

4 种典型地带性植被生物量与物种多样性比较

王 斌, 杨校生

(中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400)

摘要: 以中国生态系统研究网络长期定位观测的西双版纳热带季节雨林、鼎湖山亚热带常绿阔叶林、哀牢山中山湿性常绿阔叶林和长白山阔叶红松林为基础, 分析比较 4 种森林类型生物量空间分布格局、生物生产力以及物种多样性之间的差异。结果表明, 西双版纳总生物量为 $328\ 200\ \text{t}\ \text{hm}^{-2}$, 鼎湖山为 $318\ 755\ \text{t}\ \text{hm}^{-2}$, 哀牢山为 $471\ 608\ \text{t}\ \text{hm}^{-2}$, 长白山为 $263\ 090\ \text{t}\ \text{hm}^{-2}$, 根生物量约占总生物量的 18% - 22%; 热带亚热带森林的生物量高于温带森林而根冠比 (R/S) 比小于温带森林, 4 种森林不同层次间的 R/S 是草本 > 灌木 > 乔木; 热带亚热带森林物种丰富度指数和 Shannon-Wiener 多样性指数高于温带森林, 均匀度指数则没有明显的变化规律。

关键词: 地带性植被; 生物量; 物种多样性

中图分类号: S718.54⁺5 S718.55⁺6 文献标识码: A 文章编号: 1001-389X(2009)04-0345-06

Comparison of biomass and species diversity of four typical zonal vegetations

WANG Bin, YANG Xiao-sheng

(Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang, Zhejiang 311400, China)

Abstract Based on the location observation data of Chinese ecosystem research network about the tropical seasonal rain forest in Xishuangbanna, the subtropical evergreen broad leaved forest in Dinghushan Mountain, the moist evergreen broad leaved forest in Ailao Mountain and the broad-leaved Korean pine forest in Changbai Mountain, this paper analyzed and compared the main differences about the spatial distributing pattern of biomass, net primary production and species diversity of four forest types. The results showed that the total biomass was $328\ 200\ \text{t}\ \text{hm}^{-2}$ in Xishuangbanna, $318\ 755\ \text{t}\ \text{hm}^{-2}$ in Dinghushan Mountain, $471\ 608\ \text{t}\ \text{hm}^{-2}$ in Ailao Mountain, $263\ 090\ \text{t}\ \text{hm}^{-2}$ in Changbai Mountain, the proportion of root biomass was about 18% - 22%. The biomass of tropical and subtropical forest was higher than temperate forest, but the R/S was lower than temperate forest. Meanwhile, the R/S was herbage > shrub > tree among different layers. The species richness index and Shannon-Wiener species diversity index in different forest types of tropical and subtropical was higher than temperate forest, while the evenness index has no obvious rules.

Key words zonal vegetation; biomass; species diversity

全球环境变化所带来的一系列问题是全人类面临的严峻挑战, 全球变暖、气象水文灾害频发、海平面升高、荒漠化加剧、生物多样性丧失等, 已严重影响人类社会的发展^[1]。随着环境问题日益为人们所重视, 作为生态系统最重要功能的生物量和生物多样性研究已成为生态学研究中的热点^[2-3]。生物量作为生态系统积累的植物有机质总量, 是整个生态系统运行的能量基础和营养物质来源, 生物生产力的研究, 是判断生态系统是大气中 CO_2 的源和汇的重要标志^[4]。生物多样性是地球上数以百万计的动物、植物、微生物及其与环境形成的生态复合体, 以及与此相关的各种生态过程^[5], 它是地球上人类赖以生存的物质基础, 并且健康的生态系统有赖于物种的多样性。因此, 生物量研究以及生物多样性研究具有重要的理论和现实意义, 与之相关的研究报道也很多^[6-8], 生态学家们从不同角度阐述了两者的关系, 由于不同学者所采用的研究方法不同, 往往得出不一致甚至相悖的结论^[2-3]。

不同气候区各种典型地带性植被的生物量和物种多样性是群落对环境长期适应的结果, 对于研究生物量与生物多样性的关系具有较高的参考价值。为研究我国不同生物地带森林生态系统生物量与物种多样性之间的关系, 笔者以中国生态系统研究网络长期定位观测的热带、亚热带和温带地区 4 种地带性顶级森林群落类型, 即西双版纳热带季节雨林、鼎湖山亚热带常绿阔叶林、哀牢山中山湿性常绿阔叶林和长白山

收稿日期: 2009-06-19 修回日期: 2009-09-14

基金项目: 中国林业科学研究院亚热带林业研究所基本科研业务费资助项目 (RBF6903); 国家生态系统观测研究台站网络建设资助项目 (SY066J0220)。

作者简介: 王斌 (1978-), 男, 湖北石首人, 助理研究员, 博士, 从事生态系统服务功能研究。E-mail: ylwangbin@sina.com.cn

山阔叶红松林为基础, 利用其长期定位观测资料, 分析和比较 4 种森林类型的生物量、生产力以及物种多样性之间的关系, 在丰富和完善不同生物地带森林类型生态系统结构与功能研究的同时, 通过对自然林生态系统的研究, 为林业生产提供有价值的依据。

1 样地自然概况

所选 4 个样地均是中国生态系统研究网络长期定位观测样地, 分别属于西双版纳热带雨林生态系统研究站、鼎湖山森林生态系统研究站、哀牢山森林生态系统研究站和长白山森林生态系统研究站, 样地保护完好, 无放牧及森林砍伐, 人为干扰活动较少。其中热带季节雨林样地位于西双版纳勐仑自然保护区北片的核心地带, 是热带北缘的顶级群落类型, 以绒毛番龙眼 (*Pometia tomentosa*) 和干果榄仁 (*Terminalia myriocarpa* Huerch) 为标志种。亚热带季风常绿阔叶林样地位于鼎湖山自然保护区, 植被保护良好, 属群落演替顶级阶段, 乔木层优势种为锥栗 (*Castanopsis chinensis*)、木荷 (*Schinus superba*)、云南银柴 (*Aporosa yunnanensis*) 等。中山湿性常绿阔叶林样地位于哀牢山徐家坝中心地带, 属亚热带山地气候, 干雨季分明, 群落演替稳定, 乔木树种主要由壳斗科 (Fagaceae)、茶科 (Theaceae)、樟科 (Lauraceae) 及木兰科 (Magnoliaceae) 的种类组成。阔叶红松林样地位于吉林省安图县二道白河镇, 为原始森林干扰后自然演替的顶级群落, 乔木层优势种为红松 (*Pinus koraiensis*)、紫椴 (*Tilia amurensis*)、假色槭 (*Acer pseudo-sieboldianum*) 等。各样地面积及自然环境条件见表 1。

表 1 样地的基本情况
Table 1 Description of study plots

地点	森林类型	平均林龄 /a	面积 /m ²	地理位置	
西双版纳	季节雨林	150	10 000	21°57'39.4"N	101°12'00.4"E
鼎湖山	常绿阔叶	400	2 500	23°10'9.90"N	112°32'22.64"E
哀牢山	中山湿性	130	10 000	24°32'53"N	101°01'41"E
长白山	阔叶红松	140	1 600	42°24'11"N	128°05'44"E

地点	海拔 /m	坡度 / (°)	年平均气温 /°C	> 10 °C 年积温 /°C	年平均降水量 /mm	年平均相对湿度 /%
西双版纳	730	22	21.8	4 387.9	1 506.3	86
鼎湖山	300	30	21	7 495.7	1 996	80
哀牢山	2 488	15	11	3 420	1 931.1	86
长白山	784	2	3.5	2 335	750	71

2 研究方法

2.1 样地调查及个体采样

研究数据来自中国生态系统研究网络所属西双版纳站、鼎湖山站、哀牢山站和长白山站提交的 2004–2005 年间的定位观测数据, 所有数据调查均按照中国生态系统研究网络长期定位观测技术标准执行。采用样地法和每木检尺, 分乔木、灌木和草本层采样。乔木层包括每木调查 (树号、种名、胸径、高度、生活型)、样方统计以及优势种、组成种各器官的生物量。灌木层包括种名、优势种高度及盖度、株数 / 多度、生活型、总干重及各器官干重。草本层包括种名、优势种高度及盖度、株数 / 多度、生活型、地上干重及根干重。由于 4 个台站已经按照要求统一建立了对应样地各树种的生物量估算模型 (约 60 个树种 240 个方程), 本研究在此借用这些已建立的模型计算 4 种森林类型的生物量。

2.2 物种多样性计算

应用 Margalef 物种丰富度指数 (D)、Shannon-Wiener (H') 多样性指数和 Pielou 均匀度指数 (E) 测度不同森林类型的物种多样性。物种丰富度指数主要用于描述物种数的丰富程度, H' 多样性指数的大小反映物种的多少和各物种所占比例的变化, 均匀度指数反映群落中各物种在面积上分布的不均匀程度。

3 结果与分析

3.1 生物量比较

3.1.1 生物量组成特征 根据各树种生物量回归模型计算样地内乔木和灌木各器官生物量, 根据样地外

相同立地条件下草本层的单位面积生物量计算样地内草本层生物量, 结果见表 2。

表 2 不同森林类型各层生物量组成

Table 2 Biomass composition in different layers of four forest types

层次	类型	西双版纳		鼎湖山		哀牢山		长白山	
		生物量 $t \cdot hm^{-2}$	比例 %						
乔木层	干	222 755	67.872	164 993	51.762	310 655	65.872	164 940	62.693
	枝	35 280	10.750	87 992	27.605	62 336	13.218	29 224	11.108
	叶	4 199	1.279	6 531	2.049	3 182	0.675	4 108	1.561
	根	63 095	19.225	57 538	18.051	89 944	19.072	58 795	22.348
	合计	325 329	99.125	317 054	99.466	466 118	98.836	257 066	97.710
灌木层	枝	1 175	0.358	0 285	0.089	3 191	0.677	3 496	1.329
	叶	0 207	0.063	0 171	0.054	0 499	0.106	0 487	0.185
	根	0 402	0.123	0 213	0.067	0 964	0.204	1 794	0.682
	合计	1 784	0.544	0 669	0.210	4 654	0.987	5 776	2.196
草本层	地上	0 598	0.182	0 663	0.208	0 476	0.101	0 098	0.037
	地下	0 489	0.149	0 369	0.116	0 361	0.077	0 150	0.057
	合计	1 087	0.331	1 032	0.324	0 837	0.177	0 247	0.094
全林	合计	328 200	100.000	318 755	100.000	471 608	100.000	263 090	100.000

从表 2 可以看出, 西双版纳原始热带季节雨林的生物量为 $328\ 200\ t \cdot hm^{-2}$, 鼎湖山亚热带常绿阔叶林的生物量为 $318\ 755\ t \cdot hm^{-2}$, 哀牢山中山湿性常绿阔叶林的生物量为 $471\ 608\ t \cdot hm^{-2}$, 长白山阔叶红松林的生物量为 $263\ 090\ t \cdot hm^{-2}$ 。由于研究方法和采样样地的差异, 4 种森林类型的生物量和以往相同地区的研究结论相比, 均存在不同程度的差异, 但总体上和吕晓涛等^[9]关于西双版纳 ($348.04\ t \cdot hm^{-2}$)、温达志等^[10]关于鼎湖山 ($295\ 63\ t \cdot hm^{-2}$)、邱学忠^[11]关于哀牢山 ($499.7\ t \cdot hm^{-2}$)、徐振邦等^[12]关于长白山 ($296\ 002\ t \cdot hm^{-2}$) 的研究结论基本一致。

4 种森林类型总生物量是哀牢山 > 西双版纳 > 鼎湖山 > 长白山, 热带亚热带森林生物量要高于温带森林, 但不同层次之间有所区别, 乔木层和草本层的变化规律基本一致, 灌木层则相反。根据 Whittaker et al.^[13] 总结的全球主要气候带森林生态系统生物量, 热带雨林约为 $450\ t \cdot hm^{-2}$, 热带季雨林和常绿林约为 $350\ t \cdot hm^{-2}$, 温带落叶针阔混交林约为 $280\ t \cdot hm^{-2}$ 。从表 2 还可以看出, 西双版纳、鼎湖山和长白山的生物量稍低于 Whittaker et al.^[13] 总结的全球平均生物量, 而哀牢山中山湿性常绿阔叶林生物量则要高于其总结的全球平均生物量。

3.1.2 不同森林类型地下/地上生物量比值 根系是森林生态系统生物量的一个重要组成部分, 受研究条件限制, 一直是生物量研究中的一个薄弱环节。为分析比较 4 种森林类型地下与地上生物量的定量关系 (即根冠的干重比, 常用 R/S 表示), 根据表 2 的结果, 用乔木层、灌木层和草本层的地下生物量比地上生物量得到表 3。

表 3 不同森林类型地下/地上生物量比值
Table 3 R/S value in different layers of four forest types

类型	不同森林类型地下/地上生物量比			
	西双版纳	鼎湖山	哀牢山	长白山
乔木层	0.241	0.222	0.239	0.297
灌木层	0.291	0.467	0.261	0.450
草本层	0.817	0.557	0.760	1.527
总比例	0.242	0.223	0.240	0.300

从表 3 可以看出, 林内不同层次间 R/S 比值是草本 > 灌木 > 乔木, 从植物生活型来看, 更新芽离地面越高, 生活史越长, 其 R/S 比值越低。不同森林类型间 R/S 比值存在较大差异, 温带地区乔木、灌木和草本的 R/S 比值高于热带和亚热带地区; 西双版纳和哀牢山的 R/S 比值差不多, 但不同于鼎湖山, 主要是乔木层和草本层的 R/S 比值高于鼎湖山而灌木层又低于鼎湖山。由于乔木生物量占总生物量的比重较大, 因此总的 R/S 比值与乔木层一致, 受灌木和草本影响较小。

根系生物量在各森林类型中都有一定的研究, 根系生物量约占总生物量的 9% - 30%, 主要受森林生态系统类型、土壤状况、降水、气温等因素的影响^[14], 本研究中 4 种森林类型根系生物量约占总生物量的 18% - 22%, 变动幅度相对较小, 基本可以反映不同气候区成过熟林地下生物量的分配情况。Brouwer^[15] 依据功能均衡理论提出的根冠干重比 (R/S) 模型, 是研究根冠生长及其相互关系的一种有效手段。Michael et

al^[16]基于已有研究文献估算不同气候区植被的 R/S 比值, 得出热带地区平均为 0.24 温带地区平均为 0.26 本研究热带亚热带地区(西双版纳、哀牢山)的 R/S 和他的研究结论一致, 但温带地区(长白山)的 R/S 要高于他的研究结论。相对来说, 鼎湖山的 R/S 比值偏小, 这可能和该地区先锋树种的根系分布较浅, 细根量多, 有利于吸收养分有一定关系^[14]。

3.1.3 乔木生物量在各径级和树高中的分配 研究生物量在各个径级和树高中的分配可以反映林分结构是否合理, 在演替过程中是否受到干扰, 同时, 也是反映森林生态系统是否处于动态平衡之中的依据之一^[17]。根据 4 种森林类型样方调查结果, 以 8 cm 为一个径级, 8 m 为一个高度级, 分别统计各径级和树高的生物量分配情况, 结果如图 1 所示。

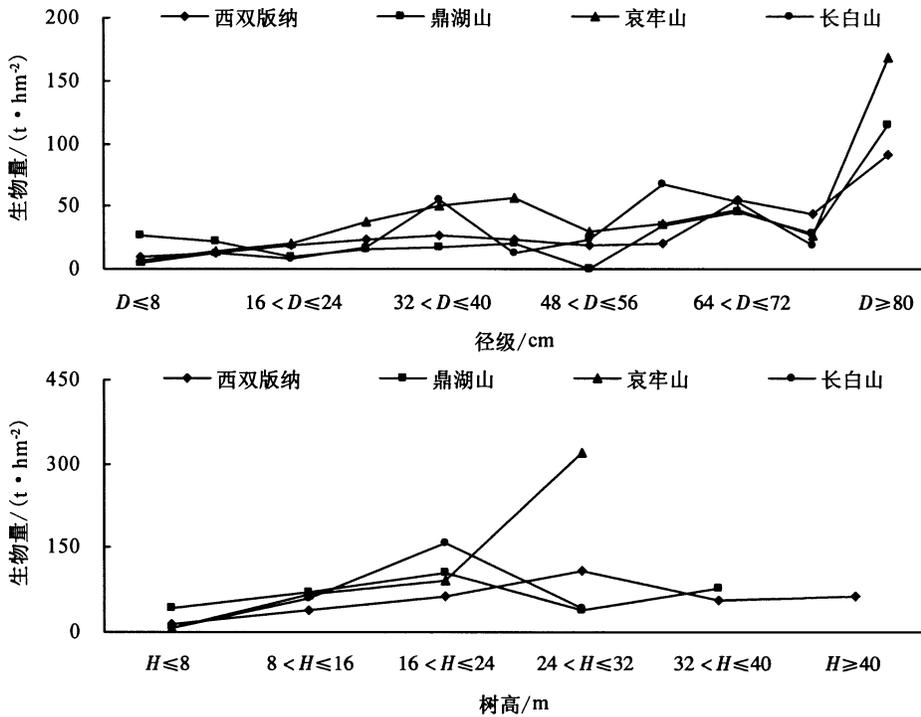


图 1 乔木生物量在各径级和树高中的分配

Figure 1 Composition of tree biomass among the different DBH and high classes

从图 1 可以看出, 热带亚热带地区森林生态系统生物量在各径级的分配不同于温带地区, 西双版纳、鼎湖山和哀牢山径级大于 80 cm 的生物量占总生物量的比重最大, 而长白山没有径级大于 80 cm 的乔木, 并且最高径级的生物量占总生物量的比重并不大, 而是径级为 56–64 cm 的生物量占总生物量的比重最大。此外, 4 种森林类型生物量在各径级中的分布并不连续, 呈现双峰甚至 3 峰曲线, 在胸径为 48–56 cm (长白山 40–48 cm) 和 72–80 cm 时生物量及其占总生物量的比例均有所下降。生物量在各径级的这种分配情况和李意德等^[17]对尖峰岭热带山地雨林、吕晓涛等^[9]对西双版纳热带季节雨林的研究结论类似, 但和张林等^[18]对广西黄冕林场次生常绿阔叶林生物量随径级增加而增加的趋势不同, 也不同于张治军等^[19]关于 46 年生马尾松天然次生林生物量随径级增加呈右偏态分布的研究结论。

不同森林类型乔木层的高度级不同, 西双版纳乔木层的高度级最高, 最高可达 50 m, 而哀牢山受海拔以及长白山受纬度影响, 高度级较低, 最高不超过 32 m。生物量在各高度级中的分配也有差异, 西双版纳在高度级为 24–32 m 时生物量最大, 鼎湖山和长白山在高度级为 16–24 m 时生物量最大, 而哀牢山随高度级的增加生物量逐渐增加。

3.2 物种多样性

物种多样性是群落生物组成和结构的重要指标, 它不仅可以反映群落的组织化水平, 而且可以通过结构与功能的关系间接地反映群落的功能特征, 是影响群落生物量 and 生产力的重要因子。根据物种多样性指数计算公式对每一物种进行计算, 把计算的乔木层、灌木层及草本层各物种多样性指数相加, 得到各样

地的物种多样性指数, 结果见表 4。

从表 4 可以看出, 热带地区的物种数明显高于亚热带和温带地区, 随着纬度的增加, 物种数逐渐减少, 相应的用于描述物种数丰富程度的物种丰富度指数表现出同样的变化规律。虽然 4 种森林类型不同层次之间物种数变化规律不尽相同, 但物种丰富度指数总体趋势是乔木层 > 灌木层 > 草本层。

SW 多样性指数和均匀度指数则表现出不同的变化情况。除哀牢山灌木层的 SW 多样性指数低于长白山之外, 总体上热带亚热带森林的 SW 多样性指数要高于温带森林, 和贺金生等^[20]总结的陆地植物群落物种多样性纬度梯度的变化特征一致。从同一森林的不同层次来看, 热带亚热带森林乔木层的 SW 多样性指数高于灌木层和草本层, 而温带森林草本层的 SW 多样性指数要高于乔木层和灌木层。均匀度指数则没有明显的规律, 温带森林乔木层和草本层的均匀度指数要高于热带亚热带地区, 而灌木层的均匀度指数则是热带森林最高, 亚热带森林最低。西双版纳乔木层和灌木层以及长白山草本层物种分布的均匀度指数最高, 而鼎湖山乔木层以及哀牢山灌木层和草本层物种分布的均匀度指数最低。

3.3 生物量、生产力以及物种多样性之间的关系

将乔木层、灌木层和草本层的丰富度和多样性指数相加, 作为衡量群落总的丰富度和多样性的指标, 不考虑树木年死亡量和动物采食量, 根据文献

[21-24] 的研究, 整理得到 4 种森林类型的净第一性生产力, 冯宗炜等^[24]仅报道了长白山阔叶红松林植被层的第一性生产力, 笔者在其研究的基础上, 增加了 2004-2005 年间实际观测得到的凋落物生物量 ($5\ 267\ 7\ \text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$), 结果如表 5 所示。

从表 5 可以看出, 不同森林类型植被净第一性生产力较大差别, 西双版纳为 $25\ 070\ \text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 鼎湖山为 $17\ 730\ \text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 哀牢山为 $15\ 614\ \text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 长白山为 $14\ 057\ \text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。一般情况下, 植物群落的生物量与生产力成正相关^[3], 即生产力高的群落生物量相对会大一些, 除哀牢山外, 生态系统生物量与生产力之间的关系较明显, 从气候对生态系统的影响来看, 西双版纳和鼎湖山年积温高, 植物的年生长时间长, 因而生产力高, 但相应的生物循环快, 死亡也快, 生物量反而没有哀牢山高。此外, 生产力与物种丰富度和多样性具有一定的相关性, 基本上随着纬度的增加而降低。

4 小结与讨论

根据中国生态系统研究网络长期定位观测数据, 研究不同气候区 4 种典型地带性植被的生物量, 其中西双版纳原始热带季节雨林的生物量为 $328\ 200\ \text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 鼎湖山亚热带常绿阔叶林的生物量为 $318\ 755\ \text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 哀牢山中山湿性常绿阔叶林的生物量为 $471\ 608\ \text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 长白山阔叶红松林的生物量为 $263\ 090\ \text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。热带亚热带森林生物量高于温带森林, 4 种森林类型生物量在各径级中的分配不连续, 呈现双峰甚至 3 峰曲线。根生物量约占总生物量的 18% - 22%, 其中西双版纳和哀牢山的根冠比 (R/S) 为 0.24 鼎湖山为 0.22 长白山为 0.30, 不同森林类型物种丰富度指数和 SW 物种多样性指数具有较明显的变化规律, 总体趋势是热带亚热带森林高于温带森林, 物种均匀度指数则没有明显的变化规律。总的来看, 生物量与生产力成正相关, 并且与物种丰富度指数和多样性指数具有较好的相关性。

过去几十年, 由于人类活动引起的环境污染, 全球大部分景观发生了显著的变化, 加上资源衰竭、生态

表 4 不同森林类型物种多样性

Table 4 Species diversity of four forest types

类型	样地	物种数	物种多样性		
			丰富度	SW 多样性	均匀度
乔木层	西双版纳	258	33 098	4 575	0 824
	鼎湖山	65	9 057	2 892	0 693
	哀牢山	44	6 550	3 038	0 803
	长白山	10	1 554	1 871	0 813
灌木层	西双版纳	97	15 625	4 061	0 888
	鼎湖山	42	6 956	2 384	0 638
	哀牢山	36	4 164	1 307	0 365
	长白山	6	0 912	1 501	0 838
草本层	西双版纳	70	10 868	3 360	0 791
	鼎湖山	33	5 763	2 783	0 796
	哀牢山	47	5 330	2 461	0 639
	长白山	10	1 256	2 073	0 900

表 5 不同森林类型生物量、生产力与物种多样性

Table 5 Biomass production and biodiversity of different forest types

类型	净第一性生产力 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$	生物量 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$	丰富度	SW 多样性
西双版纳	25 070 ^[21]	328 200	59 591	11.996
鼎湖山	17 730 ^[22]	318 755	21 775	8.059
哀牢山	15 614 ^[23]	471 608	15 517	6.806
长白山	14 057 ^[24]	263 090	3 722	5.445

系统结构与功能退化,生物多样性丧失,使得人类维持生态系统可持续变得更加困难^[25]。由于环境退化的显现需要几十年甚至上百年的时间,人们很难明确感觉到它的变化,因此,通过对长期的生态环境数据进行研究与分析,帮助人们理解和管理生态系统具有非常重要的意义^[26]。近几年,中国生态系统研究网络在单站水平上的工作取得了很大的进展,但是不同地区同类生态系统之间的联网研究比较少。单站的长期定位监测、试验和研究固然是必不可少的,但具有明显的局限性;而多站按照统一规范开展的联网监测、试验和研究,可以揭示出更具普遍性的规律,解决地学和生物学等领域中更具复杂性的问题^[27]。本研究正是出于这种考虑而做的一种尝试,希望研究结果能够对这方面的工作有所借鉴。

致谢:衷心感谢中国生态网络研究中心提供数据支持。

参考文献

- [1] 联合国社会发展研究所. 全球化背景下的社会问题 [M]. 北京: 北京大学出版社, 1997: 108
- [2] Jan Bengtsson. Which species? What kind of diversity? Which ecosystem function? Some problems in studies of relations between biodiversity and ecosystem function [J]. *Applied Soil Ecology*, 1998, 10: 191–199.
- [3] 彭少麟, 黄忠良. 生产力与生物多样性之间的相互关系研究概述 [J]. *生态科学*, 2000, 19(1): 1–9.
- [4] 冯宗炜, 王效科, 吴刚. 中国森林生态系统的生物量 and 生产力 [M]. 北京: 科学出版社, 1999: 1.
- [5] 钱迎倩, 马克平. 生物多样性研究的原理与方法 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1994: 1.
- [6] Fox JW. The long-term relationship between plant diversity and total plant biomass depends on the mechanism maintaining diversity [J]. *Oikos*, 2003, 102: 630–640.
- [7] 尚占环, 姚爱兴, 龙瑞军. 干旱区山地植物群落物种多样性与生产力关系分析 [J]. *干旱区研究*, 2005, 22(1): 74–78.
- [8] 茹文明, 张金屯, 张峰, 等. 历山森林群落物种多样性与群落结构研究 [J]. *应用生态学报*, 2006, 17(4): 561–566.
- [9] 吕晓涛, 唐建维, 何有才, 等. 西双版纳热带季节雨林的生物量及其分配特征 [J]. *植物生态学报*, 2007, 31(1): 11–22.
- [10] 温达志, 张德强, 魏平, 等. 鼎湖山亚热带常绿阔叶林定位研究 (V): 锥栗、黄果厚壳桂群落植被现存量、粗死木木质残体贮量及凋落物动态 [C]. *热带亚热带森林生态系统研究*, 1998: 32–39.
- [11] 邱学忠. 云南哀牢山徐家坝地区木果石栎生物量的初步研究 [J]. *云南植物研究*, 1984, 6(1): 85–92.
- [12] 徐振邦, 李昕, 戴洪才, 等. 长白山阔叶红松林生物生产量的研究 [M]// 中国科学院长白山森林生态系统定位站. *森林生态系统研究*. 北京: 中国林业出版社, 1986: 33–47.
- [13] Whittaker R H, Likens G E. The Biosphere and Man [C]// Lieh H, Whittaker R H. *Primary Productivity of the Biosphere*. New York: Springer-Verlag, 1975: 305–328.
- [14] 彭少麟, 郝艳茹. 森林演替过程中根系分布的动态变化 [J]. *中山大学学报: 自然科学版*, 2005, 44(5): 65–69.
- [15] Bouvier R. Functional equilibrium: sense or nonsense [J]. *Netherlands J Agr Sci*, 1983, 31: 335–348.
- [16] Michael A, Eileen H. Root biomass allocation in the world's upland forests [J]. *Oecologia*, 1997, 111: 1–11.
- [17] 李意德, 曾庆波, 吴仲民, 等. 尖峰岭热带山地雨林生物量的初步研究 [J]. *植物生态学与地植物学学报*, 1992, 16(4): 293–300.
- [18] 张林, 罗天祥, 邓坤枚, 等. 广西黄冕林场次生常绿阔叶林生物量及净第一性生产力 [J]. *应用生态学报*, 2004, 15(1): 2029–2033.
- [19] 张治军, 王彦辉, 袁玉欣, 等. 马尾松天然次生林生物量的结构与分布 [J]. *河北农业大学学报*, 2006, 29(5): 39–43.
- [20] 贺金生, 陈伟烈. 陆地植物群落物种多样性的梯度变化特征 [J]. *生态学报*, 1997, 17(1): 91–99.
- [21] 郑征, 冯志立, 曹敏. 西双版纳原始热带湿性季节雨林生物量及净初级生产 [J]. *植物生态学报*, 2000, 24(2): 197–203.
- [22] 温达志, 魏平, 孔国辉, 等. 鼎湖山亚热带常绿阔叶林定位研究 VIII. 锥栗、黄果厚壳桂群落生物量增量及群落生产力的估算 [C]. *热带亚热带森林生态系统研究*, 1998: 47–52.
- [23] 谢寿昌, 刘文耀, 李寿昌, 等. 云南哀牢山中山湿性常绿阔叶林生物量的初步研究 [J]. *植物生态学报*, 1996, 20(2): 167–176.
- [24] 冯宗炜, 王效科, 吴刚. 中国森林生态系统的生物量 and 生产力 [M]. 北京: 科学出版社, 1999: 64.
- [25] Kin E S. Development potentials and challenges of the International Long Term Ecological Research (ILTER) Network [J]. *Ecological Research*, 2006, 21: 788–793.
- [26] Gosz J R. The International Long Term Ecological Research Network 2000: Perspectives from Participating Networks [M]. Albuquerque: Academy Printers, 2000: 109.
- [27] 黄铁青, 牛栋. 中国生态系统研究网络 (CERN)——概况、成就和展望 [J]. *地球科学进展*, 2005, 20(8): 895–902.

(责任编辑: 卢凤美)