

湖南省南岳原生性森林群落的研究

—— II. 水丝梨林

左家哺¹, 田伟政¹, 彭代文¹, 李明红², 彭珍宝²

(1. 湖南环境生物学院, 湖南衡阳 421005; 2. 南岳树木园, 湖南南岳 421100)

摘要: 湖南省南岳的水丝梨林即水丝梨+甜槠-尾叶山茶+花竹-蔓赤车群丛是一种尚未报道的新群落类型。研究了该群落的区系特点、生活型、层次结构、更新演替、物种多样性及其物种相对多度分布格局, 该群落物种多样性水平接近山地季雨林。

关键词: 水丝梨林; 群落新类型; 区系特点; 层次结构; 更新演替; 物种多样性; 物种相对多度分布; 南岳(湖南)

中图分类号: Q948.15 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2002)03-0193-10

Study on original forest community in

Nanyue of Hunan Province

—— II. *Sycopsis sinensis* forest

ZUO Jia-fu¹, TIAN Wei-zheng¹, PENG Dai-wen¹,
LI Ming-hong², PENG Zhen-bao²

(1. *Hunan Environment-Biological Polytechnic*, Hengyang 421005, China; 2. *Nanyue Arboretum*, Nanyue 421100, China)

Abstract: According to the results of the investigation and statistic analysis of *Sycopsis sinensis* forest in Nanyue, Hunan Province, this community is a new type which hasn't been reported can be called Association of *Sycopsis sinensis*+*Castanopsis eyeri*-*Camellia caudata*+*Phyllostachys nidularia*-*Pellionia scabra*. The community has 149 species and 116 genera that belong to 69 families of the vascular plants. The tropical elements of the areal-type genera in the community occupies 56.19% of the total, but the temperate one 43.81%. The floristic elements of the species in the community are mainly Cathysian, Sino-Japan, East Asia and East China-Central China which occupy 24.16%, 16.78%, 13.42% and 12.08% of the total respectively. It is very obvious that the floristic elements of East China and Central China cross at the species of the community. The wood plants in the community occupy 71.14% of the total, but the herb 28.86%, which the Therophyte and Perennial plants occupy 6.04% and 22.82% of the total respectively. The community can be divided the arbor, shrub and herb layer, which layer of arbor and shrub can be further divided 3 sub-layers, it is the evergreen broad-leaved forest of the central subtropical of China. The community still keep the evergreen broad-leaved forest to regard *Sycopsis sinensis* as the dominant species, but *Castanopsis eyeri* as the sub-dominant species in the successive probably re-

收稿日期: 2000-11-28

作者简介: 左家哺(1960-), 男, 湖南醴陵人, 教授, 研究方向为植物分类与生态地理及生物多样性保护。

基金项目: 湖南省科技厅资助项目(01-953-124)

placed by *Cyclobalanopsis multinervis*, *Photinia beauverdiana* and *Lithocarpus henryi*. We choose 24 formulae from these indices of the species diversity, and use the important value, individuals or fresh weight and dominance or coverage to study the plant species diversity of *Sycopsis sinensis* forest in Nanyue, Hunan Province. The results show that the plant species diversity of the forest community is higher and approaches the diversity level of the mountainous seasonal rain forest, and that the different measurement degrees have no great influence upon species diversity indices i. e. Its values have not the obvious law by using different measurement degree to calculate the indices of species diversity. We choose 4 models of distributional pattern of species relative abundance i. e. Geometric series distributional, Broken stick, Log series distributional and Log normal distributional to study the distributional pattern of species relative abundance of *Sycopsis sinensis* forest in Nanyue, Hunan. The results show that Log series distributional model is suitable for imitating the distributional pattern of the plant species relative abundance of the arbor layer and shrub layer of the community, and Broken stick model is only suitable for imitating the arbor layer, and Log normal distributional model is only suitable for imitating the herb layer, and Geometric series distributional model isn't suitable for imitating any layer of the distributional pattern of the plant species relative abundance of the community of Nanyue, Hunan. Besides, the value of α -index of the community approaches the diversity level of mountainous seasonal rain forest.

Key words: *Sycopsis sinensis* forest; new type of community; floristic characteristics; life-form; structure; regeneration; species diversity; species relative abundance distribution; Nanyue(Hunan)

南岳是我国著名的“五岳”之一,1982年湖南省人民政府批准建立南岳自然保护区。南岳位处 27°10'~27°20' N、112°34'~112°44' E,总面积为 8 200 hm²,主要保护文化遗产、名胜古迹、森林植被及自然景观等^[1]。由于长期以来的乱垦滥伐,自然资源遭受严重破坏,导致水土流失、母岩裸露。因此,开展南岳自然保护区的森林生物多样性研究是十分必要的。作者受湖南省科技厅、林业厅、教育厅等部门的委托,承担了《南岳森林生物多样性研究》项目,本文主要报道南岳重要的原生性森林群落之一——水丝梨林的研究结果。

1 自然地理概况

南岳是一座孤山,系中山地貌,主峰祝融峰海拔 1 289.8 m,山脉呈北北东—南南西走向,由东北向西倾斜,坡度为 30°~40°。山体基岩下部为中生代燕山运动所侵入的花岗岩,上部为变质岩,原有的沉积岩发生区域或接触变质作用形成了绢云母片岩、板页岩及石英岩等;中生代末期,山体多次抬升,产生强烈的断裂、褶皱运动,加之外力作用使海拔 1 000 m 以上为片麻岩,1 000 m 以下为花岗岩。南岳土壤分布格局是海拔 600 m 以下为红壤,600~850 m 为黄壤,850~1 100 m 为黄棕壤,1 100 m 以上为草甸土。该区年均温 14.8 °C,绝对最高气温 32.4 °C,绝对最低气温-15.3 °C,无霜期 223.6 d,年

均降雨量为 1 640.8 mm^[1]。

水丝梨林位于南岳东南坡的广济寺,海拔 600~850 m,黄壤,坡度 10°~25°,位于坡中下部,面积约 2 hm²,邻近植被有人工针叶林、人工茶叶灌丛、竹林以及次生常绿落叶阔叶林等。

本次按照常规方法^[2]进行调查研究,乔木层采用无样地点中心—四分法共设置 48 个随机点,灌木层调查 14 个 10 m×10 m 的样方,草本层调查 43 个 1 m×1 m 样方。

2 群落的区系特点

2.1 区系基本组成

根据采集调查统计,该群落内有维管束植物 69 科 116 属 149 种。超过 5 个种的科有樟科(Lauraceae)、蔷薇科(Rosaceae)、壳斗科(Fagaceae)、山茶科(Theaceae)、禾本科(Gramineae)、木犀科(Oleaceae)、槭树科(Aceraceae)和蝶形花科(Papilionaceae)等,计 33 属、52 种分别占总属数、总种数的 30.2%和 34.9%,它们为该群落的重要亚优势种或伴生种。

2.2 属的区系成分

根据水丝梨林维管束植物属的地理分布比较分析,按照吴征镒的研究成果^[3,4],将 116 属划分为 11 种分布区类型(表 1)。从表 1 看出,南岳水丝梨林属的区系组成主要是在热带性质成分影响、抚育下

形成的, 如乔木层、灌木层、草本层的优势种和亚优势种所归的属都是热带性质成分。

2.3 种的区系成分

根据南岳水丝梨林群落内维管束植物 149 个种

表 1 水丝梨林维管植物属的分布区类型

Table 1 The areal-types on genera of vascular plant of *Sycopsis sinensis* forest in Nanyue, Hunan Province

| 分布区类型 Areal-type | 属数 Number of genera | % | 含种数 Including number of species | % |
|--|------------------------|--------|------------------------------------|--------|
| 世界广布 Cosmopolitan | 11 | — | 13 | — |
| 泛热带分布 Pantropic | 27 | 25.71 | 35 | 25.74 |
| 热带亚洲与热带美洲间断分布 Tropic Asia and Tropic America | 7 | 6.67 | 12 | 8.82 |
| 旧世界热带分布 Old World Tropic | 4 | 3.81 | 5 | 3.68 |
| 热带亚洲至热带澳洲分布 Tropic Asia to Tropic Australia | 4 | 3.81 | 4 | 2.94 |
| 热带亚洲至热带非洲分布 Tropic Asia to Tropic Africa | 3 | 2.86 | 3 | 2.21 |
| 热带亚洲(印度—马来西亚)分布 Tropic Asia | 14 | 13.33 | 18 | 13.24 |
| 北温带分布 North Temperate | 19 | 18.10 | 28 | 20.59 |
| 东亚与北美间断分布 Eastern Asia and North America | 13 | 12.38 | 15 | 10.95 |
| 旧世界温带分布 Old World Temperate | 5 | 4.76 | 7 | 5.11 |
| 东亚分布 Eastern Asia | 9 | 8.57 | 9 | 6.57 |
| 合计 Total | 116 | 100.00 | 149 | 100.00 |

表 2 水丝梨林维管植物种的分布式样

Table 2 Distribution patterns on plant species of *Sycopsis sinensis* forest in Nanyue, Hunan Province

| 分布式样 Distribution pattern | 种数 Number of species | % |
|---|-------------------------|--------|
| 世界广布 Cosmopolitan | 3 | — |
| 南北温带(全温带)分布 South and North of Temperate | 1 | 0.68 |
| 北温带分布 North Temperate | 2 | 1.37 |
| 旧世界热带分布 Old World Tropic | 2 | 1.37 |
| 热带亚洲至热带非洲分布 Tropic Asia to Tropic Africa | 1 | 0.68 |
| 热带亚洲(印度—马来西亚)分布 Tropic Asia | 11 | 7.53 |
| 东亚分布 Eastern Asia | 20 | 13.70 |
| 中国喜马拉雅分布 Sino-Himalayan | 10 | 6.85 |
| 中国—日本分布 Sino-Japan | 25 | 17.12 |
| 华夏分布 Cathaysian | 36 | 24.66 |
| 华东—华中分布 East-Central China | 18 | 12.33 |
| 华东—华中—华南分布 East-Central-Southern China | 6 | 4.11 |
| 华东—华中—华西分布 East-Central-western China | 2 | 1.37 |
| 华南—华中分布 Central-Southern China | 5 | 3.42 |
| 华西南—华中—华南分布 Central-South-Southwestern China | 7 | 4.79 |
| 合计 Total | 149 | 100.00 |

的地理分布比较分析, 参照吴征镒、左家哺、潘锦祥等人研究成果⁽³⁻⁸⁾, 将它们划分为 15 种分布式样(表 2): (1) 世界广布, 有铁线蕨 (*Adiantum capillus-veneris*)、铁角蕨 (*Asplenium trichomanes*) 和蕨

(*Pteridium aquilinum* var. *latiusculum*) 等是草本层的常见成分。(2) 南北(全温带)分布, 产于南北两半球的温带至亚热带地区, 仅香薷 (*Nepeta cataria*) 是草本层的常见成分。(3) 北温带分布, 如辣蓼 (*Polygonum hydropiper*) 和荞麦 (*Fagopyrum esculentum*) 是草本层的常见成分。(4) 旧世界热带分布, 如求米草 (*Oplismenus undulatifolius*) 和砖子苗 (*Mariscus umbellatus*) 是草本层常见成分, 求米草为亚优势种。(5) 热带亚洲—热带非洲分布, 仅牛膝 (*Achyranthes bidentata*), 是草本层的常见成分。(6) 热带亚洲分布, 有野漆树 (*Toxicodendron succedanea*)、长毛八角枫 (*Alangium kurzii*)、乌药 (*Lindera aggregate*)、千里光 (*Senecio scandens*)、淡竹叶 (*Lophatherum gracile*)、五爪龙 (*Cayratia japonica*)、鸡矢藤 (*Paederia scandens*)、异叶爬山虎 (*Parthenocissus heterophylla*)、大青 (*Clerodendron cyrtophyllum*)、磨芋 (*Amorphophallus rivieri*) 和草珊瑚 (*Saracandra glabra*) 等。(7) 东亚分布, 有仙鹤草 (*Agrinonia pilosa*)、白檀 (*Symplocos paniculata*)、红果钓樟 (*Lindera erythrocarpa*)、假死柴 (*Lindera glauca*)、野葛藤 (*Pueraria lobata*)、臭椿 (*Ailanthus altissima*)、苦木 (*Picrasma quassioides*)、香椒子 (*Zanthoxylum schinifolium*)、杨桐 (*Cleyera japonica*)、厚皮香 (*Ternstroemia gymnanthera*)、蔓赤车 (*Pellionia scabra*)、薯蓣 (*Dioscorea opposita*)、络石 (*Trachelospermum jasminoides*)、金星蕨 (*Parathelypteris glanduligera*)、风

轮菜(*Clinopodium chinense*)、虎杖(*Polygonum cuspidatum*)、万寿竹(*Disporum cantoniense*)、土麦冬(*Liriope spicata*)、鸭跖草(*Commelina communis*)、泽兰(*Euphatorium japonicum*)、山酢浆草(*Oxalis griffithii*)等多为草本层的常见成分,尤其蔓赤车为草本层的优势种。(8)中国—喜马拉雅分布,主要在我国西南云、贵、川、藏以及喜马拉雅地区,有时向东延伸至华中、华东甚至华南,但决不到朝鲜、日本、蒙古等地,如鳞木稠李(*Prunus buergeriana*)、朴树(*Celtis sinensis*)、青灰叶下珠(*Phyllanthus glaucus*)、黄丹木姜子(*Litsea elongate*)、绢毛木姜子(*L. sericea*)、头状四照花(*Dendrobenthamia capitata*)、米饭花(*Vaccinium sprengelii*)、天南星(*Arisaema consanguineum*)、尾叶山茶(*Camellia caudate*)、多花黄精(*Polygonatum cyrtoneura*)等,其中尾叶山茶为灌木层的优势种。(9)中国—日本分布,在我国长江流域及其以南至朝鲜、日本等,有时延伸到我国西南,但决不到喜马拉雅地区,如云山青冈(*Cyclobalanopsis nubium*)、青冈栎(*C. glauca*)、灰叶稠李(*P. grayana*)、稠李(*P. padus*)、山樱桃(*P. serrulata* var. *spontanea*)、野梧桐(*Mallotus japonicus*)、白木乌桕(*Sapium japonicum*)、小叶白辛树(*Pterostyrax corymbosa*)、月桂(*Osmanthus marginatus*)、薯豆(*Elaeocarpus japonicus*)、灯台树(*Cornus controversa*)、翅荚香槐(*Cladrastis platycarpa*)、百两金(*Ardisia crispa*)粗糠树(*Ehretia dicksonii*)、胡颓子(*Elaeagnus pungens*)、日本薯蓣(*Dioscorea japonica*)、菝葜(*Smilax china*)、两色鳞毛蕨(*Dryopteris bissetiana*)、寒莓(*Rubus buergeri*)、芒萁(*Dicranopteris dichotoma*)、细辛(*Asarum sieboldii*)、堇菜(*Viola verecunda*)、薄片变豆菜(*Sanicula lamelligera*)、林荫银莲花(*Anemone flaccida*)等。(10)华夏广布,在我国长江流域及其以南广大地区,有时向华北、华西北等地,但决不到喜马拉雅、中印半岛、朝鲜、日本、蒙古等地,如甜槠(*Castanopsis eyeri*)、长叶石栎(*Lithocarpus henryi*)、水青冈(*Fagus longipetiolata*)、青榨槭(*Acer davidii*)、阔叶槭(*A. amplum*)、五裂槭(*A. oliverianum*)、中华槭(*A. sinense*)、野梨(*Pyrus calleryana*)、中华石楠(*Photinia benauverdiana*)、野鸭椿(*Euscaphis japonica*)、紫弹朴(*Celtis biondii*)、大叶榉(*Zelkova schneideriana*)、过路黄(*Lysimachia christinae*)、小蜡(*Ligustrum sinense*)、

女贞(*L. lucidum*)、小叶女贞(*L. quihoui*)、山榿(*Lindera reflexa*)、闽楠(*Phoebe bournei*)、香花崖豆藤(*Millettia dielsiana*)、椴木(*Aralia chinensis*)、香橙(*Citrus junos*)、油茶(*Camellia oleifera*)、细枝柃(*Eurya loquiana*)、卫矛(*Euonymus alatus*)、花竹(*Phyllostachys nidularia*)、箬竹(*Indocalamus tessellates*)、升马唐(*Digitaria adscendens*)、珍珠枫(*Callicarpa bodinieri*)、豆腐柴(*Premna microphylla*)、杜鹃(*Rhododendron simsii*)、异叶榕(*Ficus heteromorpha*)、白木通(*Akebia trifoliata* var. *australis*)、莽草(*Illicium lanceolata*)、石蒜(*Lycoris radiata*)、华南落新妇(*Astilbe chinensis*)、长萼堇菜(*Viola inconspicua*)等,它们有些成分如甜槠、花竹、箬竹分别为乔、灌木层的亚优势种。(11)华东—华中分布,在江苏、浙江、安徽、台湾、江西、福建、湖南、河南等地,向西可到贵州、四川两省东部,向北可达山东南部等地,如多脉青冈(*Cy. multinervis*)、湘椴(*Tilia endochrysea*)、野桐(*Mallotus tenuifolius*)、四川山矾(*Symplocos setchuenensis*)、苦枥木(*Fraxinus retusa*)、白玉兰(*Magnolia denudata*)、珂楠(*Meliosma beaniana*)、香槐(*Cladrastis wilsonii*)、含羞草叶黄檀(*Dalbergia mimosoides*)、云和新木姜子(*Neolitsea aurata* var. *paraciculata*)、朵椒(*Zanthoxylum molle*)、木荷(*Schima superba*)、汤饭子(*Viburnum setigerum*)、十大功劳(*Mahonia fortunei*)、阔叶十大功劳(*M. bealei*)、裂叶荨麻(*Urtica fissa*)、白术(*Atractylodes lancea*)、缺萼枫香(*Liquidambar acalycina*)、茶条果(*Symplocos ernestii*)等。(12)华东—华中—华南分布,除“华东—华中分布”的地区外,还包括广东、广西、海南等省区,如水丝梨(*Sycopsis sinensis*)、猴欢喜(*Sloanea sinensis*)、薄叶润楠(*Machilus leptophylla*)、阳荷(*Zingiber striolatum*)、隔山香(*Angelica citriodora*)等,其中水丝梨为群落乔木层的优势种。(13)华东—华中—华西南分布,除“华东—华中分布”的地区外,还包括云、贵、川西南3省,刺叶冬青(*Ilex bioritsensis*)是常见种。(14)华中—华南分布,包括广东、广西、海南、浙江南部、福建南部、江西南部、湖南、湖北、河南、四川东部、贵州东部等地,如多脉榆(*Ulmus multinervis*)、香冬青(*Ilex suaveolens*)、野柿(*Diospyros kaki* var. *sylvestris*)等。(15)华中—华南—华西南分布,除“华中—华南分布”的地区外,还包括云、贵、川西南三

省,如包石栎(*Lithocarpus cleistocarpus*)、三峡槭(*Acer wilsonii*)、大果冬青(*Ilex macrocarpa*)、香粉叶(*Lindera pulcherrima* var. *attenuata*)、山桂皮(*Cinnamomum japonicum*)、海通(*Clerodendron mandarinorum*)、长蕊杜鹃(*Rhododendron stamineum*)和栎木(*Cornus macrophylla*)等。从上述可知,南岳水丝梨林群落维管束植物的区系成分主要是华夏、中国—日本、东亚和华中—华中等 4 种类型,如果把华夏、中国—日本、东亚等广泛分布的成分不予考虑,那么具有“华东—华中或华中—华东”分布格局的成分共计 26 种,占总数的 17.69%,说明本群落种的区系具有华东—华中的过渡性质。

综上所述,南岳水丝梨林群落区系组成成分十分复杂,种类较多,它是在热带性质成分影响、抚育下形成的,具有华中与华东区系的过渡性质。

3 群落结构特征

3.1 生活型构成

依照植物的生活习性,对南岳水丝梨林群落 149 种维管束植物的统计发现,木本植物占 71.14%,其中乔木、小乔木、灌木和木质藤本分别占 28.87%、23.49%、11.41%和 5.37%;常绿和落叶各占 42.86%和 57.14%,草本植物占 28.86%,其中草质藤本、多年生草本和一年生草本各占 6.98%、79.07%和 13.95%。在南岳水丝梨林群落中,常绿成分为群落乔、灌两层的优势种或亚优势种,而落叶成分则为重要的伴生树种,位居森林的次层,多年生成分为草本层的优势种或亚优势种。此外,草本植物中多年生植物占有绝对优势,正好与该群落所在地的气候相适应,冬季气温十分低、春季多雨、阴湿不利于以种子来繁衍后代。因而,只有多年生的植物以根、茎来繁衍后代才能使之自然繁衍生息。

3.2 层次结构

根据调查,乔木层可分为 3 个亚层:乔木 I 层平均树高 12.04 m,多数为 11~13 m,平均枝下高 2.73 m,多数在 2~3.5 m 之间,平均胸径 38.1 cm,多数在 30~45 cm 之间,平均冠幅 8.2 m,多在 6~10 m 之间,覆盖度为 41%。优势种是水丝梨,占该亚层总个体数的 18.5%,平均树高 11.8 m,平均枝下高 1.46 m,平均胸径 39.5 cm,平均冠幅 8.75 m;

亚优势种有甜槠和水青冈,分别占该总个体数的 18.5%和 11.1%,平均树高分别为 12 m 和 11.5 m,平均枝下高为 3.54 m 和 2.37 m,平均胸径分别为 53.7 cm 和 31.3 cm,平均冠幅分别为 8.29 m 和 9.83 m。此外,还有五裂槭、灰叶稠李、湘椴、云山青冈、长毛八角枫、长叶石栎、鳞木稠李、稠李、野漆树、三峡槭等。乔木 II 层平均树高 8.3 m,多在 7.5~9.5 m 之间,平均枝下高 2.88 m,多在 2~3.5 m 之间,平均胸径 22.8 cm,多在 16~30 cm 之间,平均冠幅 5.35 m,多在 4.3~6.5 m 之间,覆盖度 50.4%,优势种是水丝梨,占该亚层总个体数的 23.1%,平均树高 8.5 m,平均枝下高 1.92 m,平均胸径 32.5 cm,平均冠幅 5.98 m;亚优势种为野漆树和水青冈,分别占总个体数的 10.3%和 7.7%,平均树高分别为 8.06 m 和 7.67 m,平均枝下高分别为 3.71 m 和 2.35 m,平均胸径分别为 11 cm 和 19 cm,平均冠幅分别为 2.84 m 和 5.96 m。此外,还有五裂槭、朴树、湘椴、野梧桐、甜槠、阔叶槭、云山青冈、稠李、白玉兰、苦枥木、长毛八角枫、香冬青、槲木、臭椿、头状四照花、紫弹朴、灰叶稠李、大叶榉、白檀、苦木、朵椒、杨桐、珂楠、山樱毛花、抱石栎、野桐、卫矛、中华槭、猴欢喜等 28 个树种。乔木 III 层平均树高 5.25 m,多在 4~6 m 之间,平均枝下高 1.99 m,多在 1~3 m 之间,平均胸径 12.3 cm,多在 6~20 cm 之间,平均冠幅 3.5 m,多在 2~5 m 之间,覆盖度 36.4%,优势种是水丝梨,占该亚层部个体数的 14%,平均树高 5.38 m,平均枝下高 1.52 m,平均胸径 26.8 cm,平均冠幅 5.03 m;亚优势种为野漆树,占该亚层总个体数的 10.5%,平均树高 5.5 m,平均枝下高 2.48 m,平均胸径 9.4 cm,平均冠幅 2.55 m;重要的伴生树种还有多脉青冈、五裂槭和云山青冈,它们各占该亚层总个体数的 5.8%,平均树高分别为 4.18 m、5.30 m 和 6.0 m,平均枝下高分别为 1.98 m、1.81 m 和 1.58 m,平均胸径分别为 9.1 m、14.8 cm 和 13.6 cm,平均冠幅分别为 2.80 m、4.05 m 和 3.2 m。此外,还有中华槭、小叶白辛树、野桐、野鸭椿、湘椴、水青冈、小蜡、香冬青、青榨槭、青冈栎、白檀、云和新木姜子、四川山矾、厚皮香、缺萼枫香、中华石楠、薄顺润楠、大果冬青、女贞、香槐、多脉榆、阔叶槭、粗糠树、莽草、稠李、长叶石栎、三峡槭、珂楠、甜槠、小叶女贞、灯台树和薯豆

等 32 个树种。从乔木层各树种的重要值的统计得知,水丝梨为优势种,亚优势种有甜槠、野漆树、云山青冈、五裂槭、水青冈和湘椴,它们的重要值分别是 65.49、29.02、21.71、19.57、16.76、14.78 和 14.72,其中,常绿与落叶性质成分比例各占 62.66%和 37.34%,说明南岳水丝梨林为典型的常绿阔叶林;从植被地理带上,水丝梨林群落属于中亚热带东部(湿润)典型常绿阔叶林北部植被亚地带、湘中与湘东植被区的常绿阔叶林^[9~11]。根据调查,该层次高度 146.2 cm,平均地径 1.8 cm,覆盖度 69.5%,灌木层优势种为尾叶山茶,平均高度 110 cm,平均地径 1.3 cm,覆盖度 19.8%,重要值为 60.33,亚优势种为花竹,平均高度 145.8 cm,平均地径 0.4 cm,覆盖度 12.4%。灌木层亦可分为 3 个亚层,第一亚层平均高度 369.6 cm,多在 250~500 cm 之间,平均地径 4.2 cm,覆盖度为 40%,主要树种是尾叶山茶、中华石楠、长叶石栎、野梨、乌药、乌桕、海通、云山青冈、细枝柃、闽楠、月桂、翅荚香槐、长蕊杜鹃、汤饭子等。第二亚层平均 148.5 cm,高度多在 100~200 cm 之间,平均地径为 1.8 cm,覆盖度为 28.5%,主要树种是尾叶山茶、花竹、水丝梨、桃叶黄杨、红果钓樟、米饭花、稠李、野鸭椿、五裂槭、异叶榕、杜鹃花、阔叶槭、十大功劳等。第三亚层的平均高度 52.9 cm,多 30~80 cm 之间,平均地径 0.7 cm,多在 0.2~1.5 cm 之间,覆盖度为 35.4%,主要树种有箬竹、大青、白木乌柏、香粉叶、青灰叶下珠、中华槭、香橙、假死柴、山姜、茶条果、白玉兰、槲木、白檀、甜槠、百两金、木荷、长毛八角枫、水青冈、豆腐柴、栎木、青榨槭、胡颓子、野漆树、刺叶冬青、含羞草叶黄檀、油茶、小叶女贞、香椒子、阔叶十大功劳等。根据调查,草本层高度 29.2 cm,覆盖度 50.4%,鲜重 1 834.814 kg/hm²,优势种是蔓赤车,平均高度 19.7 m,重要值为 110.02,其重要的伴生种类有求米草、两色鳞毛蕨、细辛、牛膝、辣蓼等。此外,还有金星蕨、砖子苗、淡竹叶、香薷、磨芋、虚枝、阳荷、玉簪、薯蓣、石蒜、铁线蕨、土麦冬、长萼堇菜、万寿竹、华南落新妇、鸭跖草、芒萁、多花黄精、千里光、堇菜、天南星、泽兰、过路黄、草珊瑚、白术、蕨、铁角蕨、仙鹤草、裂叶荨麻、林荫银莲花、寒莓、荞麦、隔山香、薄片变亚菜、升马唐、风轮菜和山酢浆草等。南岳水丝梨林层外植物较多,优势种是菝葜,

占总个体数的 51.06%,平均长度 300 cm;亚优势种是络石,占总个体数的 17.02%。此外,还有日本薯蓣、薯蓣、异叶爬山虎、五爪龙、白木通、野葛藤、鸡矢藤、香花崖豆藤等。从南岳水丝梨林群落层次结构及其组成看出,该群落为典型的中亚热带东部(湿润)常绿阔叶林,可命名为水丝梨+甜槠-尾叶山茶+花竹-蔓赤车群丛(Association of *Sycopsis sinensis* + *Castanopsis eyeri*-*Camellia caudata* + *Phylllostachys nidularia*-*Pellionia scabra*),是一种尚未报道过的新群落类型^[9~11]。

4 群落的更新演替

为了更好地确定南岳水丝梨林群落中更新树种的作用与重要性,我们提出用树种综合值(Comprehensive value)即下式来处理: $CV_i = RH_i + RA_i + RD_i + RF_i$ 。式中, CV_i 为第*i*个树种的综合值, CV_i 值越大,则第*i*个树种在森林群落中的作用与地位越重要,反之亦然; RH_i 为第*i*个树种的相对树高,等于第*i*个树种树占所有树种的树高之和的百分率; RA_i 为第*i*个树种的相对密度; RD_i 为第*i*个树种的相对盖度; RF_i 为第*i*个树种的相对频度。根据 14 个 10 m×10 m 更新样方调查统计得知,在水丝梨林 29 个更新树种中,综合值超过 20 的有 5 个树种:水丝梨综合值为 86.37、中华石楠 36.74、多脉青冈 35.42、厚皮香 28.97、长叶石栎 27.03,它们全部是常绿成分。此外,从群落优势种水丝梨的树高、胸径按株数分布来看,胸径、树高基本上呈近似的正态分布,表明群落优势种水丝梨在一定时期内将保持着动态平衡,从侧面反映了群落的演替动态的稳定性即群落会保持进展演替^[6,7]。综合看来,南岳水丝梨林在群落更新演替过程中,仍然会保持以水丝梨为优势的常绿阔叶林,其亚优势种甜槠可能会被多脉青冈、中华石楠、长叶石栎等取代。

5 群落物种多样性

据不完全统计,测定物种多样性指数至少有 70 种以上,常用公式不足 10 种^[12,13],对如此繁多的多样性指数公式谢晋阳在前人基础上将所有物种多样性指数公式划分为丰富度、优势度、变化度或信息度和均匀度等 4 种类型^[14],本文对每一个类型择取一些有代表性的公式来研究南岳水丝梨林植物

物种多样性(在下列公式中: $i=1,2,\dots,s$; S 为总物种数; N_i 为第 i 个的个体数; N 为所有物种的总个体数; $H_{\max}=[\ln N! + (S+r)\ln \Delta! - r\ln(\Delta+1)!]/N$, $\Delta=N/S$ 的整数部分, $r=N-\Delta S$; $\Phi=N_i/N$).

丰富度: $R_1=(s-1)/\ln N$, $R_2=S/N^{1/2}$, $R_3=S/N^{(12\sim 16)}$.

优势度: $D_1=[\sum N_i(N_i-1)]/[N(N-1)]$, $D_2=[N(N-1)]/[\sum N_i(N_i-1)]$, $D_3=(\sum N_i^2)/N^2$, $D_4=[N_2 - (\sum N_i^2)]/(\sum N_i^2)$, $D_5=\max(N_i)/N^{(12,14,17\sim 20)}$.

变化度: $H_1=-\sum \Phi \ln \Phi$, $H_2=(\ln N_i - \sum \ln N_i!)/N$, $H_3=1-D_1$, $H_4=1-D_3$, $H_5=[N - (\sum N_i^2)^{1/2}]/(N -$

$N^{1/2})^{(12,14,21\sim 24)}$.

均匀度: $ED_1=[\sum N_i(N-N_i)]/[N(s-1)]$, $ED_2=[N(N-S)]/[\sum N_i(N_i-1)]$, $ED_3=(\sum N_i^2)/N_2$, $ED_4=[N^2/(\sum N_i^2)] - 1$, $EH_1=-\sum \Phi \ln \Phi / \ln S$, $EH_2=H_2/H_{\max}$, $EH_3=[\sum (N_i(N-N_i))]/[N^2(S-1)]$, $EH_4=[S(N^2 - \sum N_i^2)]/[N^2(S-1)]$, $EH_5=[N - (\sum N_i^2)^{1/2}]/[N - N/(S^{1/2})]$, $E_s=[e(-\sum \Phi \ln \Phi)]/S$, $E_H=[-1 + e(-\sum \Phi \ln \Phi)]/(S-1)^{(12,25\sim 30)}$.

动物群落多样性可用个体数目来测度^(13,31,32), 而某些植物如丛生禾草和苔草、匍匐蔓生灌木及亚灌木或半灌木等则很难计算个体数, 人们试图用盖

表 3 南岳水丝梨林群落的物种优势度、变化度和均匀度

Table 3 Diversity indices on richness dominance, variety and evenness of plant species of *Sycopsis sinensis* forest community in Nanyue, Hunan Province

| 公式代号 Code on formulae of diversity | 乔木层 Arbor layer | | | 灌木层 Shrub layer | | | 草本层 Herb layer | | |
|---|---------------------------|-------------------|------------------|---------------------------|-------------------|----------------|---------------------------|-----------------------|----------------|
| | 重要值 Important value | 株数 Individuals | 优势度 Dominance | 重要值 Important value | 株数 Individuals | 盖度 Coverage | 重要值 Important value | 鲜重 Fresh weight | 盖度 Coverage |
| R_1 | 11.94 | 10.46 | 14.82 | 13.25 | 8.01 | 8.81 | 9.21 | 4.68 | 5.48 |
| R_2 | 5.60 | 4.04 | 8.76 | 6.20 | 1.38 | 1.95 | 4.30 | 0.48 | 0.93 |
| R_3 | 0.56 | 0.29 | 1.37 | 0.62 | 0.03 | 0.06 | 0.43 | 0.01 | 0.02 |
| D_1 | 0.069 6 | 0.052 8 | 0.158 7 | 0.075 6 | 0.141 8 | 0.128 0 | 0.149 8 | 0.268 8 | 0.226 3 |
| D_2 | 14.375 | 18.933 | 6.300 5 | 13.220 | 7.054 3 | 7.812 3 | 6.677 7 | 3.720 4 | 4.419 2 |
| D_3 | 0.078 9 | 0.062 3 | 0.168 4 | 0.084 9 | 0.150 4 | 0.136 7 | 0.158 3 | 0.276 1 | 0.234 2 |
| D_4 | 11.678 | 15.056 | 4.937 7 | 10.780 | 5.651 1 | 6.313 6 | 5.318 4 | 2.612 8 | 3.270 4 |
| D_5 | 0.218 3 | 0.182 3 | 0.321 1 | 0.204 9 | 0.262 1 | 0.273 4 | 0.365 1 | 0.512 1 | 0.445 3 |
| H_1 | 3.212 6 | 3.376 3 | 3.020 0 | 3.141 1 | 2.508 9 | 2.666 5 | 2.696 8 | 2.244 0 | 2.217 0 |
| H_2 | 3.194 5 | 3.011 5 | 3.332 4 | 3.123 1 | 2.450 1 | 2.648 6 | 2.680 8 | 2.239 6 | 2.188 0 |
| H_3 | 0.930 4 | 0.947 2 | 0.841 3 | 0.924 4 | 0.858 2 | 0.872 0 | 0.850 2 | 0.731 2 | 0.773 7 |
| H_4 | 0.921 1 | 0.937 7 | 0.831 6 | 0.915 1 | 0.849 6 | 0.863 3 | 0.841 7 | 0.723 9 | 0.765 8 |
| H_5 | 0.799 1 | 0.833 8 | 0.655 1 | 0.787 4 | 0.680 3 | 0.700 3 | 0.669 1 | 0.527 3 | 0.573 4 |
| ED_1 | 0.921 7 | 0.937 3 | 0.960 2 | 0.915 2 | 0.851 0 | 0.864 3 | 0.843 3 | 0.724 4 | 0.780 7 |
| ED_2 | 0.114 1 | 0.150 3 | 0.050 0 | 0.081 8 | 0.043 7 | 0.048 4 | 0.089 4 | 0.049 8 | 0.059 2 |
| ED_3 | 4.417 0 | 3.487 9 | 9.431 3 | 5.263 1 | 9.321 8 | 8.477 4 | 6.805 5 | 11.873 0 | 10.069 0 |
| ED_4 | 0.773 6 | 0.713 3 | 0.894 0 | 0.810 0 | 0.892 7 | 0.882 0 | 0.853 1 | 0.915 8 | 0.900 7 |
| EH_1 | 0.798 1 | 0.838 8 | 0.750 2 | 0.761 1 | 0.607 9 | 0.646 1 | 0.716 9 | 0.596 6 | 0.589 4 |
| EH_2 | 0.958 6 | 0.651 1 | 0.743 6 | 0.925 6 | 0.270 8 | 0.342 4 | 0.708 9 | 0.183 9 | 0.230 3 |
| EH_3 | 0.938 3 | 0.954 2 | 0.977 4 | 0.930 0 | 0.864 8 | 0.878 3 | 0.863 2 | 0.744 2 | 0.799 1 |
| EH_4 | 0.937 9 | 0.954 8 | 0.846 7 | 0.930 1 | 0.863 6 | 0.877 4 | 0.861 8 | 0.741 1 | 0.784 1 |
| EH_5 | 0.830 1 | 0.866 2 | 0.680 6 | 0.811 7 | 0.701 3 | 0.721 9 | 0.710 5 | 0.559 9 | 0.609 0 |
| E_s | 0.443 6 | 0.522 5 | 0.365 9 | 0.373 0 | 0.198 2 | 0.232 1 | 0.344 8 | 0.219 3 | 0.213 5 |
| E_H | 0.433 5 | 0.513 9 | 0.354 4 | 0.362 8 | 0.185 1 | 0.219 5 | 0.329 2 | 0.200 7 | 0.194 8 |

度、生物量以及重要值等代替个体数目进行群落多样性指数计算^(13,20,29), 又缺乏实际调查数据对不同测度指标进行的比较, 不同测度指标对多样性指数影响的对比分析, 将有助于提高不同类型或地区群落多样性指数的可比性⁽³³⁾。因此, 本文乔木层和灌木层选用株数、优势度或盖度和重要值作为测度指

标, 草本层选用鲜重、盖度和重要值作为测度指标, 测定结果如表 3。

由表 3 可知, 如果以重要值作为测度指标, 则灌木层、乔木层、草本层的物种丰富度依次降低; 如果以株数或鲜重以及优势度或盖度作为测度指标, 则乔木层、灌木层、草本层的物种丰富度依次降低。在

乔木层中,以优势度、重要值、株数作为测度指标计算的物种丰富度依次降低。在灌木层和草本层中,以重要值、盖度、株数或鲜重作为测度指标计算的物种丰富度依次降低。从南岳森林群落物种丰富度指数与菲律宾同海拔山地森林、山地季雨林的指数值较为接近^[17]。

由表 3 可以看出,以重要值和株数或鲜重作为测度指标,乔木层、灌木层、草本层的物种优势度指数依次增加,表明乔木层、灌木层、草本层的物种多样性依次降低。以优势度或盖度作为测度指标,灌木层、乔木层、草本层的物种优势度指数依次增加,表明灌木层、乔木层、草本层的物种多样性依次降低。在乔木层中,以株数、重要值、优势度作为测度指标计算的物种优势度指数值依次增加。在灌木层和草本层中,以重要值、盖度、株数或鲜重作为测度指标所计算的物种优势度指数值依次增加。由于 D_1 指数理论的最大值为 $1-1/s^{[26]}$, 南岳水丝梨林群落乔木层、灌木层和草本层理论最大值分别为 0.982 1、0.983 9 和 0.976 7, 实际计算值乔木层 0.069 6~0.158 7、灌木层 0.075 6~0.141 8、草本层 0.149 8~0.268 8, 它们分别小于最大值的 6~14 倍、7~13 倍和 4~7 倍。

由表 3 可知,以重要值和株数或鲜重作为测度指标,那么群落乔木层、灌木层、草本层三层次物种变化度指数依次减小,即群落乔木层、灌木层、草本层的物种多样性依次降低。以优势度或盖度作为测度指标,除 H_1 和 H_2 指数值是乔木、灌木、草本层的物种多样性依次降低外,其余指数均是灌木层、乔木层、草本层的物种多样性依次降低。在乔木层中,以株数、重要值、优势度作为测度指标所计算的物种变化度值依次减小,仅 H_2 指数是重要值、株数、优势度作为测度指标所计算的值依次降低;在灌木层和草本层中,以重要值、盖度、鲜重或株数作为测度指标所计算的物种变化度指数依次减小(仅草本层中 H_1 和 H_2 指数值除外)。据研究, H_1 指数一般介于 1.5~3.5 之间,很少超过 4.5^[13,34]。南岳水丝梨林测算值在 2.217~3.376 3 之间,其中乔木层介于 3.02~3.376 3 之间。另据研究, H_2 指数取值范围在 0~1 之间^[29],南岳水丝梨林实测为 0.527 3~0.833 8 之间。

从表 3 看出,无论以重要值、株数或鲜重还是以

优势度或盖度作为测度指标,其物种均匀度指数值的变化没有呈现任何变化规律;在同一层次中,其均匀度变化亦无规律性变化。此外,根据研究,一个群落除有较多物种及其个体数量外,还要求有较高的均匀度指数值,这样的群落才会有较高的多样性^[29]。从表 10 看, D_1 、 H_1 和 H_2 等 5 个指数与相应的均匀度值成正比变化,说明南岳水丝梨林群落的多样性较高,同时表明这些指数及其均匀度指标可能适合于森林群落物种多样性的研究。

综上所述,南岳水丝梨林群落物种多样性水平较高,几乎接近山地季雨林的水平。其次,不同测度指标对于物种多样性研究并无明显的变化规律,这与文献^[33]研究结果不相吻合,或许是由于该研究使用单一的物种多样性指数公式所致^[33]。

6 群落物种相对多度分布格局

物种丰富度受样方面积大小的影响,没有考虑物种间个体数目或生物量或盖度的差异,忽视了富集种和稀少(或疏)种对群落多样性的影响^[12],故开展水丝梨林群落物种相对多度分布的研究很有必要,本文以物种个体数量(其中草本以鲜重,鲜重的单位为 g,四舍五入取整数)作为测度指标来研究南岳水丝梨林群落物种相对多度的分布格局。

几何级数分布模型是 1932 年 Motomura 在研究海底动物种时首次提出^[35],Whittaker 在研究植物群落演替过程中又提出了生态位优先占领假论^[20]从而完善了几何级数分布模型,其模型是 $N'_i = N \cdot C_k \cdot K(1-K)^{i-1}$, 对南岳水丝梨林的计算结果如表 4。

分割线段是 McArthur 在研究鸟类物种多度分布时提出的初步模型^[36],经过 Webb 和 May 的改进才完善^[35,37],包括序列—多度和多度—频度模型^[14],前者为 $N'_i = (N/S) \sum_{i=1}^S [1/(S+1-i)]$, 后者模型为 $S'_{jk} = [s(s-1)/N][1-(k/N)]^{s-2}$, 对南岳水丝梨林的计算结果如表 5。

对数级数分布模型是 Fisher、Corbet 和 Williams 研究鳞翅目昆虫物种多度分布时提出的^[31],其模型是 $\alpha X, \alpha X^2/2, \alpha X^3/3, \dots, \alpha X^k/k$, 对南岳水丝梨林群落的计算结果如表 6。

对数正态分布模型是 Preston 研究鸟类群落物种相对多度时提出^[38],经 Preston、May、Sugihara 和

Magurran 等改进完善的^(13,35,39,40),其模型是 $S'_j = S_0 e^{-a^2 R_j^2}$, 对南岳水丝梨林的计算结果如表 7。

从表 4 看出,几何级数分布模型不适于拟合南岳水丝梨林群落任何层次物种与个体数目之间关系,这是由于几何级数分布模型仅适合于研究物种

贫乏的环境或者群落演替的早期阶段⁽¹²⁾,南岳水丝梨林是中亚热带常绿阔叶林的顶极群落,绝非演替的早期阶段⁽⁴¹⁾。从表 5 看出,分割线段模型仅适于拟合南岳水丝梨林群落乔木层物种与个体数目之间的关系,却不适用灌木层及草本层,由于南岳水

表 4 南岳水丝梨林群落物种相对多度几何级数分布模型参数

Table 4 Parameter on geometric series distributional model of species relative abundance of *Sycopsis sinensis* forest community in Nanyue, Hunan Province

| 参数 Parameter | N_{min}/N | K | C_k | χ^2 | $\chi^2_{0.001}$ |
|-----------------|--------------|-----------|---------------|----------|------------------|
| 乔木层 Arbor layer | 0.005 208 33 | 0.037 450 | 1.133 724 939 | 133.4 | 102.1 |
| 灌木层 Shrub layer | 0.000 494 56 | 0.080 102 | 1.005 679 623 | 2 175.4 | 111.8 |
| 草本层 Herb layer | 0.000 253 39 | 0.139 555 | 1.001 562 327 | 9 681.2 | 80.9 |

表 5 南岳水丝梨林群落物种相对多度的分割线段模型的显著性检验

Table 5 Significance test on Borken-stick model of species relative abundance of *Sycopsis sinensis* forest community in Nanyue, Hunan Province

| 参数 Parameter | 乔木层 Arbor layer | | 灌木层 Shrub layer | | 草本层 Herb layer | |
|------------------|--------------------|--------------------------|--------------------|--------------------------|--------------------|--------------------------|
| | 序列多度 Rankabundance | 多度频度 Abundance frequency | 序列多度 Rankabundance | 多度频度 Abundance frequency | 序列多度 Rankabundance | 多度频度 Abundance frequency |
| χ^2 | 74.299 | 20.042 | 2 863.441 | 155.014 | 14 925.428 | 102.853 |
| $\chi^2_{0.001}$ | 102.072 | 20.515 | 111.843 | 27.877 | 80.901 | 31.264 |

表 6 南岳水丝梨林群落物种相对多度的

对数级数分布模型参数

Table 6 Parameter on Log series distribution model of species relative abundance of *Sycopsis sinensis* forest community in Nanyue, Hunan Province

| 参数 Parameter | 乔木层 Arbor layer | 灌木层 Shrub layer | 草本层 Herb layer |
|------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| χ | 0.878 4 | 0.994 052 | 0.999 242 5 |
| α | 26.579 2 | 12.098 800 | 5.983 500 0 |
| χ^2 | 8.545 | 17.740 | 42.019 |
| $\chi^2_{0.001}$ | 20.515 | 27.877 | 31.264 |

表 7 南岳水丝梨林群落物种相对多度

对数正态分布模型参数

Table 7 Parameter on Log normal distribution model of species relative abundance of *Sycopsis sinensis* forest community in Nanyue, Hunan Province

| 参数 Parameter | 乔木层 Arbor layer | 灌木层 Shrub layer | 草本层 Herb layer |
|------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| a | 0.182 383 966 | 0.201 973 404 | 0.216 399 407 |
| χ^2 | 126.585 | 71.048 | 23.464 |
| $\chi^2_{0.001}$ | 20.515 | 27.877 | 31.264 |

丝梨林群落乔木层相对密度从 0.52% 至 18.23% 之间变化,两者相差 35 倍左右;灌木层从 0.52% 至 26.21% 之间变化,两者相差 524 倍左右;草本层从 0.03% 至 51.20% 之间变化,两者相差 2 021 倍左右。May 曾经指出,分割线段模型只有在物种多度近于相等的群落拟合效果较好,南岳水丝梨林群落

物种相对多度线段分割模型的研究也得到证实⁽³⁵⁾。从表 6 看出,对数级数分布模型适于拟合南岳水丝梨林群落乔木层和灌木层物种相对多度与物种数目之间的关系,而不适宜草本层。据研究,对数级数分布模型适合于研究群落富集种很少而稀少种很多的群落⁽¹²⁾;不仅如此,这种模型不受样方或面积的大小影响,即使不是最好的理论分布时亦可拟合⁽¹³⁾。从调查资料得知,南岳水丝梨林群落乔木层和灌木层富集种很少而稀少种很多;相反,草本层富集种很多,达 20.94%。此外,本模型中 α 参数又是一个很好的多样性指数,南岳水丝梨林群落乔木层、灌木层、草本层分别为 26.579 2、12.098 8 和 5.983 5,接近于山地季雨林的水平⁽¹⁷⁾,这亦与前面的分析结果一致。从表 7 看出,对数正态分布模型仅适于拟合南岳水丝梨林群落草本层的物种相对多度分布,而不适合于乔木层和灌木层。因此,南岳水丝梨林群落物种相对多度的对数正态分布模型研究结果证实了 Preston 的观点即仅适合于最多的物种属于哪些个体数量中等状态的物种⁽³⁸⁾。此外,本文所计算的 a 值亦在 0.13 至 0.29 之间,符合近似等于 0.2 的规律⁽³⁵⁾。综上所述,对数级数分布模型适合于南岳广济寺森林群落乔木层和灌木层物种与其个体数量之间的关系;分割线段模型仅适合于乔木层;对数正态分布模型仅适合于草本层;相反,

几何级数分布模型完全不适合于任何层次。此外, α 指数计算结果表明南岳水丝梨林群落物种多亲性水平接近于山地季雨林的水平,这与甜槠林和长叶石栎林的研究结果比较接近^[42,43]。

致谢 参加野外调查的有周建良、蒋端生、伍和平、罗健馨、宋光桃、旷建军等。

参考文献:

- [1] 蒋端生. 南岳森林土壤的研究(1)[J]. 湖南林专学报, 1995, **1**: 44—50.
- [2] Cox G W. Laboratory manual of general ecology[M]. Dubque: Wm. C. Brown Company Pubilshers. 1972.
- [3] 吴征镒. 试论中国植物区系的分区问题[J]. 云南植物研究, 1979, **1**(1): 1—22.
- [4] 吴征镒. 中国种子植物属的分布区类型[J]. 云南植物研究, 1991, 增刊 N: 1—139.
- [5] 左家哺. 贵州省威宁县云南含笑生态区系与群落[J]. 贵州林业科技, 1993, **21**(4): 1—9.
- [6] 左家哺. 黄心夜合林的调查研究[J]. 生态学杂志, 1995, **14**(1): 27—32.
- [7] 左家哺. 贵州西部黄杉林群落特征与天然更新规律的研究[J]. 贵州林业科技, 1995, **23**(1): 14—23.
- [8] 潘锦祥, 左家哺, 丁厚勇, 等. 湖南省临武县树种区及分布的初步研究[J]. 武陵生物科学研究, 1994, **2**(1): 12—19.
- [9] 吴征镒. 中国植被[M]. 北京: 科学出版社, 1980.
- [10] 祁承经. 湖南植被[M]. 长沙: 湖南科学出版社, 1992.
- [11] 侯学煜. 中国自然地理·植被地理(下)[M]. 北京: 科学出版社, 1988.
- [12] 马克平. 生物群落多样性的测度方法[A]. 载: 钱迎倩, 马克平. 生物多样性研究的原理与方法(1)[C]. 北京: 中国科学技术出版社, 1994. 1: 141—165.
- [13] Magurran A E. Ecological diversity and its measurement[M]. Princeton: Princeton Univ Press. 1988.
- [14] 谢晋阳. 物种多样性指数与物种多度分布格局[A]. 载: 林金安. 植物科学综论[C]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1993. 222—223.
- [15] Margalef D R. Information theory in ecology[J]. *Gen Syst.* 1958, **3**: 36—71.
- [16] Nosek J N. Comparative analysis of some diversity functions under different conditions of sampling in sandy meadow [J]. *Act Bot Acad Scient Hung.* 1976, **22**(3/4): 415—436.
- [17] 朱保忠. 森林生态学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1991. 155—159.
- [18] Kvalseth T O. Note on biological diversity evenness and homogeneity measures[J]. *Oikos*, 1991, **62**(1): 123—127.
- [19] Simpson E H. Measurement of diversity[J]. *Nature*, 1949. 163: 688.
- [20] Whittaker R H. Evolution and measurement of species diversity[J]. *Taxon*, 1972, **21**: 213—251.
- [21] Brillouin L. Science and information theory(2nd ed)[M]. New York: Academic Press. 1962.
- [22] Hurlbert S H. The non-concept of species diversity: A Critique and alternative parameters [J]. *Ecol.* 1971, **52**: 577—586.
- [23] McIntosh R P. An index of diversity and relation of certain concepts to diversity[J]. *Ecol.* 1967, **48**: 392—404.
- [24] Shannon CE, Weaver W. The mathematical theory of communication [M]. Urbana: Illinois Univ. Press, 1949.
- [25] 左家哺, 傅德志. 中国裸子植物空间分布的多样性[A]. 载: 钱迎倩, 甄仁德. 生物多样性研究进展[C]. 北京: 中国科学技术出版社, 1995. 236—252.
- [26] 赵志模, 周新远. 生态学引论[M]. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1984. 201—206.
- [27] Heip C A. New index measuring evenness[J]. *Journ Mar Biol Assoc.* 1974, **54**: 555—557.
- [28] Lolyd M, Gheldardi R J. A table for calculatinf the equitability component of species diversity[J]. *Journ Anim Ecol.* 1964, **33**: 217—225.
- [29] Pielou E C. An introduction to mathematical ecology [M]. New York: Wiley-Interscience. 1969.
- [30] Sheldon A L. Equitability indices: dependence on the species count[J]. *Ecol.* 1969, **50**: 466—467.
- [31] Fisher R A, Corbet A S, Williams C B. The relation between the number of species and the number of individuals in random sample of an animal population [J]. *Journ Anim Ecol.* 1943, **12**: 42—58.
- [32] MacArthur R H. On bird species diversity[J]. *Ecol.* 1961, **42**: 594—598.
- [33] 马克平, 黄建辉, 于顺利, 等. 北京东灵山地区植物(下转第 208 页 Continue on page 208)