立体,采用对同一物种在不同群落中的比较,使得在复杂的土壤动物群落间进行多样性比较的可行性大大加强。国内也已有数位学者注意到 DG 指数的科学性,如傅必谦等和刘满强等多种不同多样性指数进行了比较,都认为 DG 指数效果最优^[3,35]。当然, DG 指数的不足是未对类群在群落中的相互作用进行估计。但根据已有的土壤动物学资料,由于土壤动物的杂食性及土壤环境的丰富性,各类群之间的作用相对于环境和捕食者的影响来说并不明显^[36],而且,在计算上 DG 指数要简便得多。最后,通过本研究结果可以看到, DG 指数在反映不同人工林土壤动物群落的差异上具有很好的稳定性。因此,建议更多的土壤动物学研究者对之进行检验、应用和改进。

3.4 季节的影响

本研究调查取样时间选择在湿季期的 8 月份和干季期的 11 月份进行。结果表明,干季期的土壤动物群落的个体数、 DG 指数和类群丰度都比湿季期高,尤其是前两者的差异非常明显。这与邻近区域的调查结果相同。杨效东等研究表明,3 类季节雨林土壤动物群落的总类群数、稀有类群数和富集类群数都体现干季大于雨季, α 多样性指数的变化与之相符^[30]。在海南,8 月份是暴雨发生最多的月份,对于大、中型土壤动物群落,在群落的类群数方面,6~9 月份体现了负面影响,在 10 月份至翌年 5 月份则是正面的影响;在 DG 指数和总个体数方面,6~9 月份间也表现为显著的负相关^[29]。分析其原因,首先在众多的气象要素中,对土壤动物有重要影响的是气温和降水量。14.3~24.3℃ 之间是土壤动物生存最适宜的温度范围;而在降水上可以明确的是大量的降雨不仅有较强的冲刷作用,而且使土壤容重高,结构紧密,对中小型土壤动物物种和个体数的分布与发展产生负面影响;特别是暴雨,会即时对线虫群落和其它大、中型土壤动物群落造成破坏^[29,30]。据鹤山试验站气象观测资料,1998 年马占林、荷木林和松林内 8 月份温度为 28.79、28.54、28.98℃,11 月为 21.26、20.68、20.66℃^[22];而 8 月份平均降雨量 272.7 mm,11 月份平均降雨量 80.4 mm^[37]。可见本区季节间的温湿差异非常大,干季(11 月份)的温湿效应明显比湿季(8 月份)适于土壤动物发展。

References:

- [1] Liao C H, Chen M Q, Xie Y S. The initial investigation on soil animal in the tropical artificial forest of Xiaoliang. *Tropical and Subtropical Forest Ecosystem*, 1984, (2):214~226.
- [2] Liao C H, Chen M Q. Secondary succession of soil animal community and its development process in tropical artificial forest. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1990, 1(1): 56~61.
- [3] Liu M Q, Hu F, Li H X, et al. Soil arthropod communities under different artificial woodland restored on degraded red soil. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(1): 54~61.
- [4] Shen W J, Peng S L, Zhou G Y, et al. Hydrological properties and water balance of grassland ecosystem in Heshan hill region. *Acta Phytocological Sinica*, 2000, 24(2): 162~168.
- [5] Zeng X P, Peng S L, Zhao P. Measurement of respiration amount in artificial *Acacia mangium* forest in a low subtropical hill forest region of Guangdong. *Acta Phytocological Sinica*, 2000, 24(4): 420~424.
- [6] Peng S L, Shen W J, Dai Z M, et al. Temporal and spatial dynamic of temperature and moisture in an *Acacia Mangium* plantation. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2001, 9(4): 277~283.
- [7] Ren H, Peng S L, Xiang Y C. Biomass and net primary productivity in an *Acacia mangium* plantation in Heshan, Guangdong, China. *Acta Phytocological Sinica*, 2000, 24(1): 18~21.
- [8] Cao H L, Ren H, Peng S L. The community structure and energy characteristics of *Pinus elliottii* artificial forest in Heshan. *Guihaia*, 1998, 18(1): 24~28.
- [9] Li Z, Ding M M, Fang W, et al. The nutrient storage and distribution in artificial *Acacia mangium* forest. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, 15(Supp A): 104~114.

- [10] Li Z, Ling Y B, Peng S L. Nutrient content in litterfall and its translocation in plantation forests in South China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, **11**(3): 321~326.
- [11] Yao W H, Yu Z Y. The nutrient content of throughfall inside the artificial forests on downland. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, **15**(Supp. A): 124~131.
- [12] Yan J H, Zhou G Y, Shen W J. Grey correlation analysis of the effect of vegetation status on surface runoff coefficient of forest ecosystems. *Chin. J. Appl. Environ. Biol.*, 2000, **6**(3): 197~200.
- [13] Zhou G Y, Yan J H, Shen W J, et al. Surface flow in an *Acacia mangium* plantation and an orchard in Heshan, Guangdong Province, China. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2000, **24**(4): 451~458.
- [14] Fang W, Ding M M, Lu D M, et al. Hydrological dynamics and nutrient migration with precipitation of artificial *Acacia Mangium* forest in low subtropical downland. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, **15**(Supp. A): 115~123.
- [15] Zhou C Y, Yi W M, Fu S L, et al. The decomposition and nutrient release of leaf litters of different tree species. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, **15**(Supp. A): 132~140.
- [16] Yu Z, Peng S. The artificial and natural restoration of tropical and subtropical forests. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, **15**(A): 1~16.
- [17] Liao C H, Lin S M, Li J X, et al. A comparative study of soil animals on litter decomposition in varied types of artificial forests. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, **15**(Supp. A): 197~203.
- [18] Liao C H, Lin S M, Li Y Q, et al. The relation between biomass of soil animals and decomposition of forest litter. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, **15**(Supp. A): 156~164.
- [19] Li J X, Liao C H, Lin S M, et al. Initial succession of soil animal communities under varied artificial forests. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, **15**(Supp. A): 183~189.
- [20] Li J X, Liao C H, Lin S M, et al. The comparison of soil animal communities in various artificial forests. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, **15**(Supp. A): 190~196.
- [21] Peng S L. Restoration ecology and agroforestry development in Guangdong. *Research of Agricultural Modernization*, 2000, **21**(3): 129~133.
- [22] Lin Y B, Shen W J, Peng S L, et al. Comparison microclimatological effects of three plantations in Heshan of the lower subtropical, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, **23**(8): 1657~1666.
- [23] Yi W Y. *Pictorial keys to soil animals of China*. Beijing: Science Press, 1998.
- [24] Zhen L Y, Gui H. *Insect classification*. Nanjing: Nanjing Normal University Press, 1999.
- [25] Chen Y B, Yin X Q. The study of soil animals community in difference forest type in Liangshui Zone. *J. of Shanghai Teachers Univ. (Natural Sciences)*, 2000, **29**(2): 79~84.
- [26] Zhang X P, Li C Y, Yin X Q, et al. Relation between soil animals and nutrients in the differently used forest lands. *Chin. J. Appl. Environ. Biol.*, 1999, **5**(1): 26~31.
- [27] Liao C H, Chen M G. The soil zoology of subtropical forest in Dinghushan. *Tropical and Subtropical Forest Ecosystem*, 1990, **10**(7): 100~106.
- [28] Liao C H, Li J X, Huang H T. Soil animal community diversity in the forest of the southern subtropical region, China. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, **17**(5): 549~555.
- [29] Liao C H, Li J X, Yang Y P, et al. The community of soil animal in tropical rain forest in Jianfeng Mountain, Hainan Island, China: Relationship between seasonal change of community structure and climatic factors. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, **23**(1): 139~147.
- [30] Yang X D, Sha L Q. Species composition and diversity of soil mesofauna in the "Holy Hills" fragmentary tropical rain forest of Xishuangbanna, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, **12**(2): 261~265.
- [31] Wu D H, Hu K. Large soil animals indication functions of reclamation of ecological environment in iron-mine abandoned of Dagushan, Anshan city. *Journal of Jiling University (Earth science edition)*, 2003, **33**(2): 213~216.
- [32] Yang X D, Yu Y P. The Character of composition and distribution on soil fauna under tropical forests of Xishuangbanna in rainy season. *Journal of Northeast Forestry University*, 1998, **26**(6): 65~70.
- [33] Andrea R. A maturity index for predatory soil mites (Mesostigmata: Gamasina) as an indicator of environmental impacts of pollution on forest soils. *Applied Soil Ecology*, 1998, **9**: 447-452.
- [34] Maurizio G P. The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **74**: 137~155.
- [35] Fu B Q, Chen W, Dong X H, et al. The Composition and Structure of the Four Soil Macrofaunas in Songshan Mountain in Beijing. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, **22**(2): 215~223.

- [36] Anderson J M. The enigma of soil animals species diversity. In: *Progress in Soil Zoology*. Edited by Jan Vanek, A-cademia, Prague, 1975. 51~58.
- [37] Zhou G Y, Peng S L, Yu Z Y. Approach on hydrological process of *Acacia mangium* plantation. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, **15**(Supp. A): 211~216.

参考文献:

- [1] 廖崇惠, 陈茂乾, 谢映书. 小良热带人工林土壤动物初步调查. 热带亚热带森林生态系统研究, 1984, (2): 214~226.
- [2] 廖崇惠, 陈茂乾. 热带人工林土壤动物群落次生演替和发展过程的探讨. 应用生态学报, 1990, **1**(1): 56~61.
- [3] 刘满强, 胡锋, 李辉信, 等. 退化红壤不同人工林恢复下土壤节肢动物群落特征. 生态学报, 2002, **22**(1): 54~61.
- [4] 申卫军, 彭少麟, 周国逸, 等. 鹤山丘陵草坡的水文特征及水量平衡. 植物生态学报, 2000, **24**(2): 162~168.
- [5] 曾小平, 彭少麟, 赵平. 广东南亚热带马占相思林呼吸量的测定. 植物生态学报, 2000, **24**(4): 420~424.
- [6] 彭少麟, 申卫军, 戴智明, 等. 马占相思人工林温湿效应的时空动态. 热带亚热带植物学报, 2001, **9**(4): 277~283.
- [7] 任海, 彭少麟, 向言词. 鹤山马占相思人工林的生物量和净初级生产力. 植物生态学报, 2000, **24**(1): 18~21.
- [8] 曹洪麟, 任海, 彭少麟. 鹤山湿地松人工林的群落结构与能量特征. 广西植物, 1998, **18**(1): 24~28.
- [9] 李志安, 丁明懋, 方炜, 等. 马占相思人工林生态系统养分物质的储存与分布. 生态学报, 1995, **15**(增刊 A): 104~114.
- [10] 李志安, 林永标, 彭少麟. 华南人工林凋落物养分及其转移. 应用生态学报, 2000, **11**(3): 321~326.
- [11] 姚文华, 余作岳. 广东鹤山丘陵地人工林林内降雨养分含量. 生态学报, 1995, **15**(增刊 A): 124~131.
- [12] 闫俊华, 周国逸, 申卫军. 用灰色关联法分析森林生态系统植被状况对地表径流系数的影响. 应用与环境生物学报, 2000, **6**(3): 197~200.
- [13] 周国逸, 闫俊华, 申卫军, 侯爱敏, 余作岳, 林永标. 马占相思人工林和果园地表径流规律的对比研究. 植物生态学报, 2000, **24**(4): 451~458.
- [14] 方炜, 丁明懋, 吕冬梅, 等. 南亚热带丘陵马占相思人工林降雨的水文动态及其营养元素迁移. 生态学报, 1995, **15**(增刊 A): 115~123.
- [15] 周存宇, 蚁伟民, 傅声雷, 等. 不同树种落叶分解及其营养释放的研究. 生态学报, 1995, **15**(增刊 A): 132~140.
- [16] 余作岳, 彭少麟. 热带亚热带退化生态系统的植被恢复及其效应. 生态学报, 1995, **15**(增刊 A): 1~16.
- [17] 廖崇惠, 林少明, 李健雄, 等. 不同类型人工林土壤动物群落结构与功能研究 III. 3个人工林凋落物的分解试验. 生态学报, 1995, **15**(增刊 A): 197~203.
- [18] 廖崇惠, 林少明, 李耀泉, 等. 土壤动物生物量与森林凋落物分解的关系. 生态学报, 1995B, **15**(增刊 A): 156~164.
- [19] 李健雄, 廖崇惠, 林少明, 等. 不同类型人工林土壤动物群落结构与功能研究 I. 群落的早期演替动向. 生态学报, 1995, **15**(增刊 A): 183~189.
- [20] 李健雄, 廖崇惠, 林少明, 等. 不同类型人工林土壤动物群落结构与功能研究 II. 幼龄人工林中群落结构的比较. 生态学报, 1995, **15**(增刊 A): 190~196.
- [21] 彭少麟. 恢复生态学与广东省复合农林业的发展. 农业现代化研究, 2000, **21**(3): 129~133.
- [22] 林永标, 申卫军, 彭少麟, 等. 南亚热带鹤山三种人工林小气候效应对比. 生态学报, 2003, **23**(8): 1657~1666.
- [23] 尹文英. 中国土壤动物图鉴. 北京: 科学出版社, 1998.
- [24] 郑乐怡, 归鸿. 昆虫分类. 南京: 南京师范大学出版社, 1999.
- [25] 陈颖彪, 殷秀琴. 凉水地区不同林型土壤动物群落研究. 上海师范大学学报(自然科学版), 2000, **29**(2): 79~84.
- [26] 张雪萍, 李春艳, 殷秀琴, 等. 不同使用方式林地的土壤动物与土壤营养元素的关系. 应用与环境生物学报, 1999, **5**(1): 26~31.
- [27] 廖崇惠, 陈茂乾. 鼎湖山森林土壤动物研究IV, 与邻近自然保护区区系的比较. 热带亚热带森林生态系统研究, 1990, **10**(7): 100~106.
- [28] 廖崇惠, 李健雄, 黄海涛. 南亚热带森林土壤动物群落多样性研究. 生态学报, 1997, **17**(5): 549~555.
- [29] 廖崇惠, 李健雄, 杨悦屏, 等. 海南尖峰岭热带林土壤动物群落——群落结构的季节变化及其气候因素. 生态学报, 2003, **23**(1): 139~147.
- [30] 杨效东, 沙丽清. 西双版纳“龙山”片断热带雨林中小型土壤动物群落组成与多样性研究. 应用生态学报, 2001, **12**(2): 261~265.
- [31] 吴东辉, 胡克. 大型土壤动物在鞍山市大孤山铁矿废弃地生态环境恢复与重建中的指示作用. 吉林大学学报, 2003, **33**(2): 213~216.
- [32] 杨效东, 余宇平. 西双版纳热带森林雨季土壤动物 1) 群落组成与分布特征. 东北林业大学学报, 1998, **26**(6): 65~70.
- [35] 傅必谦, 陈卫, 董晓晖, 等. 北京松山四种大型土壤动物群落组成和结构. 生态学报, 2002, **22**(2): 215~223.
- [37] 周国逸, 彭少麟, 余作岳. 马占相思人工林某些水文学过程的基本规律初探. 生态学报, 1995, **15**(增刊 A): 211~216.