

重庆大巴山国家级自然保护区森林 植物多样性垂直格局

倪东萍, 邓洪平*, 顾梨, 何松, 李宗峰, 左有为, 李满婷

(西南大学 生命科学学院, 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715)

摘要:以重庆大巴山国家级自然保护区西南方向沿海拔梯度选择的 20 个样地为研究对象, 通过等级聚类分析, 结合物种重要值、物种丰富度、区系分化强度和 α 、 β 多样性指数等方面的分析, 以揭示其森林植物多样性沿海拔梯度的分布特征。结果表明: (1) 在 20 个样方中, 共记录到维管植物 97 科 226 属 335 种; 随着海拔上升, 各样地植物科、属、种总数大体上呈先增加后降低的趋势。(2) 植物群落在垂直梯度上差异显著; 综合群落生长型和等级聚类分析结果, 将群落沿海拔梯度划分为 4 个类型: 海拔 1 000 m 以下为常绿阔叶林和偏暖性针阔混交林, 1 000~1 600 m 为常绿落叶阔叶混交林, 1 600~2 100 m 为偏暖湿性针阔混交林, 海拔 2 100 m 以上为暗针叶林。(3) α 多样性指数具有垂直变化规律; Simpson 优势度和 Pielou 均匀度随海拔变化较小, 乔木层 Shannon-Wiener 指数随海拔升高有明显降低的趋势, 混交林类型的物种多样性和区系分化强度较高。(4) β 多样性指数在低海拔区段起伏较大; 随着海拔升高, 乔木层 Cody 指数的变化格局总体上呈逐渐降低的趋势, 相邻群落间物种异质性逐渐减小, 物种的替代速率下降, 最终达到相对稳定的状态。

关键词: 物种多样性; 海拔梯度; 分布规律; α 多样性; β 多样性

中图分类号: Q948.15⁺7

文献标志码: A

Altitudinal Pattern of Vascular Plant Species Diversity of the Dabashan National Nature Reserve in Chongqing

NI Dongping, DENG Hongping*, GU Li, HE Song, LI Zongfeng, ZUO Youwei, LI Manting

(Key Laboratory of Eco-Environments in Three Gorges Reservoir Region (Ministry of Education), School of Life Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: Based on the southwest direction of 20 plots in the Dabashan National Nature Reserve, we used hierarchical cluster analysis, species importance values, species richness, intensity of flora differentiation and α , β diversity index to study the distribution of vascular plant species diversity in Reserve along the altitudinal gradient. The results showed that: (1) there were 335 species vascular plants in the 20 studied plots, which belonged to 97 families and 226 genera. The total number of plant families, genera, and species increased first and then decreased with altitude. (2) Plant communities differed significantly in vertical gradients. Comprehensive community growth and hierarchical clustering analysis results showed that the forest communities could be classified into four types, including those the vertical vegetation spectrum was

收稿日期: 2018-03-13; 修改稿收到日期: 2018-04-08

基金项目: 科技部国家科技基础平台国家标本平台——教学标本子平台运行服务资助项目(2005DKA21403-JK); 环境保护部生物多样性调查与评估项目(20160822)

作者简介: 倪东萍(1994-), 女, 在读硕士研究生, 主要从事植物系统进化与保护生物学研究。E-mail: nidping@foxmail.com

* 通信作者: 邓洪平, 博士生导师, 教授, 主要从事植物系统进化与保护生物学研究。E-mail: denghp@swu.edu.cn

evergreen broad-leaved forest and warm coniferous and deciduous mixed forest (below 1 000 m a. s. l.), mixed deciduous and evergreen broad-leaved forest (1 000—1 600 m a. s. l.), warm and humid coniferous and deciduous mixed forest (1 600—2 100 m a. s. l.), and subalpine coniferous forest (above 2 100 m a. s. l.). (3) The α diversity index changed vertically. Simpson and Pielou indexes varied less with altitude, The Shannon-Wiener index of tree layer changed more obviously with the altitude gradient, and decreased with elevation. Mixed forest types had relatively higher α diversity and more intensive flora differentiation than the other types. (4) The β diversity index fluctuated considerably in the low altitude section, the change in Cody index pattern showed a gradual trend of tree layer—the heterogeneity of species between adjacent communities gradually decreased, the species turnover rate decreased and eventually reach to a relatively stable state.

Key words: plant diversity; altitudinal gradient; distribution variation; α diversity; β diversity

物种多样性的分布格局会受到外界环境不同程度的影响^[1], 其对环境条件的响应是植物生态学研究热点之一^[2-3]。海拔梯度由于包含了多种环境因子的梯度效应, 被认为是影响物种多样性格局的决定性因素之一^[4-5]。随着海拔升高, 在温度、光照、水分和土壤等生态因子的综合作用下, 生物群落表现出明显的垂直地带性分布规律^[6]。且沿海拔梯度升高, 水热组合发生变化, 地带性植被以及群落内的建群种和优势种亦将发生改变^[7]。

重庆大巴山国家级自然保护区由于区内秦岭山脉阻挡了第四纪冰川对保护区的影响, 使之成为第四纪冰期许多生物的“避难所”, 保留了大量珍稀濒危及子遗物种^[8-9]。截至目前, 大巴山已被《中国生物多样性国情研究报告》、世界自然基金会(WWF)等列入中国生物多样性保护的关键地区和热点生态区, 被《中国生物多样性保护行动计划(2011~2030年)》列入中国 35 个生物多样性优先保护区域之一, 具有很高的科学研究和保护价值^[10]。

许冬焱等先后对大巴山自然保护区内种子植物区系组成及其植被特征进行了初步研究^[11-12], 邓洪平等对保护区内植被垂直带谱、群落类型和植物区系特征进行了分析^[9], 但对其海拔梯度上植物多样性及成分结构的数量变化尚无深入了解。因此, 本研究以大巴山保护区海拔梯度上的植物群落调查为基础, 对区内森林植物多样性垂直格局进行研究, 以期为进一步研究群落的稳定性、恢复机制、演替过程以及群落的结构和功能提供生态学依据, 从而为大巴山生物多样性的保护和管理提供科学依据。

1 研究区概况

重庆大巴山国家级自然保护区(N31°37'27"~32°12'15", E108°27'07"~109°16'40")位于重庆市东北部的城口县境内^[8]。地质构造上属大巴山弧形断

褶带的南缘部份, 由一系列北西至东西走向的雁列式褶皱和冲断层组成。地貌上属米仓山、大巴山中山区, 山脉受地质构造和岩性的控制, 诸列山岭均由北西向南东展布。区内最高点光头山, 海拔 2 685.7 m, 最低点龙田乡田湾, 海拔 754.0 m。整个地势南东偏高, 北西偏低。该区属亚热带季风气候, 由于山高谷深, 高差大, 具有山区立体气候的特征。区内年均气温 13.8 °C, 年均降水量 1 261.4 mm, 年均日照时数 1 534 h, 年无霜期 234 d, 年平均相对湿度 78%。保护区为森林生态系统类型保护区, 主要保护对象为亚热带森林生态系统及其生物多样性。

2 研究方法

2.1 调查地点的选择与样地设置

为全面反映保护区内森林植物多样性的海拔梯度格局, 根据保护区内森林分布现状, 参照国家环境保护部生物多样性监测标准, 在涉及保护区的 13 个乡镇(左岚乡、高楠镇、龙田乡、北屏乡、岚天乡、河鱼乡、东安镇、明中乡、高观镇、巴山镇、厚坪乡、蓼子乡、咸宜镇)设置 20 个样地(表 1), 形成了一条较为整齐的样带。样带最低点 842.0 m, 最高点 2 217.2 m, 以西南为主坡向, 坡度范围 15°~64°。

在 20 个样地内, 采用相邻格子法和十字分割法, 对不同群落类型分别进行典型样方取样, 群落层次按乔木层、灌木层和草本层划分。(1)设置 20 m×30 m 的样方, 以 10 m×10 m 为单元进行每个胸径(DBH)≥5 cm 的乔木物种调查;(2)每个 10 m×10 m 的格子中分别划出 1 个 5 m×5 m 的样方作灌木层物种调查;(3)在每个灌木层样方内, 设置 2 个 2 m×2 m 的样方作草本物种调查。调查记录的指标有调查地点、地形、样地面积、群落类型、森林起源、郁闭度、种名、胸径、树高、株数、盖度、多度等, 同时记录各样方的经纬度、海拔、坡向、坡度和坡位等因

表 1 样地概况

Table 1 General information of sampling plots

样地 Plot	经度(E)Longitude	纬度(N)Latitude	海拔 Elevation/m	坡度 Slope/°	坡向 Aspect/°
Y1	108.81 022 431°	31.70 944 653°	842.0	23	SW 46
Y2	108.45 718 489°	32.13 071 892°	910.9	64	SW 34
Y3	108.63 212 067°	31.96 989 933°	937.0	32	SW 30
Y4	108.64 366 960°	31.97 928 798°	1 042.7	20	SW 77
Y5	108.79 910 367°	32.01 233 933°	1 208.0	18	SW 65
Y6	108.63 011 345°	31.79 008 356°	1 219.0	20	SW 77
Y7	108.97 657 017°	31.96 918 150°	1 315.0	25	SW 60
Y8	109.07 706 117°	31.80 977 333°	1 368.2	46	SW 30
Y9	109.00 089 117°	31.87 651 483°	1 406.0	18	SW 30
Y10	108.81 279 499°	31.72 828 431°	1 419.0	30	SW 60
Y11	108.90 659 583°	31.84 449 583°	1 419.0	30	SW 60
Y12	109.02 373 717°	31.70 600 783°	1 562.3	32	SW 83
Y13	108.70 695 556°	31.65 560 556°	1 608.0	15	SW 70
Y14	108.50 365 750°	32.18 065 083°	1 650.0	37	SW 13
Y15	108.92 450 717°	31.73 144 958°	1 725.0	28	SW 80
Y16	108.93 732 779°	31.97 324 994°	2 100.0	39	SW 48
Y17	109.06 304 282°	31.94 076 959°	2 123.4	36	SW 27
Y18	108.55 946 688°	32.10 629 691°	2 197.7	25	SW 16
Y19	109.11 397 503°	31.79 603 692°	2 203.0	30	SW 90
Y20	108.83 410 117°	32.04 241 767°	2 217.2	27	SW 9

子。对所有样地采用分时段重复调查方法,自 2016~2018 年间重复调查 4 次,共调查乔木样方 120 个,灌木样方 120 个,草本样方 240 个。

2.2 数据处理与计算方法

2.2.1 物种丰富度及其结构成分 (1)物种丰富度。统计各样方中维管植物的科(F)、属(G)、种数(S),计算各样方内种数/属数(S/G)、种数/科数(S/F)、属数/科数(G/F)。

(2)生态成分。根据乔木层物种的生长型划分不同的生态成分,并计算其比值。

2.2.2 群落数量分类 采用等级聚类分析(Hierarchical Cluster Analysis)方法^[13],依据乔木层优势种重要值对样方进行聚类分析。重要值计算方法为:

$$IV = (A + D + F) / 3 \quad (1)$$

其中,A 为相对多度,即每个种的多度占所有种多度之和的百分比;D 为相对优势度,即每个种的胸高断面积之和占所有种个体胸高断面积之和的百分比;F 为相对频度,即每个种的频度占所有种频度之和的百分比。

2.2.3 多样性测度 (1) α 多样性测度。本研究选择 Shannon-Wiener 多样性指数(H)、Pielou 均匀度

指数(J)和 Simpson 优势度指数(D)研究物种多样性^[7],计算公式如下:

$$H = \sum P_i \ln P_i \quad (2)$$

$$J = (-\sum P_i \ln P_i) / \ln S \quad (3)$$

$$D = \sum P_i^2 \quad (4)$$

其中, P_i 为该物种 i 的简化重要值,S 为物种总数。

(2) β 多样性测度。

Cody 指数^[14]:

$$\beta_c = [g(H) + l(H)] / 2 = (a + b - 2c) / 2 \quad (5)$$

其中 a 、 b 分别为两群落的物种数, c 为两群落的共有物种数, $g(H)$ 为沿生境梯度 H 增加的物种数, $l(H)$ 为沿生境梯度 H 失去的物种数。

所有统计分析均在 R 软件(R Development Core Team, 2009)中进行。

3 结果分析

3.1 物种组成与分类

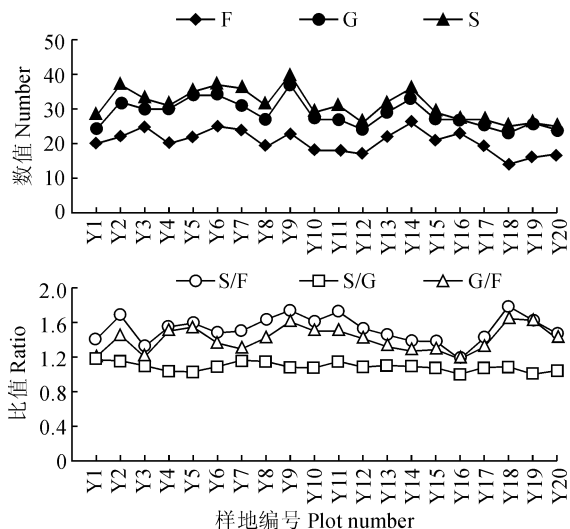
3.1.1 群落各层种类组成及沿海拔的变化规律 重复调查的 20 个森林群落样地中共记录到维管植物 97 科 226 属 335 种,其中蕨类 10 科 15 属 19 种,裸子

植物 4 科 9 属 13 种,被子植物 83 科 202 属 303 种。

调查样地中重要值 ≥ 0.1 的物种共有 141 种,占总种数的 42%;属于单种的科有 3 种,占总科数的 3.1%,单属的科 12 种,占总科数的 12.5%;种数大于 10 的科有蔷薇科(Rosaceae)、菊科(Compositae)、壳斗科(Fagaceae)、百合科(Liliaceae)、豆科(Leguminosae)5 个科。种数最多的科为蔷薇科(31 种)。

20 个森林群落样地中共记录乔木树种 94 种,隶属于 32 科 53 属,其中有落叶阔叶树种 54 种,常绿阔叶树种 27 种,常绿针叶树种 13 种,未发现落叶针叶树种。落叶树种和常绿树种分别占乔木树种的 57%和 43%,灌木物种 100 种,隶属于 37 科 67 属,草本物种 141 种,隶属于 47 科 109 属。

群落各层次优势种如表 2 所示,综合分析结果为:沟谷浅丘中乔木层优势种多以壳斗科植物及马尾松(*Pinus massoniana*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)等偏暖性针叶树种为主,壳斗科植物常见的如栲树(*Castanopsis fargesii*)、青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)、巴东栎(*Quercus engleriana*)。随着海拔上升,陆续出现落叶阔叶树种,与常绿阔叶树种形成混交局面。高海拔地段则以偏湿性针叶树种,如华山松(*Pinus armandi*)、巴山松(*Pinus henryi*),及偏寒性针叶树种巴山冷杉(*Abies fargesii*)、青杆(*Picea wilsonii*)为主。灌木层主要



F. 科数;G. 属数;S. 种数;S/F. 种数/科数;S/G. 种数/属数;G/F. 属数/科数

图 1 不同系统等级分类单元的多样性梯度

F. Family; G. Genus; S. Species; S/F. Species/Family; S/G. Species/Genus; G/F. Genus/Family

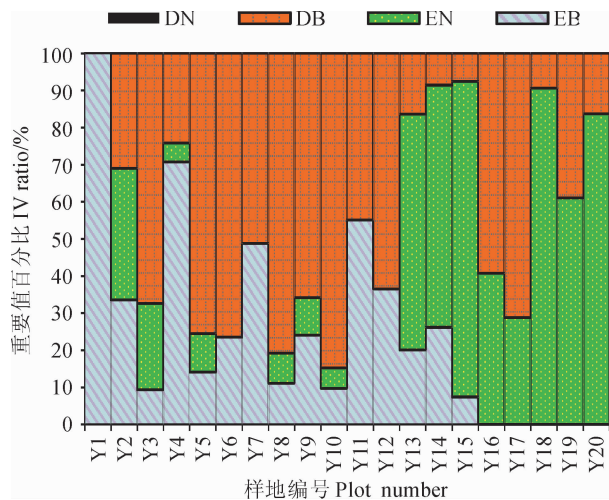
Fig. 1 Altitudinal gradient of diversity of units at different taxonomic levels

优势种随海拔上升主要有盐肤木(*Rhus chinensis*)、棣棠(*Kerria japonica*)、三桠乌药(*Lindera obtusiloba*)、小果蔷薇(*Rosa cymosa*)、箭竹(*Fargesia spathacea*)等,蔷薇科中灌木型植物在各海拔区段均有分布。草本层优势种主要为菊科植物,如橐吾(*Ligularia sibirica*)、白酒草(*Conyza japonica*),蕨类植物在低海拔区段略占优势,高海拔区段莎草科(Cyperaceae)苔草属(*Carex*)植物相对丰富。

3.1.2 物种丰富度 不同分类等级之间的数量比(图 1)基本反映了不同林型的物种丰富度沿海拔梯度的变化规律。20 个森林群落样地中,科(F)、属(G)、种(S)总体上随着海拔的升高呈先增加后降低的趋势,在 Y10~Y12 和 Y15~Y20 区段有较小值,在 Y9 和 Y14 段出现较高峰值。初步推测,这些变化趋势与该样地林型分布范围相关。

S/F、S/G、G/F 的比值是对植物区系分化强度的反映,其值越高,则表示属、科的丰富度越低,区系的分化程度越低^[15],20 个样地的计算结果表明:S/F、G/F 有相同的变化趋势,在高海拔区段(Y17、Y18、Y19、Y20)出现较大值,表明该区域区系分化程度相对较低。S/G 的值变化不大,说明种的多样性变化时,属的多样性随之变化。

3.1.3 群落生态成分 图 2 反映了乔木层常绿阔叶、落叶阔叶和常绿针叶 3 种类型树种的重要值百分比沿海拔梯度的变化,整个调查样地中未发现落



DN. 落叶针叶;DB. 落叶阔叶;EN. 常绿针叶;EB. 常绿阔叶

图 2 乔木层不同生长型植物重要值百分比沿海拔梯度的变化

DN. Deciduous needles;DB. Deciduous broadleaf; EN. Evergreen needles;EB. Evergreen broadleaf

Fig. 2 Altitudinal patterns of IV percentage in different life forms of tree layer

表 2 样地各层优势种
Table 2 Dominant species at all levels of the sampling plots

样地 Plot	乔木层 Tree layer	灌木层 Shrub layer	草本层 Herb layer
Y1	栲树、青冈 <i>C. fargesii</i> , <i>C. glauca</i>	岗榛、崖花海桐 <i>E. groffii</i> , <i>P. illicitoides</i>	里白、狗脊 <i>D. glaucum</i> , <i>W. japonica</i>
Y2	马尾松、青冈 <i>P. massoniana</i> , <i>C. glauca</i>	盐肤木、宜昌荚蒾 <i>R. chinensis</i> , <i>V. erosum</i>	芒萁、五节芒、狗脊 <i>D. pedata</i> , <i>M. floridulus</i> , <i>W. japonica</i>
Y3	化香树、枫香树 <i>P. strobilacea</i> , <i>L. formosana</i>	杉木、盐肤木 <i>C. lanceolata</i> , <i>R. chinensis</i>	水蓼、牛膝 <i>P. hydrophiper</i> , <i>A. bidentata</i>
Y4	巴东栎、华木荷 <i>Q. engleriana</i> , <i>S. sinensis</i>	腺萼马银花、杭子梢 <i>R. bachii</i> , <i>C. macrocarpa</i>	大百合、贯众 <i>C. giganteum</i> , <i>C. fortunei</i>
Y5	麻栎、白栎 <i>Q. acutissima</i> , <i>Q. fabri</i>	小果蔷薇、盐肤木 <i>R. cymosa</i> , <i>R. chinensis</i>	芒、香青 <i>M. sinensis</i> , <i>A. sinica</i>
Y6	灯台树、亮叶桦 <i>C. controversum</i> , <i>B. luminiifera</i>	棘栗、山莓 <i>K. japonica</i> , <i>R. corchorifolius</i>	七叶鬼灯檫、荚果蕨 <i>R. aesculi folia</i> , <i>M. strathiopteris</i>
Y7	血皮槭、小叶青冈 <i>A. griseum</i> , <i>C. myrsinaefolia</i>	荷包山桂花、棘栗 <i>P. arillata</i> , <i>K. japonica</i>	囊吾、西南唐松草 <i>L. sibirica</i> , <i>T. fargesii</i>
Y8	板栗、栓皮槭 <i>C. mollissima</i> , <i>Q. variabilis</i>	猫儿刺、短柄栎 <i>I. pernyi</i> , <i>Q. glandulifera</i> var. <i>brevipetiolata</i>	白酒草、丝茅 <i>C. japonica</i> , <i>I. koenigii</i>
Y9	刺楸、白栎 <i>R. pseudoacacia</i> , <i>Q. fabri</i>	高粱泡、盐肤木 <i>R. lambertianus</i> , <i>R. chinensis</i>	芒、打破碗花花 <i>M. sinensis</i> , <i>A. hupehensis</i>
Y10	巴山水青冈、川陕鹅耳枥 <i>F. pashanica</i> , <i>C. fargesiana</i>	棘栗、榕叶冬青 <i>K. japonica</i> , <i>I. ficoidea</i>	齿叶囊吾、鼠尾草 <i>L. dentata</i> , <i>S. japonica</i>
Y11	城口青冈、栎木 <i>C. fargesii</i> , <i>C. macrophylla</i>	小果冬青、美丽胡枝子 <i>I. micrococca</i> , <i>L. formosa</i>	栗褐苔草、香青 <i>C. brunnea</i> , <i>A. sinica</i>
Y12	化香树、城口青冈 <i>P. strobilacea</i> , <i>C. fargesii</i>	盐肤木、城口槲叶树 <i>R. chinensis</i> , <i>C. fargesii</i>	栗褐苔草、窃衣 <i>C. brunnea</i> , <i>T. scabra</i>
Y13	巴山松、华山松 <i>P. henryi</i> , <i>P. armandi</i>	山胡椒、川陕鹅耳枥 <i>L. glauca</i> , <i>C. fargesiana</i>	金星蕨、狗脊 <i>P. glanduligera</i> , <i>W. japonica</i>
Y14	杉木、苦槠、华山松 <i>C. lanceolata</i> , <i>C. sclerophylla</i> , <i>P. armandi</i>	湖北杜茎山、山胡椒 <i>M. hupehensis</i> , <i>L. glauca</i>	中华里白、山麦冬 <i>D. chinense</i> , <i>L. spicata</i>
Y15	华山松、杉木 <i>P. armandi</i> , <i>C. lanceolata</i>	陕西卫矛、长叶胡颓子 <i>E. schensianus</i> , <i>E. bockii</i>	丝茅、栗褐苔草 <i>I. koenigii</i> , <i>C. brunnea</i>
Y16	华山松、锐齿鹛桫 <i>P. armandi</i> , <i>Q. aliena</i> , var. <i>acuteserrata</i>	四川蜡瓣花、三椏乌药 <i>C. willmottiae</i> , <i>L. obtusiloba</i>	丝茅、鼠刺草 <i>I. koenigii</i> , <i>G. affine</i>
Y17	红桦、巴山冷杉 <i>B. albo-sinensis</i> , <i>A. fargesii</i>	川棘、三椏乌药 <i>C. heterophylla</i> var. <i>satchuenensis</i> , <i>L. obtusiloba</i>	七叶鬼灯檫、西南唐松草 <i>R. aesculi folia</i> , <i>T. fargesii</i>
Y18	青杆、巴山冷杉 <i>P. wilsonii</i> , <i>A. fargesii</i>	箭竹、小果蔷薇 <i>F. spathacea</i> , <i>R. cymosa</i>	糙野青茅、深山蟹甲草 <i>D. scabrescens</i> , <i>P. profundorum</i>
Y19	巴山冷杉、糙皮桦 <i>A. fargesii</i> , <i>B. utilis</i>	四川蜡瓣花、粉花绣线菊 <i>C. willmottiae</i> , <i>S. japonica</i>	类叶升麻、七叶鬼灯檫 <i>A. asiatica</i> , <i>R. aesculi folia</i>
Y20	巴山冷杉、青杆 <i>A. fargesii</i> , <i>P. wilsonii</i>	箭竹、小果蔷薇 <i>F. spathacea</i> , <i>R. cymosa</i>	黄水枝、中华苔草 <i>T. polyphylla</i> , <i>C. chinensis</i>

叶针叶树种的存在。在海拔 1 000 m 以下(Y1-Y3)的样地中,常绿树种的重要值为 32%~100%,其中偏暖性常绿针叶树种的重要值为 20%~35%,说明该海拔区段包含常绿阔叶林和偏暖性针阔混交林两个林带;海拔 1 000~1 600 m (Y4~Y12)段,常绿阔叶和落叶阔叶树种的重要值百分比值较高,仅有少量针叶树种出现;海拔 1 600 m~2 100 m (Y13~Y16)段,偏湿性针叶树种,如巴山松、华山松等的比例增大,落叶阔叶树种的重要值迅速降低,有少部分常绿大灌木或小乔木重新出现;海拔 2 100 m(Y17~Y20)以上,偏寒性暗针叶林占主导地位,期间出现少量红桦、锐齿槲栎等落叶树种。

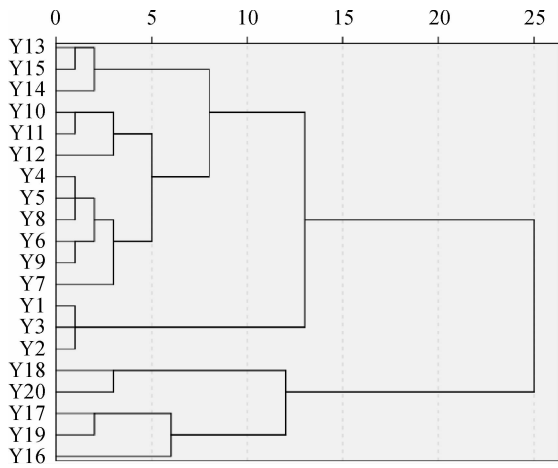
3.1.4 群落分类 等级聚类分析结果(图 3)表明,20 个样地被明显地分为了 4 个类型:第 I 类,以常绿树种和偏暖性针叶树种(马尾松、杉木等)为主要优势种的群落,包括 Y1~Y3 号样地。第 II 类,以常绿落叶阔叶树种为主要优势种的群落,包括 Y4~Y12 号样地。第 III 类,以巴山松和华山松为主要优势种的群落,包括 Y13~Y15 号样地。第 IV 类,以巴山冷杉和青杆为主要优势种的群落,包括 Y16~Y20 号样地。数量分类的结果与样地植被类型的分布格局基本相符,印证了分类结果的合理性。

3.2 群落多样性

3.2.1 α 多样性随海拔的变化 为克服不同层次因面积不同造成的物种数量上的差异,对样地分乔木层、灌木层和草本层 3 个层次进行物种的 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数、Pielou 均匀度指数统计(图 4)。结果表明:样地 α 多样性的垂直梯度

变化规律较为复杂,Simpson 优势度和 Pielou 均匀度在一个层次中随海拔梯度的变化较小,说明物种均匀分布在调查区域内,形成最佳搭配模式。乔木层中 Shannon-Wiener 指数呈现出明显的随海拔升高而逐渐降低的规律,这与被广泛接受的 α 多样性随海拔升高而降低的格局相吻合^[16]。灌木层和草本层的 Shannon-Wiener 指数曲线在中高海拔区段相对平稳。相对乔木层而言,两者与海拔梯度未呈现明显的变化规律。

3.2.2 β 多样性随海拔的变化 β 多样性指数的曲线图反映了不同海拔段物种交替的速度,图 5 为沿海拔梯度相邻样地间的 β 多样性变化趋势图,结果表明:相邻样地乔木层、灌木层、草本层间种类组成随海拔梯度变化差异比较明显。乔木层的 β 多样性指数的曲线变化幅度较小,Cody 指数在 Y2~Y3、Y12~Y13 中出现较大值,结合图 2 分析,这些区段属于不同类型混交林过渡区域,相邻两个群落的生境差异较大,物种异质性相对较高,物种交替速度快。



Y1~Y20 同表 1

图 3 群落样方的聚类分析

The meaning of Y1-Y20 is shown in Table 1

Fig. 3 Cluster analysis classification of the community

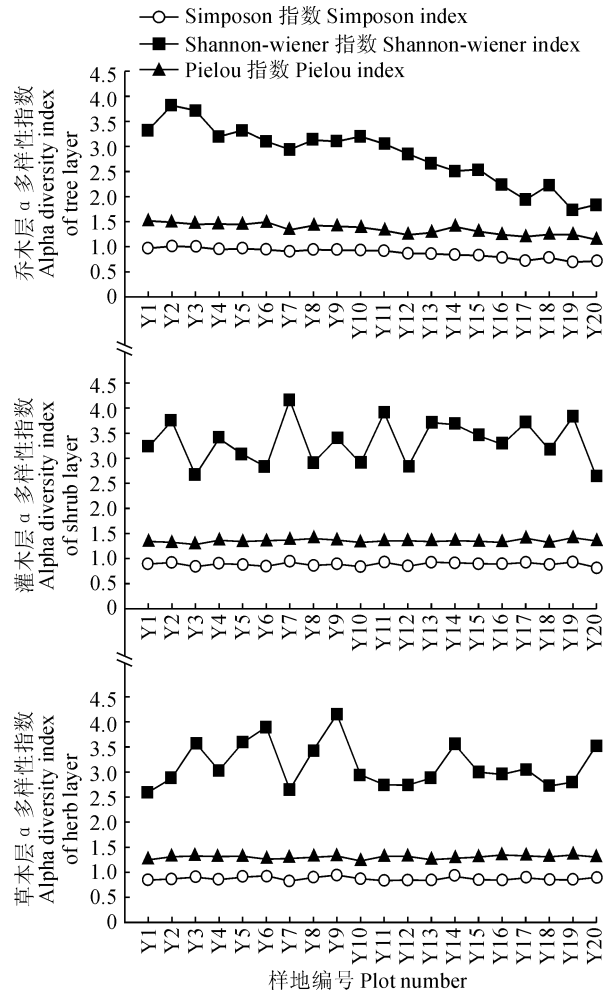


图 4 α 多样性指数随海拔梯度变化趋势

Fig. 4 α species diversity along an altitudinal gradient

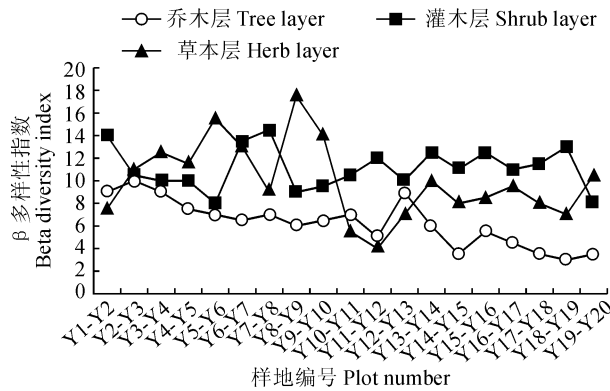
图5 相邻样地 β 多样性

Fig. 5 Beta diversity of each two adjacent quadrats

高海拔区段属于暗针叶林区域,相邻两个群落的生境比较接近,乔木层Cody指数出现最低值。灌木层Cody指数曲线变化幅度较大,Y1~Y2、Y7~Y8的Cody指数值明显高于其他群落。相邻样地间草本层的Cody指数值与灌木层指数值大体呈负相关,在中海拔区段有较低值。以上所有分析的结果与 α 多样性的结果相一致。

4 讨论

由于低山地段受水分限制,高海拔地区受热量限制^[17],多数植物多样性垂直格局研究结果符合“中间高度膨胀”理论,即物种多样性在中间海拔地区最高^[18]。但在本研究中,重庆大巴山国家级自然保护区森林植物多样性格局呈现出较为复杂的变化规律,“中间高度膨胀”多样性理论表现不明显,这可能与样地选址的海拔范围没有完全涵盖整个保护区的海拔范围有关。乔木层中Shannon-Wiener指数呈现出明显的随海拔升高而逐渐降低的规律,原因可能是随着海拔升高,针叶树种大量出现。由于针叶林存在枯落物难分解、自肥能力差等缺陷,其涵养水源和保持水土的能力相对较差,加上高海拔区段生境的异质性和特殊性,仅有特定物种适合生存,从而导致物种的多样性降低。就林下物种多样性而言,研究发现,不同森林群落林下灌木层和草本层具有显著差异。落叶阔叶树种较多的低中海拔区段,由于林地郁闭度大、林下落叶积累较多等原因,不利于林下物种的更新和生长,从而导致灌木层物种多样性较低。与此同时,分布在低海拔区段的林下草本,由于人为活动的干扰,一定程度上增加了种子的传播几率,加上该区段喜阴草本较多,导致物种多样性相对较高。

通过植被类型间的比较表明,无论是群落中植

物种、属、种数,还是物种多样性及区系分化强度,混交林类型的值均比较大,其结果与沈泽昊等研究的神农架南坡植物群落多样性的海拔梯度格局相符^[19]。形成原因可能有以下几个方面:首先,区系的过渡性导致不同林型群落的物种多样性和区系分化强度产生差异;其次, α 多样性会受限于生境异质性的水平,混交林型群落的冠层结构复杂,林下光照的异质性水平高于其他林型。最后,多样性数值较低的海拔段的优势种可能为成立保护区前栽种的人工林,其物种组成相对单一。

β 多样性,表示在一个梯度上从一个生境到另一个生境所发生的种的多样性变化速率和范围^[13],Cody指数作为其中一个指数,通过对新增加和失去的物种数目进行比较,从而获得十分直观的物种更替概念,能清楚地表明多样性含义^[14]。本研究中,低海拔区段3个层次的 β 多样性指数曲线均具有波动性,表明群落间的物种更替速率在低海拔区段无明显的递变规律。乔木层的波动幅度相对较小,其Cody指数峰值点很好地反映了植被带的分界线。随着海拔的上升,群落间的生境差异性减小,海拔梯度上热量的递减导致物种丰富度减少,高海拔地区的植物分布范围较广,进一步引起群落间物种交换量(Cody指数)减少,植物群落间的物种更替速率降低,并达到相对稳定的状态,该 β 多样性变化格局符合随海拔升高而减小的常见格局^[7,20]。草本层的 β 多样性格局相对复杂,很大程度上与草本植物易受群落盖度、光照和微地形等因素的影响有关^[16]。

综合群落生长型和等级聚类分析结果,大巴山森林植物群落的20个样地被分为4个类型:第一类是在海拔1000m以下的沟谷地带,光照时间较短,湿度条件较好,包含常绿阔叶林和偏暖性针阔混交林两个林带;第二类,海拔1000~1600m的低中山地带,因太阳直射时间较长,湿度条件不如沟谷地带,属常绿、落叶阔叶混交林带;第三类是海拔1600m~2100m的中山地段,属偏暖湿性针叶阔叶林带;第四类,是海拔2100m以上的亚高山地带,环境条件相对恶劣,群落主要优势种为巴山冷杉和青杆等植物,属偏寒性暗针叶林带。因此,重庆大巴山自然保护区植被在保护和可持续发展时,要根据植物群落物种丰富度的海拔梯度变化规律,科学、合理地进行立地类型规划,制订相应技术和管理措施,开展高效的植物群落营建和封育管护,才能达到费省效宏、持续久远的效果。

参考文献:

- [1] 邢韶华, 崔国发, 林大影, 等. 北京山地植物物种多样性的垂直分布规律[J]. 北京林业大学学报, 2010, **32**(S1): 45-50.
XING S H, CUI G F, LIN D Y, *et al.* Distribution of plant diversity along an altitudinal gradient in mountains of Beijing [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2010, **32** (Suppl. 1): 45-50.
- [2] 张晓龙, 周继华, 蔡文涛, 等. 水分梯度下黑河流域荒漠植物群落多样性特征[J]. 生态学报, 2017, **37**(14): 4 627-4 635.
ZHANG X L, ZHOU J H, CAI W T, *et al.* Diversity characteristics of plant communities in the arid desert of the Heihe basin under different moisture gradients [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, **37**(14): 4 627-4 635.
- [3] SANTOS L M, LENZA E, SANTOS J O D, *et al.* Diversity, floristic composition, and structure of the woody vegetation of the Cerrado in the Cerrado-Amazon transition zone in Mato Grosso, Brazil [J]. *Brazilian Journal of Botany*, 2015, **38** (4): 877-887.
- [4] LOMOLINO M V. Elevation gradients of species-density: historical and prospective views [J]. *Global Ecology & Biogeography*, 2010, **10**(1): 3-13.
- [5] BROWN J H. Mammals on mountainsides: elevational patterns of diversity [J]. *Global Ecology & Biogeography*, 2001, **10**(1): 101-109.
- [6] 姜 隽. 生物群落的物种多样性研究综述[J]. 科技情报开发与经济, 2009, **19**(27): 131-133.
JIANG J. Reviews of the research on the species diversity of biotic community [J]. *Sci-Tech Information Development & Economy*, 2009, **19**(27): 131-133.
- [7] 兰斯安, 宋 敏, 曾馥平, 等. 木论喀斯特森林木本植物多样性垂直格局[J]. 生态学报, 2016, **36**(22): 7 374-7 383.
LAN S A, SONG M, ZENG F P, *et al.* Altitudinal pattern of woody plant species diversity in the karst forest in Mulun, China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, **36**(22): 7 374-7 383.
- [8] 重庆大巴山自然保护区管理局. 重庆大巴山自然保护区科学考察集[M]. 重庆: 重庆大巴山自然保护区管理局(内部资料), 2001.
- [9] 邓洪平. 重庆大巴山国家级自然保护区生物多样性[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- [10] 环境保护部. 中国生物多样性保护战略与行动计划: 2011-2030年[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2011, (10): 23-24.
- [11] 许冬焱. 大巴山自然保护区种子植物区系组成分析[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2003, **28**(6): 963-968.
XU D Y. An analysis of seed plants floral composition in dabashan nature reserve [J]. *Journal of Southwest China Normal University* (Natural Science), 2003, **28**(6): 963-968.
- [12] 许冬焱. 大巴山自然保护区植被及其特征的初步研究[J]. 安徽农业大学学报, 2005, **32**(3): 332-335.
XU D Y. Preliminary investigation on the vegetation of Dabashan Nature Reserve and Its characteristics [J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2005, **32**(3): 332-335.
- [13] 张金屯. 数量生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [14] 殷代英, 韩庆杰, 屈建军, 等. 青藏铁路格尔木-错那湖段沿线物种多样性分析[J]. 干旱区资源与环境, 2013, **27**(12): 152-160.
YIN D Y, HAN Q J, QU J J, *et al.* Species diversity of alpine vegetation along the Geermu to Cuona Lake section of Qinghai-Tibet Railway [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2013, **27**(12): 152-160.
- [15] 刘建泉, 郝 虎, 王学福. 青海云杉林种、属、科丰富度的垂直分布格局[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2010, **34**(4): 97-101.
LIU J Q, HAO H, WANG X F. The vertical distribution pattern of species richness in species, genera and families of *Picea crassifolia* forest [J]. *Journal of Nanjing Forestry University* (Natural Science Edition), 2010, **34**(4): 97-101.
- [16] 唐志尧, 方精云. 植物物种多样性的垂直分布格局[J]. 生物多样性, 2004, **12**(1): 20-28.
TANG Z Y, FANG J Y. A review on the elevational patterns of plant species diversity [J]. *Biodiversity Science*, 2004, **12** (1): 20-28.
- [17] 丛明畅, 曹 迪, 陈国平, 等. 燕山和太行山过渡区植物多样性垂直变化特点[J]. 植物研究, 2017, **37**(5): 673-681.
CONG M Y, CAO D, CHEN G P, *et al.* Vertical characteristics of plant diversity in transition between Mount. Yan and Mount. Taihang [J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2017, **37**(5): 673-681.
- [18] 皇甫昭, 丁 涛, 李先琨, 等. 弄岗喀斯特季节性雨林不同群丛物种多样性随海拔的变化[J]. 生态学报, 2016, **36**(14): 4 509-4 517.
HUANGFU Z, DING T, LI X K, *et al.* Species diversity for various associations along an altitudinal gradient in the karst seasonal rainforest in Nonggang [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, **36**(14): 4 509-4 517.
- [19] 沈泽昊, 胡会峰, 周 宇, 等. 神农架南坡植物群落多样性的海拔梯度格局[J]. 生物多样性, 2004, **12**(1): 99-107.
SHEN Z H, HU H F, ZHOU Y, *et al.* Altitudinal patterns of plant species diversity on the southern slope of Mt. Shennongjia, Hubei, China [J]. *Biodiversity Science*, 2004, **12** (1): 99-107.
- [20] 张 璐, 苏志尧, 李镇魁. 南岭国家级自然保护区森林群落 β 多样性随海拔梯度的变化[J]. 热带亚热带植物学报, 2007, **15** (6): 506-512.
ZHANG L, SU Z Y, LI Z K. Variations in β diversity of forest communities along altitudinal gradient in Nanling National Nature Reserve, China [J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2007, **15**(6): 506-512.

(编辑: 潘新社)