小流域治理 20 年后的千烟洲植物多样性

刘琪璟¹ 胡理乐^{2,1} 李轩然¹

(1 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101) (2 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016)

摘要 研究了小流域治理 20 年后千烟洲植物 α 多样性和 β 多样性, 结果如下: 1) 优势度: 所有人工林乔、灌、草 3 层均以乔木层优势度最大, 且乔木层优势度均大于天然次生林和枫香 (*Liquidambar formosana*) 林, 而所有天然次生林及枫香林均以乔木层优势度最小。12 种类型群落灌木层优势度都较小, 均值仅 0.17。草本层, 白茅 (*Imperata cylindrica* var. *major*) 草丛和 木 (*Loropetalum chinense*)-疏花雀麦 (*Bromus remotiflorus*) 灌丛优势度较大, 分别为 0.53 和 0.51。2) 多样性: 从乔、灌、草 3 层比较, 枫香林、天然马尾松 (*Pinus massoniana*) 林以乔木层最大, 其它群落以灌木层最大, 而所有人工林以乔木层最低。乔木层中枫香林最高 (2.61); 灌木层和草本层多样性存在相似之处: 马尾松 + 湿地松 (*Pinus elliotii*) 林最高, 除马尾松 + 山鸡椒 (*Litsea cubeba*) 林、板栗 (*Castanea mollissima*) + 枫香林外, 其它人工林多样性均高于天然次生林和枫香林。3) 丰富度: 各群落均以灌木层最大; 枫香林乔木层和灌木层种类丰富度均很高, 但草本层很低; 天然次生林乔木层丰富度指数大于人工林。4) 均匀度: 从灌、草层比较, 除 木-疏花雀麦灌丛和白茅草丛外, 其它群落草本层均匀度均大于灌木层。乔木层, 板栗 + 枫香林和马尾松 + 山鸡椒林均匀度指数很大, 大于 0.76, 其它人工林均匀度小于天然次生林和枫香林。灌木层, 除板栗 + 枫香林外, 其它人工林均匀度都大于天然次生林和枫香林。5) β 多样性与 α 多样性相互补充, 很好地反映了不同群落类型之间的差异。 β 多样性将 12 种类型群落分成 3 大类, 草丛、灌丛、具乔木层的群落, 其中草丛与其它类型群落相异性最大。枫香林是位于人工林与天然次生林之间的过渡类型。

关键词 植物多样性 小流域治理 植物群落类型 人工林

PLANT DIVERSITY IN QIANYANZHOU AFTER 20 YEARS OF SMALL WATERSHED TREATMENT

LIU Qi-Jing¹ HU Li-Le^{2,1} and LI Xuan-Ran¹

(1 Institute of Geographical Sciences and Natural Resource Researches, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

(2 Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China)

Abstract The species diversity of a small watershed was investigated following 20 years treatments. Our results showed that the species dominance index of the upper forest canopy layer was higher than other layers and was higher in the artificial forests than that in secondary forests and *Liquidambar formosana* stands. As a whole, the dominance index for the shrub layer of the 12 communities investigated was small, averaging 0.17. For the herb layer, the dominance index was high in the Ass. *Imperata cylindrica* var. *major* community (0.53) and the Ass. *Loropetalum chinense*-*Bromus remotiflorus* community (0.51). The species diversity index was high in the canopy layer of the *L. formosana* forest and natural *Pinus massoniana* forest but was low in other communities and, in particular, was lowest in the artificial forests. For the canopy layer, the species diversity index was the highest in the *L. formosana* forest (2.61). A similar trend was found in the sub-canopy layers with the highest value found in the *P. massoniana* + *P. elliotii* forest. Also, the species diversity index was higher in the artificial forests than that in the secondary forests except for the *P. massoniana* + *Litsea cubeba* and *Castanea mollissima* + *L. formosana* forests. The richness index was the highest in the shrub layer for all communities and was similarly high in both the canopy and herb layers as the shrub layer in the *L. formosana* forests. The richness index was higher in secondary forests than that in artificial forests. The evenness index or uniformity index in the herb layer was higher than that in the shrub layer except for the Ass. *Loropetalum chinense*-*Bromus remotiflorus* and Ass. *I. cylindrica* var. *major* stands. For the canopy layer, evenness was as high as 0.76 in the Ass. *C. mollissima* + *L. formosana* and Ass. *P. massoniana* + *L. cubeba* stands whereas other artificial forests had lower values than that in secondary forests and *L. formosana* stands. In the shrub layer, evenness was the highest in the artificial forests except for the *Castanea* +

Liquidambar forest. The diversity indices showed large differences between the shrub layer and other communities, and the *L. formosana* forest showed properties that can be considered a transitional type between artificial and secondary forests.

Key words Plant diversity, Small watershed treatment, Forest community types, Plantation

生物多样性是人类赖以生存的自然资源,生态系统生产力,生态系统服务功能及生态系统稳定性等都和生物多样性有密切关系(Paul *et al.*, 2004; Geoffrey, 2004; 张全国和张大勇, 2003)。由于过度开发利用,全球生物多样性正在减少(陈灵芝, 1993)。生物多样性包括:遗传多样性、物种多样性、生态系统多样性和景观多样性 4 个层次(马克平, 1993; Paulo *et al.*, 2001)。但在生物多样性中物种多样性占据核心和主体的重要地位,因为物种是客观存在的实体,是遗传多样性的载体和生态系统多样性的组成成分(宋延龄等, 1998)。植物群落的 α 多样性是刻画群落组成结构的重要指标(Magurran, 1988),也是群落发展过程中的一个重要指标(陈灵芝, 1993),它反映了群落组成和结构的变化,是群落功能和结构复杂性的度量(贺金生等, 1997; 谢晋阳和陈灵芝, 1994; 张林静等, 2002)。群落多样性(β 多样性)不仅能反映出地段之间物种构成的差异,而且可以直接反映环境的异质性(张金屯和陈廷贵, 2002)。控制 β 多样性的主要生态因子有土壤、地貌以及干扰等(Whittaker *et al.*, 2001; 唐志尧和方精云, 2004),因此 β 多样性是反映不同类型群落间环境差异的特征指标。

江西省千烟洲地处亚热带,雨量充足,具有典型亚热带季风气候特征,地带性植被为常绿阔叶林。由于长期以来过度樵采,小流域治理前的千烟洲森林植被早已破坏殆尽,退化成草丛和灌丛。小流域综合治理开发是促进水土保持、控制水土流失、改善生态环境和发展经济建设的重要途径。合理的小流域综合治理开发,可取得显著的社会、生态和经济效益(贾志斌等, 2001),而保护生物多样性是长期巩固小流域治理成果,进一步开发利用水土和生物资源的必要措施之一(张荣峰, 1997)。1983 年,中国科学院在地方政府支持下,选择千烟洲进行红壤丘陵区综合开发治理试验研究。经过 20 年的小流域治理,生态环境明显改善,主要表现在:森林覆盖率不断上升,水土流失基本得到控制,生物生产量与生物多样性快速增长。由于自然稀疏和各种阔叶树种的天然更新,大部分人工纯林在组成结构上都表现出不同的分化。关于植被研究,曾分别于 1980 和 1990 年

做过两次植被调查,分析了植物群落类型及种类组成,并探讨了退化植被恢复途径(杨宝珍, 1998; 孔德珍, 1998),但对植物多样性研究不多。千烟洲小流域治理是以生态恢复为原则的。作为这项工程所取得成就的一个侧面,本文根据群落学调查结果,讨论 α 多样性在不同类型群落中的分布格局,并通过 β 多样性揭示不同类型群落间,尤其是人工林与天然次生林之间的差异,展示小流域治理的生态效益,为探讨小流域治理过程中生物多样性恢复提供背景资料和理论基础。

1 研究区域与方法

1.1 环境概况

千烟洲试验站位于江西省中部吉泰盆地典型红壤丘陵区。站内海拔多在 100 m 左右,相对高度 20 ~ 50 m,属典型的红壤丘陵区。根据本站多年观测结果,年平均气温 17.9 °C, ≥ 0 °C 活动积温 6 523 °C, ≥ 10 °C 活动积温 6 015 °C; 平均降水量 1 489 mm; 年日照时数 1 406 h, 年日照百分率 43%, 太阳年总辐射量 4 349 MJ·m⁻²·a⁻¹; 无霜期 323 d, 具有典型亚热带季风气候特征。气象站的地理坐标为 115°03'44" E, 26°44'44" N, 海拔 72 m。主要的土壤类型有红壤、水稻土、潮土、草甸土等,成土母质多为红色砂岩、砂砾岩或泥岩,以及河流冲积物(中国科学院南方山区综合科学考察队, 1989)。

1.2 调查取样

野外调查于 2003 年 7 ~ 9 月在千烟洲试验站进行。选择不同群落类型分别在阴、阳坡各设 1 个 20 m × 20 m 样地,有些群落受地形及群落自身大小等因素限制,将样地面积缩为 10 m × 10 m 或 5 m × 5 m。共 10 个 20 m × 20 m 样地, 14 个 10 m × 10 m 样地, 两个 5 m × 5 m 样地。共 26 块样地,总面积 5 450 m²。20 m × 20 m 样地分成 4 个 10 m × 10 m 样方进行乔木调查,并在每一个 10 m × 10 m 样方内随机做两个 5 m × 5 m 灌木样方、4 个 1 m × 1 m 草本样方。对样方作标记以便复查。将 3 m 以上的植物记为乔木层。对乔木层植株进行每木检尺,灌木层记录每一植物种类的优势高度、株数、盖度,草本记录每一种类的平均高度、多度和盖度。同时用手持

GPS 测量:海拔、坡度、坡向和经纬度。将 26 块样地共分为 12 种类型群落,群落命名原则为:根据乔木层第一优势种或前两个共优种命名,灌木根据灌木层和草本层第一优势种命名,草丛根据草本层第一优势种命名。

1.3 数据处理

1.3.1 重要值

重要值(Importance value, IV)计算方法(张咏梅等,2003): $IV_{\text{乔木}} = (\text{相对显著度} + \text{相对密度} + \text{相对频度})/3 \times 100$; $IV_{\text{灌木}} = (\text{相对密度} + \text{相对频度})/2 \times 100$; $IV_{\text{草本}} = (\text{相对多度} + \text{相对频度})/2 \times 100$ 。

1.3.2 多样性指数

目前各类 α 多样性指数均有不足之处(王永繁等,2002a),且具尺度效应(王永繁等,2002b)。本文选用以下几个使用较多的多样性指数分析 α 多样性(张林静等,2002;张金屯,1995;中国科学院生物多样性委员会,1994)。丰富度指数采用 Margalef 指数: $Rm = (S - 1)/\ln N$,其中, S 为种类数, N 为所有种类的个体数之和。优势度指数采用 Simpson 指数: $\lambda = \sum p_i^2$, $P_i = N_i/N$, N_i 为第 i 个种类的个体数。多样性指数采用 Shannon-Wiener 指数: $H' = -\sum p_i \log p_i$ 。均匀度指数采用 Heip 指数: $Eh = [\exp(-\sum p_i \log p_i) - 1]/(S - 1)$ 。

β 多样性指数采用相异性系数(Community dissimilarity, CD): $CD = 1 - 2c/(a + b)$ 。 c 为两群落共有种类数, a 与 b 分别为两群落各自的种类数(刘增力等,2004)。

2 结果与分析

2.1 群落类型

千烟洲植物群落类型可分天然次生林和人工林两大类型,以人工林为主。天然次生林中有天然马尾松(*Pinus massoniana*)林和零星分布的小面积次生灌丛和草丛。人工林面积大,群落类型多,可分为针叶林、针阔混交林、阔叶林等。针叶林是人工林主要群落类型,可细分为单优种和双优种两种类型,前者有马尾松林、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)林和湿地松(*Pinus elliotii*)林;后者有马尾松 + 湿地松林。针阔混交林有湿地松 + 木荷(*Schima superba*)林和马尾松 + 山鸡椒(*Litsea cubeba*)林。阔叶林代表群落为板栗(*Castanea mollissima*) + 枫香(*Liquidambar formosana*)林。将枫香林归为介于人工林和天然次生林之间的一种过渡群落类型(半天然林)来研究,这是因为:枫香林虽然同人工林一样,群落初期乔木层

种类为人工种植,但枫香林乔木层种类丰富,乔木层天然更新种多,而其它人工林多为同龄林,乔木层种类稀少,且仍以人工种为主,后面多样性的研究也反映出枫香林与人工林存在许多差异。共调查研究了 12 种类型群落(表 1)。千烟洲 12 个群落共约有 150 种植物,灌木层种类最多,包括乔木幼树共 100 种,乔木层与草本层分别有 49 和 47 种。将乔木层分布样方数不小于 4 的种类及其重要值列于表 2,灌木层不小于 10 的列于表 3,草本层不小于 7 的列于表 4。

湿地松、马尾松、杉木是主要 3 种人工种类,另外还有枫香、木荷和板栗等。乔木层常见天然更新种类有:格药枲(*Eurya muricata*)、白栎(*Quercus fabri*)、乌饭树(*Vaccinium bracteatum*)、盐肤木(*Rhus chinensis*)和四川红淡比(*Adinandra bockiana*)等,高度一般低于 5 m。灌木层重要值排前 4 位的种类是木、白栎、白马骨(*Serissa serissoides*)和乌饭树,重要值分别为:11.3、9.8、8.2 和 5.5。木、白栎和乌饭树是灌木层分布最广泛的 3 个种类,从郁闭度大的人工林到阳光充足的灌丛及草丛,在 12 个群落中均有分布,且常为优势种,说明这 3 种植物适应能力强、生态位宽。草本层突出特点是蕨类植物比较丰富,12 种类型群落共有 12 种蕨。草本层前 3 位都是蕨类植物,分别为狗脊蕨(*Woodwardia japonica*)、暗鳞鳞毛蕨(*Dryopteris atrata*)和芒萁(*Dicranopteris dichotoma*),重要值分别为 19.0、10.6 和 10.1。鸡血藤(*Millettia reticulata*)是最常见的藤本植物。

2.2 α 多样性的分布格局

全面衡量物种多样性需要从物种丰富度、均匀度和优势度 3 个方面进行比较,它们具有一定的联系并分别从不同角度反映群落物种组成结构水平(Kvalseth, 1991;张继义等,2004)。

由图 1 可知:所有人工林(F ~ L)乔、灌、草 3 层均以乔木层优势度最大,且乔木层优势度均大于天然次生林(B ~ E)和枫香林(A),而所有天然次生林(B ~ E)及枫香林(A)均以乔木层优势度最小。乔木层,湿地松林(J)和杉木林(I)Simpson 优势度指数很大,分别为 0.77 和 0.75;其次,马尾松 + 湿地松林(F)、板栗 + 枫香林(K)和马尾松林(H)乔木层优势度也较大;而枫香林和天然马尾松林优势度低于 0.2。12 种类型群落灌木层的优势度都较小,在 0.07 ~ 0.26 之间,均值仅 0.17。草本层,白茅(*Imperata cylindrica* var. *major*)草丛(D)和木-疏花雀麦(*Bromus remotiflorus*)灌丛(B)优势度较大,分别为

表 1 样地概况
Table 1 Quadrat information

群落代码 Community code	样地编号 Quadrat number	面积 Area (m×m)	群落名称 Community name	坡向 Aspect(°)	坡度 Slope(°)	海拔 Altitude (m)
A	726A	20×20	枫香林 <i>Liquidambar formosana</i> forest	NE53	20	98
A	812A	20×20	枫香林 <i>Liquidambar formosana</i> forest	NW8	45	85
B	730A1	10×10	木-疏花雀麦灌丛 <i>Loropetalum chinense-Bromus remotiflorus</i> shrub	NW75	35	85
B	730A2	10×10	木-疏花雀麦灌丛 <i>Loropetalum chinense-Bromus remotiflorus</i> shrub	NW75	35	85
C	808A	10×10	木-蕨灌丛 <i>Loropetalum chinense-Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> shrub	NE85	25	124
C	810A	10×10	木-蕨灌丛 <i>Loropetalum chinense-Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> shrub	NE72	20	103
D	812B1	5×5	白茅草丛 <i>Imperata cylindrica</i> var. <i>major</i> herb	NE80	2	132
D	812B2	5×5	白茅草丛 <i>Imperata cylindrica</i> var. <i>major</i> herb	NE80	2	132
E	730B	10×10	天然马尾松林 <i>Pinus massoniana</i> forest	NE55	15	130
E	806A	10×10	天然马尾松林 <i>Pinus massoniana</i> forest	NE72	20	112
F	807B	10×10	马尾松 + 湿地松林 <i>Pinus massoniana</i> + <i>Pinus elliotii</i> forest	WS35	15	134
F	810B	10×10	马尾松 + 湿地松林 <i>Pinus massoniana</i> + <i>Pinus elliotii</i> forest	NE30	3	117
F	811A	10×10	马尾松 + 湿地松林 <i>Pinus massoniana</i> + <i>Pinus elliotii</i> forest	NE45	5	116
F	811B	10×10	马尾松 + 湿地松林 <i>Pinus massoniana</i> + <i>Pinus elliotii</i> forest	NE22	5	119
G	807A	10×10	马尾松 + 山鸡椒林 <i>Pinus massoniana</i> + <i>Litsea cubeba</i> forest	SW82	30	110
H	731A	20×20	马尾松林 <i>Pinus massoniana</i> forest	NW10	35	102
H	801A	20×20	马尾松林 <i>Pinus massoniana</i> forest	SE35	25	107
I	803A	20×20	杉木林 <i>Cunninghamia lanceolata</i> forest	NE20	10	95
I	804A	10×10	杉木林 <i>Cunninghamia lanceolata</i> forest	SE35	20	94
J	802A	20×20	湿地松林 <i>Pinus elliotii</i> forset	SW23	20	102
J	802B	20×20	湿地松林 <i>Pinus elliotii</i> forset	WS10	5	94
K	808B	10×10	板栗 + 枫香林 <i>Castanea mollissima</i> + <i>Liquidambar formosana</i> forset	NW35	8	92
K	808C	10×10	板栗 + 枫香林 <i>Castanea mollissima</i> + <i>Liquidambar formosana</i> forset	NW60	8	90
L	727A	20×20	湿地松 + 木荷林 <i>Pinus elliotii</i> + <i>Schima superba</i> forest	WS40	30	85
L	801B	20×20	湿地松 + 木荷林 <i>Pinus elliotii</i> + <i>Schima superba</i> forest	NW12	5	76
L	806B	20×20	湿地松 + 木荷林 <i>Pinus elliotii</i> + <i>Schima superba</i> forest	NW12	20	79

表 2 乔木层树种重要值
Table 2 Importance value of trees

种类 Species	重要值 IV	样方数 Sample number
马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	25.1	24
湿地松 <i>Pinus elliotii</i>	24.0	29
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	11.6	8
枫香 <i>Liquidambar formosana</i>	7.5	15
木荷 <i>Schima superba</i>	5.6	11
白栎 <i>Quercus fabri</i>	3.8	11
木 <i>Loropetalum chinense</i>	3.5	13
格药铃 <i>Eurya muricata</i>	2.6	14
白玉兰 <i>Magnolia heptapeta</i>	2.4	4
乌饭树 <i>Vaccinium bracteatum</i>	2.0	11
盐肤木 <i>Rhus chinensis</i>	1.8	9
樟树 <i>Cinnamomum camphora</i>	1.4	7
四川红淡比 <i>Adinandra bockiana</i>	1.2	14
汤饭子 <i>Viburnum setigerum</i>	0.6	4
漆树 <i>Rhus verniciflua</i>	0.6	5
苦楝树 <i>Melia azedarach</i>	0.5	4
黄檀 <i>Dalbergia hupehana</i>	0.4	4

0.53 和 0.51, 人工林中, 板栗 + 枫香林(K)和马尾松 + 山鸡椒林(G)优势度比其它人工林大很多。

由图 2 可知: 12 个类型群落多样性指数平均值的排序为灌木层 > 草本层 > 乔木层, 分别为 2.39、1.87 和 1.51。从乔、灌、草 3 层比较多多样性指数, 枫香林(A)、天然马尾松林(E)以乔木层最大, 其它群落以灌木层多样性最大, 而所有人工林以乔木层最低。从乔木层比较, 枫香林(A)最高(2.61), 其次为天然马尾松林(E), 人工林低于 1.6, 湿地松 + 木荷林(L)和马尾松林(H)最高, 杉木林(I)和湿地松林(J)最低, 分别仅有 0.57 和 0.57。灌木层和草本层多样性指数有许多相似之处: 马尾松 + 湿地松林(F)最高, 除干扰严重的马尾松 + 山鸡椒林(G)、板栗 + 枫香林(K)外, 其它人工林多样性均高于天然次生林和枫香林。多样性指数与优势度指数存在强的负相关, 相关系数为 -0.91($p = 0.01$)。

丰富度指数(图 3)与多样性指数存在较高的正相关性, 两指数相关系数为 0.85($p = 0.01$)。12 群

表 3 灌木层植物重要值
Table 3 Importance value of shrubs

种类 Species	重要值 IV	样方数 Sample number
木 <i>Loropetalum chinense</i>	10.8	64
白马骨 <i>Serissa serissoides</i>	9.8	35
白栎 <i>Quercus fabri</i>	8.3	78
山莓 <i>Rubus corchorifolius</i>	4.2	59
乌饭树 <i>Vaccinium bracteatum</i>	4.2	63
牡荆 <i>Vitex negundo</i> var. <i>cannabifolia</i>	3.5	30
土茯苓 <i>Smilax glabra</i>	3.4	57
盐肤木 <i>Rhus chinensis</i>	3.2	55
长托菝葜 <i>Smilax ferox</i>	2.9	47
大叶胡枝子 <i>Lespedeza davidii</i>	2.8	33
白檀 <i>Symplocos paniculata</i>	2.8	48
满树星 <i>Ilex aculeolata</i>	2.3	41
格药枰 <i>Eurya muricata</i>	2.2	37
四川红淡比 <i>Adinandra bockiana</i>	2.1	36
小果蔷薇 <i>Rosa cymosa</i>	1.9	33
鸡血藤 <i>Millettia reticulata</i>	1.7	29
栀子 <i>Gardenia jasminoides</i>	1.6	29
木荷 <i>Schima superba</i>	1.6	17
紫薇 <i>Lagerstroemia indica</i>	1.4	23
黄檀 <i>Dalbergia hupehana</i>	1.4	23
长叶冻绿 <i>Rhamnus crenata</i>	1.2	21
三叶赤楠 <i>Syzygium grijsii</i>	1.0	18
金银花 <i>Lonicera japonica</i>	1.0	14
算盘子 <i>Glochidion puberum</i>	0.9	16
朱砂根 <i>Ardisia crenata</i>	0.8	12
马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	0.8	14
羊角藤 <i>Morinda umbellata</i>	0.8	14
乌桕 <i>Sapium sebiferum</i>	0.7	13
汤饭子 <i>Viburnum setigerum</i>	0.7	12
漆树 <i>Rhus verniciflua</i>	0.7	12
杜鹃 <i>Rhododendron simsii</i>	0.6	10
樟树 <i>Cinnamomum camphora</i>	0.6	10
多花勾儿茶 <i>Berchemia floribunda</i>	0.5	10
油桐 <i>Aleurites fordii</i>	0.5	10

图 1 优势度指数
Fig.1 Simpson dominance index
Ar, Sh, He 分别代表乔木层、灌木层、草本层 Ar, Sh and He represent the arbor, shrub and herb, respectively 群落代码 A ~ L 同表 1
Community code A ~ L see Table 1

表 4 草本层植物重要值
Table 4 Importance value of herbs

种类 Species	重要值 IV	样方数 Sample number
狗脊蕨 <i>Woodwardia japonica</i>	10.5	71
暗鳞鳞毛蕨 <i>Dryopteris atrata</i>	9.5	64
芒萁 <i>Dicranopteris dichotoma</i>	9.2	50
穹隆苔草 <i>Carex gibba</i>	6.9	34
海金沙 <i>Lygodium japonicum</i>	6.6	44
扇叶铁线蕨 <i>Adiantum flabellulatum</i>	6.4	45
球米草 <i>Oplismenus undulatifolius</i>	6.0	30
白茅 <i>Imperata cylindrica</i> var. <i>major</i>	4.5	13
地 <i>Melastoma docleacandrum</i>	4.4	18
疏花雀麦 <i>Bromus remotiflorus</i>	4.2	19
井栏边草 <i>Pteris multifida</i>	3.5	23
锈点苔草 <i>Carex bodimieri</i>	3.3	21
淡竹叶 <i>Lophatherum gracile</i>	3.3	16
乌蕨 <i>Stenoloma chusanum</i>	2.7	18
蕨 <i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i>	2.4	17
渐尖毛蕨 <i>Cyclosorus acuminatus</i>	2.1	13
油芒 <i>Spodiopogon cotulifera</i>	1.9	12
山芝麻 <i>Helicteres angustifolia</i>	1.8	12
长尾复叶耳蕨 <i>Arachniodes simplicior</i>	1.4	10
毛果珍珠茅 <i>Scleria levis</i>	1.3	7
异叶蛇葡萄 <i>Ampelopsis heterophylla</i>	1.1	8
小叶葡萄 <i>Vitis sinocinerea</i>	0.9	7

图 2 多样性指数
Fig.2 Shannon-Wiener diversity index
图注同图 1 Notes see Fig. 1

落类型丰富度指数平均值的排序与多样性指数一致：灌木层 > 草本层 > 乔木层，且各群落均以灌木层丰富度指数最大。枫香林乔木层、灌木层种类丰富度均很高，但其草本层很低。天然次生林乔木层丰富度指数大于人工林，但其乔、灌、草 3 层丰富度指数的均值小于人工林。丰富度指数反映的群落特征与多样性指数基本一致。均匀度指数(图 4)显示：12 群落类型均匀度指数平均值以灌木层最小

图3 丰富度指数
Fig.3 Margalef abundance index
图注同图1 Notes see Fig. 1

图4 均匀度指数
Fig.4 Heip uniformity index
图注同图1 Notes see Fig. 1

(0.35); 而乔木层与草本层相近, 分别为 0.51 和 0.49。这与灌木层种类丰富、多样性高有关。但灌木层均匀值变化范围最小, 0.22 ~ 0.54, 乔木层均匀度变化范围最大, 0.13 ~ 0.94。从灌木层、草本层比较, 除 木-疏花雀麦灌丛(B)和白茅草丛(D)外, 其它群落草本层的均匀度均大于灌木层。乔木层, 板栗 + 枫香林(K)均匀度指数最大, 达 0.94, 其次为马尾松 + 山鸡椒林(G)(0.76), 其它人工林均匀度小于天然次生林(E、C)和枫香林(A)。灌木层, 除板栗 + 枫香林(K)外, 其它人工林均匀度都大于天然次生林(E、C)和枫香林(A)。

2.3 β 多样性比较

β 多样性反映了不同群落间物种组成的差异, 测定 β 多样性的重要意义在于: 它可以用来比较不同地点的生境多样性; 与 α 多样性一起构成了群落或生态系统总体多样性或一定地段的生物异质性(林开敏和黄宝龙, 2001; 马克平等, 1995)。由图 5 可知: 人工林(F ~ L)相互之间 β 多样性较小, 除马尾

松 + 山鸡椒林(G)与湿地松 + 木荷林(L)的 β 多样性为 0.62 外, 其余的都小于 0.6; 其中湿地松林(J)与马尾松 + 湿地松林(F)、马尾松林(H)、杉木林(I)之间的 β 多样性小于 0.4。这表明人工林之间种类组成相近。

按 4 个天然次生林与其它所有群落的 β 多样性的均值排序为: 白茅草丛(D)与其它群落的相异性系数最大, 均值为 0.82; 其中, 与人工林的相异性系数最大。 木-蕨灌丛(C)与其它群落的相异性也较大, 均大于 0.6。其次, 木-疏花雀麦灌丛(B)、天然马尾松林(E)与其它群落的性也较大。天然马尾松林与其它天然次生林的相异系数比与人工林的相异系数大, 这说明天然马尾松林与人工林具有更多的相同点, 如: 其它 3 个天然次生林缺乏乔木层或乔木层种类稀少, 而天然马尾松林同人工林一样优势层为乔木层, 即天然马尾松林的群落结构更接近于人工林。枫香林除与 木-蕨灌丛(C)、白茅草丛(D)的 β 多样性指数大于 0.6 外, 与其它群落均在 0.4 ~ 0.6 之间。这反映了枫香林为位于人工林和天然次生林之间的过渡类型。

图5 β 多样性指数
Fig.5 β diversity index
群落代码 A ~ L 同表 1 Community code A ~ L see Table 1 CD: 相异性系数 Community dissimilarity

3 结论与讨论

从群落植物种类总数比较, 具乔木层的群落 > 灌丛 > 草丛。枫香林种类最多, 近 80 种, 湿地松 + 木荷林、马尾松 + 湿地松林次之, 马尾松 + 山鸡椒林

种类数很少,仅比白茅草丛多,该草丛种类总数不到 20 种。这表明群落垂直结构复杂的群落物种丰富度更高。灌木层在所有群落中均是丰富度指数最大的层。

人工林多为同龄林,近纯林,乔木层优势种单一,且第一优势种的重要值非常大,所以乔木层优势度大,其中湿地松林和杉木林 Simpson 优势度指数最大。板栗 + 枫香林和马尾松 + 山鸡椒林草本层优势度比其它人工林大很多。由于乔木层优势种单一,优势度大,加上种植密度大,天然次生种暂时难以挤身到乔木层,所以乔木层多样性低。灌木层是人工林多样性最高的层。从灌、草层多样性指数分析,马尾松 + 湿地松林最高,除干扰严重的马尾松 + 山鸡椒林、板栗 + 枫香林外,其它人工林多样性均高于天然次生林和枫香林。其原因可能在于天然次生林处于群落演替早期,且长期受到人为干扰,而人工林群落结构稳定,乔木层、灌木层、草本层 3 层植物占据各自的生态位,分布格局稳定,所以灌木层和草本层 α 多样性比天然次生林高。人工林均匀度情况为:板栗 + 枫香林乔木层均匀度指数最大,达 0.94,其次为马尾松 + 山鸡椒林(0.76)。这两个群落砍伐严重,乔木层种类数十分稀少,分别仅有 3 种和 5 种,且人工成行种植,物种重要值相近,所以它们乔木层均匀度指数大。其它人工林乔木层均匀度小于天然次生林和枫香林,这些人工林乔木层群落优势种重要值极大,在 60 以上,它们往往以 1 种植物为群落绝对优势种,以致它们均匀度低。从灌木层均匀度分析,除板栗 + 枫香林(K)外,其它人工林都大于天然次生林和枫香林。人工林乔木层在群落中占据绝对优势,郁闭度大,而灌木层植株稀少,但灌木层丰富度比天然次生林还高;天然马尾松林乔木层盖度比人工林小,木-蕨灌丛以灌木层为优势层,这两群落灌木层植株个体数多,盖度分布高达 69% 和 95%,灌木层优势度大;由这些比较不难理解人工林灌木层均匀度比天然林大这一事实。由上述分析可知,板栗 + 枫香林和马尾松 + 山鸡椒林由于人为砍伐严重,多样性特征与其它人工林有许多差异。

枫香林乔木层植物种类虽多为人工种植,但优势度指数、多样性指数、均匀度指数与人工林有着很大差异,其多样性特征与天然马尾松更相近,因此本文将其作为半天然林讨论。从乔、灌、草 3 层比较,枫香林、天然马尾松林以乔木层多样性最大,其它群落均以灌木层最大。枫香林乔木层优势度远小于人工林小,与天然马尾松相近;多样性远小于人工林大,

略比天然马尾松林大。枫香林乔木层和灌木层多样性指数与丰富度指数均很高,但草本层很低。

所有天然次生林优势度均以乔木层最小,多样性均以灌木层最大。天然马尾松林是千烟洲唯一一种以乔木层为优势层的天然次生植被类型。

β 多样性指数与 α 多样性指数相补充,很好地反映了不同群落类型之间多样性的差异。草丛群落与其它群落的相异性系数最大。白茅草丛不具乔木层树种,灌木层和草本层的多样性及丰富度均比其它群落低,两层优势度均比其它群落高。灌丛与其它群落的相异性也较大,乔、灌、草 3 层多样性及丰富度均较低。天然马尾松林与人工林的多样性差异主要表现在:天然马尾松林的乔木层多样性远小于人工林高,但灌木层和草本层的多样性不及人工林;天然马尾松林乔木层和草本层的均匀度很高,但灌木层的均匀度较低。人工林之间具有十分小的相异性。人工林乔木层优势度大,多样性低,其中混交林(马尾松 + 湿地松林、湿地松 + 木荷林)的多样性高于其它人工林。枫香林虽为人工林,但具有许多与其它人工林不同的群落特征, β 多样性也反映出枫香林位于人工林与天然林之间。枫香林与天然马尾松相似特征有:乔木层多样性高,但灌木层和草本层多样性比其它人工林低;乔木层优势度很小,但灌木层和草本层优势度比人工林(除干扰严重的马尾松 + 山鸡椒林、板栗 + 枫香林群落外)大;灌木层均匀度很小,但乔木层均匀度大于其它人工林。

由于没有以前的调查资料,所以无法用确切数据来比较 20 年前后多样性的变化。但从 20 年后多样性结果分析可知,在所有群落类型中,草丛群落多样性最低,其次是灌丛,且这两种群落植物种类数远小于乔木层的群落。小流域治理前,千烟洲植被以草丛为主,间有部分灌丛,而今群落类型比较丰富,以人工林为主,1999 年植被覆盖率统计结果为 93.3%。因此,我们可得出以下结论:20 年小流域治理增加了千烟洲植物多样性。但与许多自然保护区相比(邓贤兰,2003;柴勇等,2004),千烟洲植物多样性不高。12 个类型群落多样性的平均值以灌木层最高(2.39)。Shannon-Wiener 多样性指数一般在 1.5 ~ 3.5 之间,很少超过 4.5(中国科学院生物多样性委员会,1994),可见,千烟洲植物多样性指数不高,这反映了群落植被尚处于恢复期。

参 考 文 献

- 院生物多样性委员会) (1994). *Principles and Methodologies of Biodiversity Studies* (生物多样性研究的原理与方法). China Science and Technology Press, Beijing, 141 – 165. (in Chinese)
- Chai Y (柴勇), Li YY (李玉媛), Fang B (方波), He LP (何丽萍), He R (何蓉) (2004). Study on the species diversity of natural forests in Caiyanghe Nature Reserve. *Journal of Fujian College of Forestry* (福建林学院学报), 24, 75 – 79. (in Chinese with English abstract)
- Chen LZ (陈灵芝) (1993). *Chinese Biodiversity: Current Situations and Conservation Strategies* (中国的生物多样性: 现状及保护对策). Science Press, Beijing, 112 – 156. (in Chinese)
- Deng XL (邓贤兰) (2003). Analyses on species diversity of *Castanopsis eyrei* community in Jinggangshan Nature Reserve. *Journal of Jinggangshan Normal College* (Natural Sciences Edition) (井冈山师范学院学报 (自然科学版)), 24, 10 – 13. (in Chinese with English abstract)
- Geoffrey H (2004). Economics of biodiversity: an introduction. *Resource and Energy Economics*, 26, 105 – 114.
- He JS (贺金生), Chen WL (陈伟烈) (1997). A review of gradient changes in species diversity of land plant communities. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 17, 91 – 99. (in Chinese with English abstract)
- Jia ZB (贾志斌), Jin ZP (金争平), Liu SR (刘书润) (2001). Primary study on comprehensive improvement of small watershed and biodiversity restoration. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University* (内蒙古农业大学学报), 22, 56 – 60. (in Chinese with English abstract)
- Kong DZ (孔德珍) (1998). Study on the restoration of degraded vegetation in Qianyanzhou hilly red soil region. In: Cheng T (程彤) ed. *Study on the Restoration of Red Hilly Ecosystem and Sustainable Development of Agriculture* (Vol. 2) (红壤丘陵生态系统恢复与农业持续发展研究 (二)). China Meteorological Press, Beijing, 44 – 51. (in Chinese)
- Kvalseth TO (1991). Note on biological diversity, evenness, and homogeneity measures. *Oikos*, 62, 123 – 127.
- Lin KM (林开敏), Huang BL (黄宝龙) (2001). Studies on β -diversity index of undergrowth plant in Chinese fir plantation. *Biodiversity Science* (生物多样性), 9, 157 – 161. (in Chinese with English abstract)
- Liu ZL (刘增力), Zheng CY (郑成洋), Fang JY (方精云) (2004). Changes in plant species diversity along an elevation gradient on Mt. Xiaowutai, Hebei, China. *Biodiversity Science* (生物多样性), 12, 137 – 145. (in Chinese with English abstract)
- Ma KP (马克平) (1993). On the concept of biodiversity. *Chinese Biodiversity* (生物多样性), 1, 20 – 22. (in Chinese with English abstract)
- Ma KP (马克平), Liu CR (刘灿然), Liu YM (刘玉明) (1995). Measurements of community diversity. II. β -Diversity. *Chinese Biodiversity* (生物多样性), 3, 38 – 43. (in Chinese with English abstract)
- Magurran AE (1988). *Ecological Diversity and Its Measurement*. Princeton University Press, Princeton, 1 – 179.
- Paulo ALDN, Jeroen CJMVDB (2001). Economic valuation of biodiversity: sense or nonsense? *Ecological Economics*, 39, 203 – 222.
- Paul RA, Bruce EK, Frank WD (2004). An introduction to biodiversity concepts for environmental economists. *Resource and Energy Economics*, 26, 115 – 136.
- Scientific Investigation Team of Chinese Academy of Sciences for Southern Mountainous Areas, Management office of natural resources in Ji'an Prefecture of Jiangxi Province (中国科学院南方山区综合科学考察队) (1989). *Management and Development of Red Hilly Area—Experimental Study in Qianyanzhou* (红壤丘陵综合开发治理——千烟洲综合开发治理试验研究). Science Press, Beijing, 1 – 23. (in Chinese)
- Song YL (宋延龄), Yang QR (杨亲二), Huang YQ (黄永青) (1998). *Study and Conversation of Species Diversity* (物种多样性研究与保护). Zhejiang Science & Technology Press, Hangzhou, 1 – 261. (in Chinese)
- Tang ZY (唐志尧), Fang JY (方精云) (2004). A review on the elevational patterns of plant species diversity. *Biodiversity Science* (生物多样性), 12, 20 – 28. (in Chinese with English abstract)
- Wang YF (王永繁), Yu SX (余世孝), Liu WQ (刘蔚秋) (2002). A new species diversity index and its fractal analysis. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 26, 391 – 395. (in Chinese with English abstract)
- Whittaker RJ, Willis KJ, Field R (2001). Scale and species richness: towards a general hierarchical theory of species diversity. *Journal of Biogeography*, 28, 453 – 470.
- Xie JY (谢晋阳), Chen LZ (陈灵芝) (1994). Species diversity characteristics of deciduous forests in the warm temperate zone of North China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 14, 337 – 344. (in Chinese with English abstract)
- Yang BZ (杨宝珍) (1998). Variations and distributions of vegetation types before and after management in Qianyanzhou red hilly region. In: Cheng T (程彤) ed. *Study on the Restoration of Red Hilly Ecosystem and Sustainable Development of Agriculture* (Vol. 2) (红壤丘陵生态系统恢复与农业可持续发展研究 (二)). China Meteorological Press, Beijing, 34 – 43. (in Chinese)
- Zhang JT (张金屯), Chen TG (陈廷贵) (2002). A Study on the biodiversity of plant communities in Guandi Mountains. Shanxi: United diversity and β -diversity. *Journal of Shanxi University* (Natural Science Edition) (山西大学学报 (自然科学版)), 25, 173 – 175. (in Chinese with English abstract)
- Zhang JT (张金屯) (1995). *Methods of Quantitative Vegetation Ecology* (植被数量生态学方法). China Science and Technology Press, Beijing, 1 – 318. (in Chinese)

Zhang JY (张继义), Zhao HL (赵哈林), Zhang TH (张铜会), Zhao XY (赵学勇) (2004). Dynamics of species diversity of communities in restoration processes in Horqin sandy land. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 28, 86 – 92. (in Chinese with English abstract)

Zhang LJ(张林静), Yue M (岳明), Zhao GF (赵桂仿), Zhang YD (张远东), Gu FX (顾峰雪), Pan XL (潘晓玲) (2002). Plant community species diversity on oasis-desert ecotone in Fukang of Xinjiang and comparison of its measurement. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*(西北植物学报), 22, 350 – 358. (in Chinese with English abstract)

Zhang QG (张全国), Zhang DY (张大勇) (2003). Biodiversity and ecosystem functioning: recent advances and trends. *Biodiversity Science*(生物多样性), 11, 351 – 363. (in Chinese with English abstract)

Zhang RF (张荣峰) (1997). Biological diversity protection in watershed. *Jiangxi Hydraulic Science & Technology* (江西水利科技), 23, 185 – 188. (in Chinese with English abstract)

Zhang YM (张咏梅), Zhou GY (周国逸), Wen DZ (温达志), Zhang DQ (张德强), Zhang QM (张倩媚) (2003). Dynamics of the *Castanopsis chinensi-Schima superba-Cryptocarya concinna* community of monsoon evergreen broadleaved forest in Dinghushan Natura Reserve in lower subtropical China. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 27, 256 – 262. (in Chinese with English abstract)

责任编辑: 张金屯 责任编辑:姜联合