

浙江铜铃山国家森林公园次生常绿阔叶林和 针阔混交林乔木群落特征研究

李伟成^{1,2,①}, 盛海燕³, 金孝锋⁴, 陈伟杰⁴

(1. 国家林业和草原局竹子研究开发中心, 浙江 杭州 310012; 2. 西南林业大学生命科学学院, 云南 昆明 650224;
3. 杭州市环境保护科学研究院, 浙江 杭州 310014; 4. 杭州师范大学生命与环境科学学院, 浙江 杭州 310036)

摘要: 对浙江铜铃山国家森林公园次生常绿阔叶林和针阔混交林乔木群落的物种组成、径级结构、优势种种群存活曲线及稳定性进行了调查和研究。结果表明:次生常绿阔叶林乔木层包含 31 科 51 属 84 种, 针阔混交林乔木层包含 26 科 48 属 76 种; 2 个林型的优势种明显, 次生常绿阔叶林重要值排名前 5 的物种为木荷 (*Schima superba* Gardn. et Champ.)、甜槠 [*Castanopsis eyrei* (Champ.) Tutch.]、短尾柯 [*Lithocarpus brevicaudatus* (Skan) Hayata]、马银花 [*Rhododendron ovatum* (Lindl.) Planch. ex Maxim.] 和尖连蕊茶 [*Camellia cuspidata* (Kochs) Wright ex Gard.], 针阔混交林重要值排名前 5 的物种为杉木 [*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.]、木荷、马尾松 (*Pinus massoniana* Lamb.)、黄山松 (*Pinus taiwanensis* Hayata) 和柳杉 (*Cryptomeria fortunei* Hooibrenk ex Otto et Dietr.)。次生常绿阔叶林乔木层中木荷、甜槠和短尾柯种群径级分布均呈倒“J”型, 存活曲线均为直线型, 属于稳定型种群; 红楠 (*Machilus thunbergii* Sieb. et Zucc.) 种群径级分布接近“L”型, 存活曲线为“凹”型, 属增长型种群。针阔混交林乔木层中杉木种群径级分布呈“L”型, 存活曲线为“凹”型, 属于增长型种群; 木荷种群径级分布呈倒“J”型, 存活曲线为直线型, 属于稳定型种群; 黄山松和马尾松种群径级分布接近正态分布, 存活曲线均呈“凸”型, 属于衰退型种群。M-Godron 群落稳定性分析结果表明: 铜铃山国家森林公园 2 种林型均处于不稳定状态。CCA 分析结果显示: 海拔是影响这 2 个林型的主要环境因子。综合研究结果显示: 铜铃山国家森林公园次生常绿阔叶林和针阔混交林处于相对稳定的演替中期, 未达到稳定的顶极群落状态。

关键词: 铜铃山国家森林公园; 次生常绿阔叶林; 针阔混交林; 物种组成; 径级结构; 存活曲线; 群落稳定性

中图分类号: Q948.15⁺4; S718.54 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2019)03-0066-12

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2019.03.09

Study on arbor community characteristics of secondary evergreen broad-leaved forest and coniferous and broad-leaved mixed forest in Tonglingshan National Forest Park of Zhejiang Province LI Weicheng^{1,2,①}, SHENG Haiyan³, JIN Xiaofeng⁴, CHEN Weijie⁴ (1. China Bamboo Research Center, Hangzhou 310012, China; 2. College of Life Sciences, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China; 3. Hangzhou Academy of Environmental Science, Hangzhou 310014, China; 4. College of Life and Environmental Sciences, Hangzhou Normal University, Hangzhou 310036, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2019, 28(3): 66-77

Abstract: Species composition, diameter class structure, survival curve of populations of dominant species, and stability of arbor community of secondary evergreen broad-leaved forest and coniferous and broad-leaved mixed forest in Tonglingshan National Forest Park of Zhejiang Province were surveyed and studied. The results show that there are 84 species in 51 genera belonging to 31 families in arbor layer of secondary evergreen broad-leaved forest, and 76 species in 48 genera belonging to 26 families in arbor layer of coniferous and broad-leaved mixed forest. The dominant species of two forest types were obvious.

收稿日期: 2018-11-11

基金项目: 浙江省省院合作林业科技项目(2015SY06); 浙江省科技计划项目(2016F50008)

作者简介: 李伟成(1978—), 男, 浙江湖州人, 博士, 副研究员, 主要从事系统生态学研究。

①通信作者 E-mail: leewisbcrc@caf.ac.cn

Top five species based on important value in secondary evergreen broad-leaved forest are *Schima superba* Gardn. et Champ., *Castanopsis eyrei* (Champ.) Tutch., *Lithocarpus brevipendulus* (Skan) Hayata, *Rhododendron ovatum* (Lindl.) Planch. ex Maxim., and *Camellia cuspidata* (Kochs) Wright ex Gard., and those in coniferous and broad-leaved mixed forest are *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook., *S. superba*, *Pinus massoniana* Lamb., *Pinus taiwanensis* Hayata, and *Cryptomeria fortunei* Hooibrenk ex Otto et Dietr. Diameter class distributions of *S. superba*, *C. eyrei*, and *L. brevipendulus* populations in arbor layer of secondary evergreen broad-leaved forest exhibit inverted J-shape, and their survival curves are linear type, which belong to stable type; that of *Machilus thunbergii* Sieb. et Zucc. population is close to L-shape, and its survival curve is concave type, which belongs to increasing type. Diameter class distribution of *C. lanceolata* population in arbor layer of coniferous and broad-leaved mixed forest shows L-shape, and its survival curve is concave type, which belongs to increasing type; that of *S. superba* population shows inverted J-shape, and its survival curve is linear type, which belongs to stable type; those of *P. taiwanensis* and *P. massoniana* populations are close to normal distribution, and their survival curves are convex type, which belong to declining type. The result of M-Godron analysis on community stability shows that the two forest types in Tonglingshan National Forest Park are in unstable state. The result of CCA analysis shows that elevation is the main environmental factor affecting the two forest types. The comprehensive research result shows that secondary evergreen broad-leaved forest and coniferous and broad-leaved mixed forest in Tonglingshan National Forest Park are in relatively stable medium succession stage, and have not reached stable top community state.

Key words: Tonglingshan National Forest Park; secondary evergreen broad-leaved forest; coniferous and broad-leaved mixed forest; species composition; diameter class structure; survival curve; community stability

亚热带常绿阔叶林是中国亚热带地区特有的地带性植被,一直是中国群落生态研究者关注的热点,近年来已对浙江古田山^[1-4]、广东鼎湖山^[5-7]和浙江天童山^[8]等地的原生常绿阔叶林进行了深入研究。目前,常绿阔叶林受人为干扰严重,主要以次生林形式存在^[9]。已有学者对各地次生常绿阔叶林物种组成、群落结构和物种多样性等方面进行了研究^[10-12],科学评估了当地森林群落状态,也为当地森林群落的经营、管理和保护提供了科学合理的建议。针阔混交林是中国湿润亚热带山地中独特的垂直带类型^[13],也是常绿阔叶林垂直带谱的重要组成部分。针阔混交林和常绿阔叶林相互联系、不可分割,对其进行研究可以丰富和完善中国亚热带常绿阔叶林演替及生物多样性维持机制^[14]。

由于各地森林群落存在差异,很难将次生常绿阔叶林和针阔混交林群落作为一个整体来研究^[14-15]。浙江铜铃山国家森林公园内群落类型较多,次生常绿阔叶林和针阔混交林面积分别占该森林公园总面积的38.5%和26.4%^[16]。为了解处于同一区域且人为干扰基本一致的情况下次生常绿阔叶林和针阔混交林的群落结构表现、群落演替趋势及群落稳定性的一致性,本文选取浙江铜铃山国家森林公园中次生常绿阔叶林和针阔混交林2种典型林型为研究对象,基于

群落物种组成和径级结构等基本特征,运用优势树种的存活曲线和改进的M-Godron稳定性测定方法分析群落稳定性,探索同一区域内不同林型群落结构特征及演替状况,以期为亚热带地区次生森林群落演替、生物多样性及其维持机制、植被恢复等研究奠定基础,也有助于铜铃山国家森林公园的科学评估、开发、利用和保护。

1 研究区域概况和研究方法

1.1 研究区域概况

铜铃山国家森林公园位于浙江南部的温州市,地处飞云江上游,地理坐标为北纬27°34'~27°59'、东经119°46'~120°15'。铜铃山国家森林公园森林覆盖率95.3%,属于洞宫山脉罗山支脉延伸段,面积2 725 hm²,其中,次生常绿阔叶林面积1 049.1 hm²,针阔混交林面积719.4 hm²^[17]。该地区地形起伏较大,坡度30°~45°,最低海拔约500 m,地貌以中、低山为主,海拔1 000 m以上的山峰众多,最高峰海拔1 362 m。该地区属中亚热带湿润季风气候,年平均降水量1 884 mm,年平均气温18.1℃,无霜期165 d。海拔800 m以下的土壤类型为红壤,海拔800 m以上的土壤类型为黄壤。

1.2 研究方法

依据铜铃山国家森林公园实地勘察结果,分别设置 13 个次生常绿阔叶林样地和 12 个针阔混交林样地,样地面积均为 20 m×20 m,并采用经典群落学方法对各样地进行详细调查,采用 GPS 定位,记录各样地的纬度、经度、海拔、坡位、坡度和坡向,采用目测法测定样地的郁闭度,样地基本情况见表 1。对样地内胸径(DBH)大于等于 1 cm 的木本植物个体进行挂牌标记,并记录植物的种名、个体数、胸径、树高和冠幅等;对胸径小于 1 cm 且树高不足 1.3 m 的木本植物个体仅记录种名、个体数和树高。稀有种和偶见种的划分参照 Hubbell 等^[18]的定义。

1.3 数据处理和分析

乔木物种的重要值根据公式“重要值=(相对多度+相对频度+相对显著度)/3”进行计算,其中,相对多度和相对频度的计算仅统计独立个体,而相对显著

度的计算包括分枝和根萌的胸高断面积^[19]。

种-面积曲线的绘制以面积 20 m×20 m 的样地为单位,采用对数函数进行拟合^[19];以种数为横坐标、以多度累计百分比为纵坐标绘制种-多度分布曲线^[20],采用对数函数进行拟合。

采用测树胸径尺(精度 1 mm)测定树木胸径。以胸径 2 cm 为最小区间绘制径级分布图,分别统计各径级内的个体数量。以径级代替龄级绘制种群的存活曲线,以胸径 2 cm 为 1 个径级进行分级,根据存活曲线的类型判断种群变化特征。存活曲线若为直线型,表明种群为稳定型种群;存活曲线若为“凸”型,表明种群为衰退型种群;存活曲线若为“凹”型,表明种群为增长型种群^[21]。

参照改进的 M-Godron 稳定性测定方法^[22]测定群落稳定性。采用 Canoco 5.0 软件对样地和群落与环境因子进行 CCA 分析^[23],并采用 Monte Carlo 检验

表 1 浙江铜铃山国家森林公园次生常绿阔叶林和针阔混交林样地基本情况

Table 1 Basic status of plots of secondary evergreen broad-leaved forest and coniferous and broad-leaved mixed forest in Tonglingshan National Forest Park of Zhejiang Province

样地编号 No. of plot	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔/m Elevation	坡位 Slope position	坡度/(°) Slope	坡向 Aspect	郁闭度/% Canopy density
次生常绿阔叶林 Secondary evergreen broad-leaved forest							
1	N27°47'35.9"	E119°50'15.2"	628	中 Middle	40	东北 Northeast	85
2	N27°47'40.8"	E119°50'15.7"	643	下 Lower	30	西南 Southwest	80
3	N27°47'44.5"	E119°50'30.4"	654	下 Lower	30	东南 Southeast	95
4	N27°49'13.8"	E119°51'30.7"	742	下 Lower	35	东北 Northeast	75
5	N27°49'17.0"	E119°51'33.4"	757	中 Middle	40	东北 Northeast	85
6	N27°49'16.6"	E119°51'35.3"	781	下 Lower	35	东北 Northeast	85
7	N27°49'52.2"	E119°51'27.0"	784	下 Lower	20	东南 Southeast	80
8	N27°48'16.9"	E119°50'14.9"	805	下 Lower	40	东南 Southeast	70
9	N27°48'26.4"	E119°50'30.2"	829	中 Middle	25	西南 Southwest	90
10	N27°49'10.6"	E119°51'23.3"	846	下 Lower	40	东北 Northeast	90
11	N27°49'08.7"	E119°51'28.4"	853	下 Lower	40	东北 Northeast	85
12	N27°48'27.3"	E119°50'30.0"	890	上 Upper	40	西北 Northwest	85
13	N27°49'24.3"	E119°51'18.0"	914	上 Upper	40	东北 Northeast	85
针阔混交林 Coniferous and broad-leaved mixed forest							
14	N27°49'07.1"	E119°51'28.8"	810	上 Upper	20	西 West	75
15	N27°49'16.1"	E119°51'19.1"	855	上 Upper	18	西南 Southwest	70
16	N27°49'20.4"	E119°51'16.0"	875	中上 Middle-upper	19	西南 Southwest	70
17	N27°48'39.2"	E119°50'05.4"	948	中 Middle	15	西南 Southwest	75
18	N27°48'50.9"	E119°50'11.8"	1 066	上 Upper	18	西南 Southwest	85
19	N27°50'38.0"	E119°49'46.2"	1 071	上 Upper	25	西南 Southwest	75
20	N27°48'49.1"	E119°49'58.0"	1 073	上 Upper	18	东南 Southeast	95
21	N27°49'10.1"	E119°49'59.1"	1 086	上 Upper	25	东北 Northeast	85
22	N27°48'58.2"	E119°49'38.2"	1 090	上 Upper	28	南 South	80
23	N27°48'50.4"	E119°50'09.1"	1 099	上 Upper	20	东北 Northeast	85
24	N27°48'47.7"	E119°50'16.9"	1 167	中上 Middle-upper	19	东北 Northeast	75
25	N27°48'59.2"	E119°50'16.1"	1 078	中上 Middle-upper	30	东 East	95

对其可靠性进行检验。采用 EXCEL 2010 软件对数据进行统计分析并制图。

2 结果和分析

2.1 物种组成分析

2.1.1 次生常绿阔叶林 调查结果显示:浙江铜铃山国家森林公园次生常绿阔叶林乔木层物种(胸径大于等于 1 cm)共 947 株,属于 31 科 51 属 84 种,其中,裸子植物 2 科 2 属 3 种,被子植物 29 科 49 属 81 种。其中,物种个体数排名前 10 的科和属见表 2,重要值排名前 10 的物种见表 3。

由表 2 可见:壳斗科(Fagaceae)种数最多,包含 5 属 12 种;其次为杜鹃花科(Ericaceae),包含 2 属 8 种;再次为山茶科(Theaceae)和樟科(Lauraceae),均包含 4 属 6 种。壳斗科、山茶科和杜鹃花科的个体数较多,这 3 个科个体数之和占总个体数的 59.7%;

樟科和五加科(Araliaceae)的个体数均占总个体数的 5%以上。杜鹃属(*Rhododendron* Linn.)的个体数最多,锥属[*Castanopsis* (D. Don) Spach]和木荷属(*Schima* Reinw.)的个体数也较多,这 3 个属个体数之和占总个体数的 34.9%。

由表 3 可见:浙江铜铃山国家森林公园次生常绿阔叶林乔木层重要值排名前 10 的物种的重要值总和为 53.488%,优势种明显,重要值排名前 5 的物种分别为木荷(*Schima superba* Gardn. et Champ.)、甜槠[*Castanopsis eyrei* (Champ.) Tutch.]、短尾柯[*Lithocarpus brevipendulus* (Skan) Hayata]、马银花[*Rhododendron ovatum* (Lindl.) Planch. ex Maxim.]和尖连蕊茶[*Camellia cuspidata* (Kochs) Wright ex Gard.]. 样地内重要值排名前 10 的物种的相对多度总和为 59.450%,相对显著度总和为 65.355%。样地内所有独立个体的平均胸径为 10.76 cm,米槠[*Castanopsis carlesii* (Hemsl.) Hayata]的胸径最大,为

表 2 浙江铜铃山国家森林公园次生常绿阔叶林乔木层物种个体数排名前 10 的科和属

Table 2 Top ten families and genera based on individual number of species in arbor layer of secondary evergreen broad-leaved forest in Tonglingshan National Forest Park of Zhejiang Province

科 Family	个体数 Number of individuals	个体数所占比例/% Percentage of number of individuals	种数 Number of species	属 Genus	个体数 Number of individuals	个体数所占比例/% Percentage of number of individuals	种数 Number of species
壳斗科 Fagaceae	243	25.7	12	杜鹃属 <i>Rhododendron</i>	126	13.3	5
山茶科 Theaceae	189	20.0	6	锥属 <i>Castanopsis</i>	112	11.8	4
杜鹃花科 Ericaceae	133	14.0	8	木荷属 <i>Schima</i>	93	9.8	1
樟科 Lauraceae	91	9.6	6	山茶属 <i>Camellia</i>	76	8.0	2
五加科 Araliaceae	54	5.7	1	柯属 <i>Lithocarpus</i>	69	7.3	2
清风藤科 Sabiaceae	36	3.8	4	润楠属 <i>Machilus</i>	61	6.4	2
安息香科 Styracaceae	34	3.6	4	树参属 <i>Dendropanax</i>	54	5.7	1
虎耳草科 Saxifragaceae	27	2.9	1	青冈属 <i>Cyclobalanopsis</i>	38	4.0	2
蔷薇科 Rosaceae	16	1.7	5	泡花树属 <i>Meliosma</i>	33	3.5	2
漆树科 Anacardiaceae	15	1.6	1	鼠刺属 <i>Itea</i>	27	2.9	1

表 3 浙江铜铃山国家森林公园次生常绿阔叶林乔木层重要值排名前 10 的物种

Table 3 Top ten species based on important value in arbor layer of secondary evergreen broad-leaved forest in Tonglingshan National Forest Park of Zhejiang Province

物种 Species	相对频度/% Relative frequency	相对多度/% Relative abundance	相对显著度/% Relative dominance	重要值/% Important value
木荷 <i>Schima superba</i>	4.264	9.820	15.555	9.880
甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i>	4.264	8.131	15.482	9.292
短尾柯 <i>Lithocarpus brevipendulus</i>	2.326	6.653	9.198	6.059
马银花 <i>Rhododendron ovatum</i>	3.488	7.814	5.088	5.463
尖连蕊茶 <i>Camellia cuspidata</i>	4.264	6.758	3.411	4.811
红楠 <i>Machilus thunbergii</i>	4.264	5.385	4.552	4.734
树参 <i>Dendropanax dentiger</i>	3.876	5.702	3.662	4.413
青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>	2.713	3.590	4.588	3.630
鹿角杜鹃 <i>Rhododendron latoucheae</i>	3.488	2.746	1.961	2.732
矩形叶鼠刺 <i>Itea chinensis</i>	2.713	2.851	1.858	2.474

68.40 cm。此外,样地内稀有种和偶见种较多,样地内仅2株的物种有14种,仅1株的物种有24种。

2.1.2 针阔混交林 浙江铜铃山国家森林公园针阔混交林样地中乔木层物种(胸径大于等于1 cm)共1101株,属于26科48属76种,其中,裸子植物2科3属4种,被子植物24科45属72种,其中,物种个体数排名前10的科和属见表4,重要值排名前10的物种见表5。

由表4可见,杜鹃花科种数最多,包含2属9种;其次为壳斗科,包含4属8种;再次为樟科,包含4属6种。松科(Pinaceae)、杉科(Taxodiaceae)、山茶科和杜鹃花科的个体数也较多,这4个科个体数之和占总个体数的61.2%;壳斗科、山矾科(Symplocaceae)和蔷薇科(Rosaceae)的个体数均占总个体数的5%以上。松属(*Pinus* Linn.)的个体数最多,杉木属(*Cunninghamia* R. Br.)和木荷属的个体数也较多,这3个属个体数之和占总个体数的43.2%。

由表5可见,浙江铜铃山国家森林公园针阔混交林样地中乔木层重要值排名前10的物种的重要值总和为63.543%,重要值排名前5的物种分别为杉木[*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.]、木荷、马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)、黄山松(*Pinus taiwanensis* Hayata)和柳杉(*Cryptomeria fortunei* Hooibrenk ex Otto et Dietr.)。样地内重要值排名前10的物种的相对多度总和为73.299%,相对显著度总和为83.448%。样地内所有独立个体的平均胸径为11.64 cm,木荷的胸径最大,为92.81 cm,甜槠的胸径次之,为91.40 cm。样地内个体数仅2株的物种有8种,仅1株的物种有32种。

2.2 种-面积曲线和种-多度分布曲线

采用对数函数对浙江铜铃山国家森林公园次生常绿阔叶林和针阔混交林进行种-面积曲线拟合,拟合效果均达到极显著($P < 0.01$)水平(图1)。根据种-面积曲线可知,次生常绿阔叶林的模拟曲线拐点

表4 浙江铜铃山国家森林公园针阔混交林乔木层物种个体数排名前10的科和属

Table 4 Top ten families and genera based on individual number of species in arbor layer of coniferous and broad-leaved mixed forest in Tonglingshan National Forest Park of Zhejiang Province

科 Family	个体数 Number of individuals	个体数所占比例/% Percentage of number of individuals	种数 Number of species	属 Genus	个体数 Number of individuals	个体数所占比例/% Percentage of number of individuals	种数 Number of species
松科 Pinaceae	207	18.8	2	松属 <i>Pinus</i>	207	18.8	2
杉科 Taxodiaceae	206	18.7	2	杉木属 <i>Cunninghamia</i>	146	13.3	1
山茶科 Theaceae	161	14.6	5	木荷属 <i>Schima</i>	122	11.1	1
杜鹃花科 Ericaceae	100	9.1	9	杜鹃属 <i>Rhododendron</i>	100	9.1	4
壳斗科 Fagaceae	97	8.8	8	山矾属 <i>Symplocos</i>	95	8.6	5
山矾科 Symplocaceae	95	8.6	5	柳杉属 <i>Cryptomeria</i>	60	5.4	1
蔷薇科 Rosaceae	71	6.4	5	石楠属 <i>Photinia</i>	55	5.0	2
樟科 Lauraceae	54	4.9	6	锥属 <i>Castanopsis</i>	51	4.7	3
安息香科 Styracaceae	23	2.1	3	润楠属 <i>Machilus</i>	46	4.2	1
五加科 Araliaceae	16	1.5	2	桧木属 <i>Eurya</i>	36	3.3	2

表5 浙江铜铃山国家森林公园针阔混交林乔木层重要值排名前10的物种

Table 5 Top ten species based on important value in arbor layer of coniferous and broad-leaved mixed forest in Tonglingshan National Forest Park of Zhejiang Province

物种 Species	相对频度/% Relative frequency	相对多度/% Relative abundance	相对显著度/% Relative dominance	重要值/% Important value
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	3.553	13.261	19.022	11.945
木荷 <i>Schima superba</i>	6.091	11.081	15.463	10.879
马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	2.031	8.992	16.626	9.216
黄山松 <i>Pinus taiwanensis</i>	3.046	9.809	9.822	7.559
柳杉 <i>Cryptomeria fortunei</i>	3.553	5.450	8.048	5.684
甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i>	4.569	4.451	4.165	4.395
山矾 <i>Symplocos sumuntia</i>	1.523	6.721	3.201	3.815
红楠 <i>Machilus thunbergii</i>	4.061	4.178	1.977	3.405
满山红 <i>Rhododendron mariesii</i>	3.046	4.451	2.481	3.326
中华石楠 <i>Photinia beauverdiana</i>	2.031	4.905	2.643	3.319

处对应面积约为 1 200 m², 该面积包含种数占总种数的 55.2%, 根据 Archibald 最小面积的确定标准^[24], 可将 1 200 m² 确定为次生常绿阔叶林的最小面积; 当取样面积达到 2 400 m² 时, 该面积包含种数占总种数的 80.5%; 当取样面积达到 3 600 m² 时, 该面积包含种数占总种数的 93.1%。针阔混交林的模拟曲线拐点处对应面积约为 800 m², 该面积包含种数占总种数的 54.7%, 可将 800 m² 确定为针阔混交林的最小面积; 当取样面积达到 2 000 m² 时, 该面积包含种数占总种数的 84.0%; 当取样面积达到 2 400 m² 时, 该面积包含种数占总种数的 90.7%。

种-多度分布曲线(图 2)表明: 浙江铜铃山国家森林公园次生常绿阔叶林个体数排名前 7 的物种的个体

数之和占总个体数的 50.1%, 个体数排名前 36 的物种的个体数之和占总个体数的 89.9%, 个体数排名后 48 的物种的个体数之和占总个体数的 10.1%, 其种-多度分布曲线符合对数函数曲线。针阔混交林个体数排名前 5 的物种的个体数之和占总个体数的 50.2%, 个体数排名前 20 的物种的个体数之和占总个体数的 89.7%, 个体数排名后 56 的物种的个体数之和占总个体数的 10.3%, 其种-多度分布曲线符合对数函数曲线。次生常绿阔叶林中稀有种和偶见种共有 41 种, 针阔混交林中稀有种和偶见种共有 40 种, 分别占总种数的 48.8% 和 52.6%。虽然稀有种和偶见种的个体数占总个体数的比例小于 5.0%, 但在维持群落物种多样性和群落稳定性方面有重要作用。

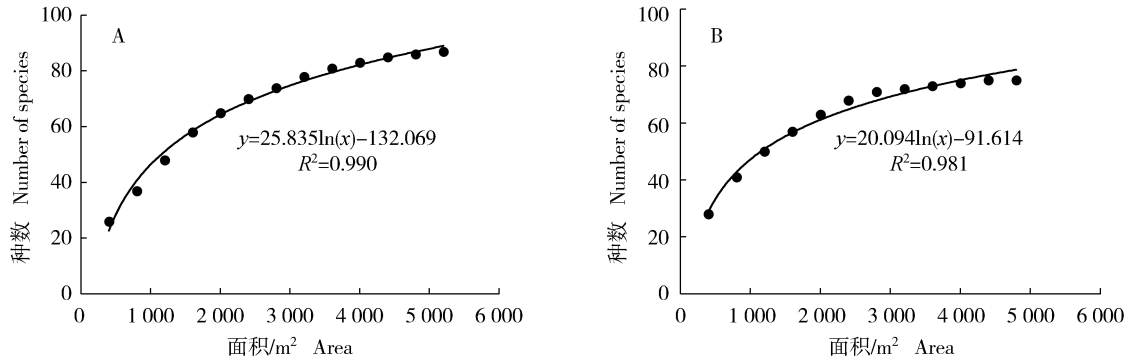


图 1 浙江铜铃山国家森林公园次生常绿阔叶林(A)和针阔混交林(B)乔木层的种-面积曲线
Fig. 1 Species-area curve of arbor layer of secondary evergreen broad-leaved forest (A) and coniferous and broad-leaved mixed forest (B) in Tonglingshan National Forest Park of Zhejiang Province

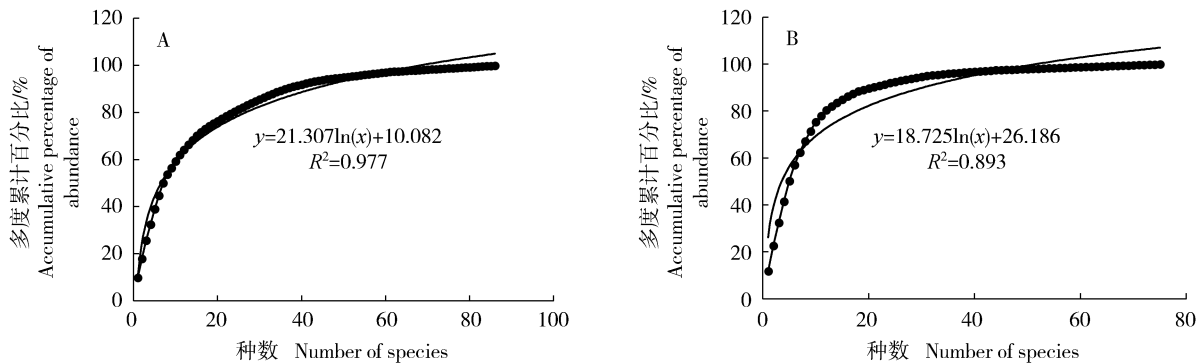


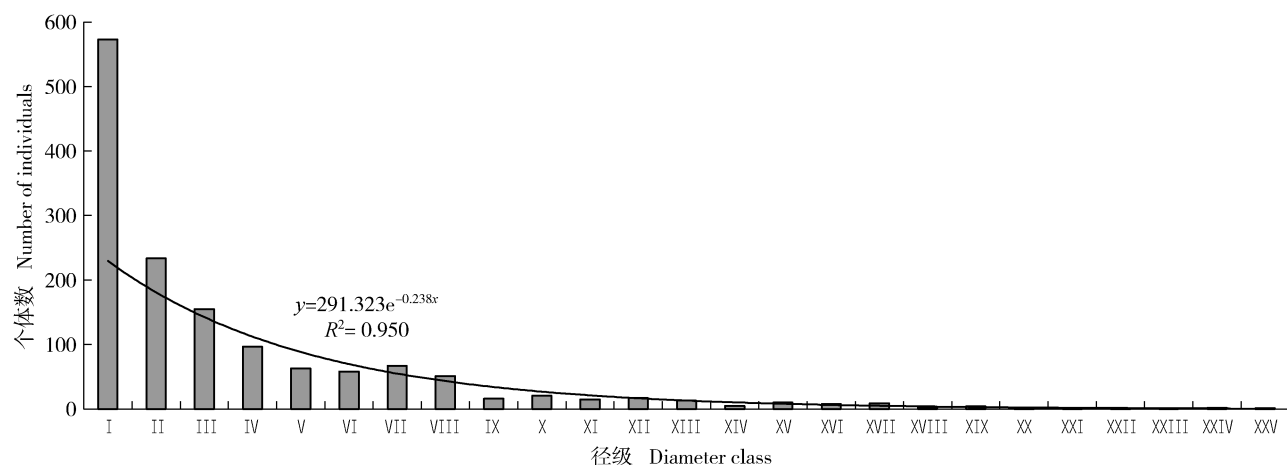
图 2 浙江铜铃山国家森林公园次生常绿阔叶林(A)和针阔混交林(B)乔木层的种-多度分布曲线
Fig. 2 Species-abundance distribution curve of arbor layer of secondary evergreen broad-leaved forest (A) and coniferous and broad-leaved mixed forest (B) in Tonglingshan National Forest Park of Zhejiang Province

2.3 径级结构与存活曲线

2.3.1 次生常绿阔叶林 浙江铜铃山国家森林公园次生常绿阔叶林乔木物种的径级结构见图 3, 乔木层

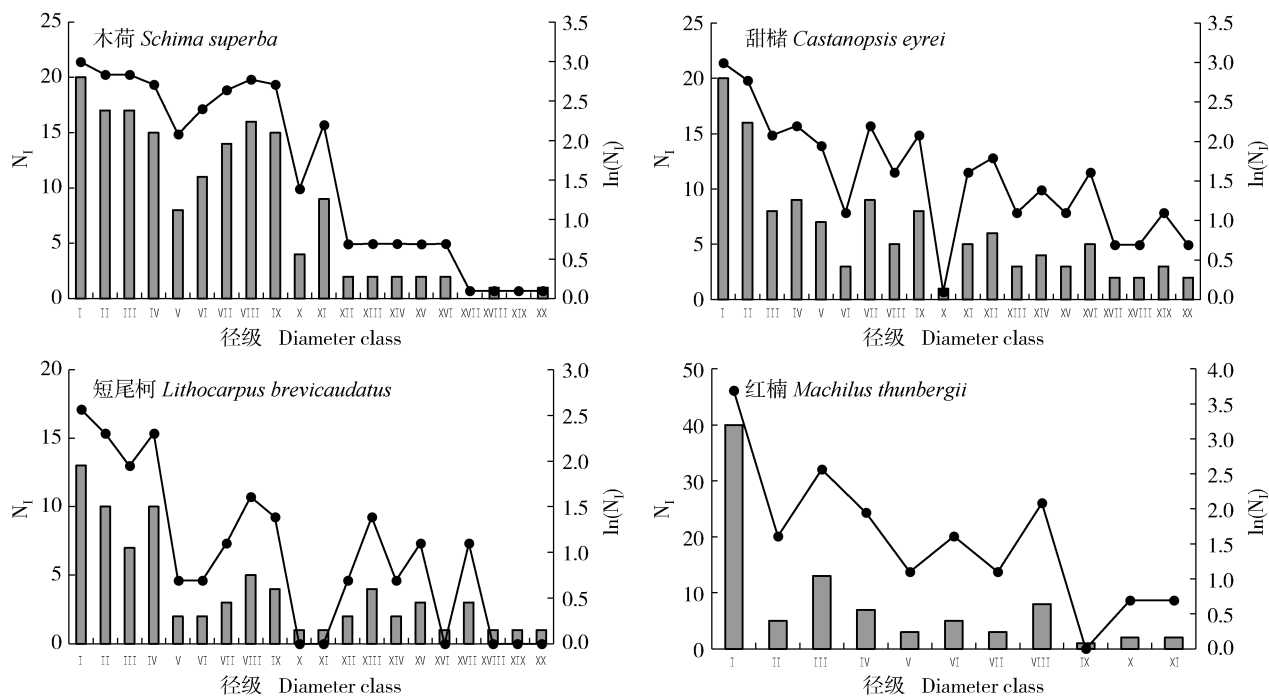
优势种种群的径级结构和存活曲线见图 4, 乔木层优势种种群存活曲线的回归方程见表 6。

由图 3 可见: 次生常绿阔叶林乔木物种的径级分



I: 0 cm < DBH ≤ 2 cm; II: 2 cm < DBH ≤ 4 cm; III: 4 cm < DBH ≤ 6 cm; IV: 6 cm < DBH ≤ 8 cm; V: 8 cm < DBH ≤ 10 cm; VI: 10 cm < DBH ≤ 12 cm; VII: 12 cm < DBH ≤ 14 cm; VIII: 14 cm < DBH ≤ 16 cm; IX: 16 cm < DBH ≤ 18 cm; X: 18 cm < DBH ≤ 20 cm; XI: 20 cm < DBH ≤ 22 cm; XII: 22 cm < DBH ≤ 24 cm; XIII: 24 cm < DBH ≤ 26 cm; XIV: 26 cm < DBH ≤ 28 cm; XV: 28 cm < DBH ≤ 30 cm; XVI: 30 cm < DBH ≤ 32 cm; XVII: 32 cm < DBH ≤ 34 cm; XVIII: 34 cm < DBH ≤ 36 cm; XIX: 36 cm < DBH ≤ 38 cm; XX: 38 cm < DBH ≤ 40 cm; XXI: 40 cm < DBH ≤ 42 cm; XXII: 42 cm < DBH ≤ 44 cm; XXIII: 44 cm < DBH ≤ 46 cm; XXIV: 46 cm < DBH ≤ 48 cm; XXV: 48 cm < DBH ≤ 50 cm. DBH: 胸径 Diameter at breast height.

图3 浙江铜铃山国家森林公园次生常绿阔叶林乔木物种的径级结构
Fig. 3 Diameter class structure of arbor species in secondary evergreen broad-leaved forest in Tonglingshan National Forest Park of Zhejiang Province



N_i : 个体数 Number of individuals. \square : N_i ; \bullet : 存活曲线 Survival curve. I: 0 cm < DBH ≤ 2 cm; II: 2 cm < DBH ≤ 4 cm; III: 4 cm < DBH ≤ 6 cm; IV: 6 cm < DBH ≤ 8 cm; V: 8 cm < DBH ≤ 10 cm; VI: 10 cm < DBH ≤ 12 cm; VII: 12 cm < DBH ≤ 14 cm; VIII: 14 cm < DBH ≤ 16 cm; IX: 16 cm < DBH ≤ 18 cm; X: 18 cm < DBH ≤ 20 cm; XI: 20 cm < DBH ≤ 22 cm; XII: 22 cm < DBH ≤ 24 cm; XIII: 24 cm < DBH ≤ 26 cm; XIV: 26 cm < DBH ≤ 28 cm; XV: 28 cm < DBH ≤ 30 cm; XVI: 30 cm < DBH ≤ 32 cm; XVII: 32 cm < DBH ≤ 34 cm; XVIII: 34 cm < DBH ≤ 36 cm; XIX: 36 cm < DBH ≤ 38 cm; XX: 38 cm < DBH ≤ 40 cm. DBH: 胸径 Diameter at breast height.

图4 浙江铜铃山国家森林公园次生常绿阔叶林乔木层优势种群群的径级结构和存活曲线
Fig. 4 Diameter class structure and survival curve of populations of dominant species in arbor layer of secondary evergreen broad-leaved forest in Tonglingshan National Forest Park of Zhejiang Province

布呈明显的倒“J”型。样地内平均胸径 (DBH) 为 10.76 cm, 最大 DBH 为 68.40 cm, 以中、小径级为主, 分布曲线符合负指数幂函数关系, 达到极显著 ($P < 0.01$) 水平。样地内径级 I ($0 \text{ cm} < \text{DBH} \leq 2 \text{ cm}$) 的个体数占总个体数 (1 428, 包括 DBH 小于 1 cm 的个体数) 的 40.1%, 径级 II 至 V ($2 \text{ cm} < \text{DBH} \leq 10 \text{ cm}$) 的个体数占总个体数的 38.4%, 径级 VI 至 XX ($10 \text{ cm} < \text{DBH} \leq 40 \text{ cm}$) 的个体数占总个体数的 20.9%, DBH 在 40 cm 以上的个体仅 9 株, 占总个体数的 0.5%。说明次生常绿阔叶林目前处于相对稳定的发展状态。

由图 4 和表 6 可见: 次生常绿阔叶林乔木层木荷、甜槠和短尾柯种群的径级分布均呈倒“J”型, 种群存活曲线为直线型, 拟合结果均达到极显著水平, 属于稳定型种群。木荷和红楠 (*Machilus thunbergii* Sieb. et Zucc.) 种群中径级 I 至 V ($0 \text{ cm} < \text{DBH} \leq 10 \text{ cm}$) 的个体数占各自种群总个体数的比例较高, 分别达到 48.7% 和 76.4%, 甜槠和短尾柯种群中径级 I 至 V 的个体数占各自种群总个体数的比例分别为 49.6% 和 55.3%。红楠种群的径级分布接近“L”型, 且径级总体较其他 3 个种群小, 最大径级为径级 XI ($20 \text{ cm} < \text{DBH} \leq 22 \text{ cm}$), 径级 I 的个体数占其种群总个体数的 44.9%, 其他径级个体数均较少, 存活曲线基本为“凹”型, 表现出一定的增长潜能, 属于增长型种群。次生常绿阔叶林 4 个优势种种群均为更新较

表 6 浙江铜铃山国家森林公园次生常绿阔叶林乔木层优势种种群存活曲线的回归方程¹⁾

Table 6 Regression equation of survival curve of dominant species populations in arbor layer of secondary evergreen broad-leaved forest in Tonglingshan National Forest Park of Zhejiang Province¹⁾

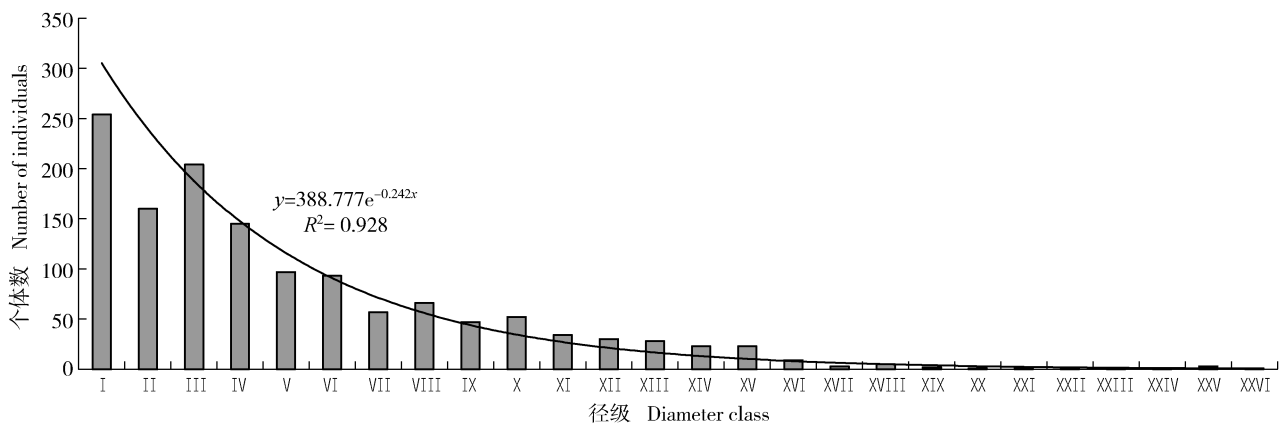
物种 Species	回归方程 Regression equation	R ²
木荷 <i>Schima superba</i>	$y = -0.177x + 3.435$	0.864**
甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i>	$y = -0.093x + 2.520$	0.556**
短尾柯 <i>Lithocarpus brevicaudatus</i>	$y = -0.107x + 2.105$	0.554**
红楠 <i>Machilus thunbergii</i>	$y = -0.237x + 2.975$	0.598**

¹⁾ y: 个体数的自然对数 Natural logarithm of number of individuals; x: 径级 Diameter class. **: $P < 0.01$.

为稳定的种群, 表现出相对稳定的生长状态。

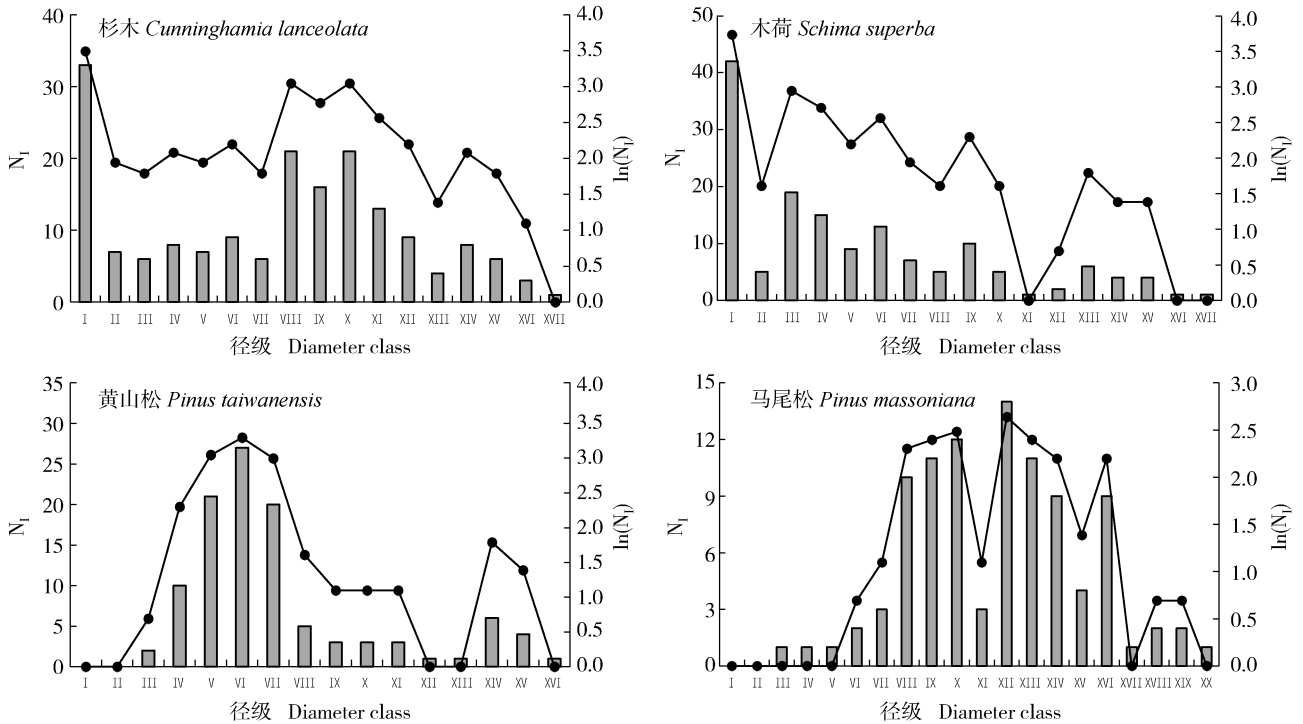
2.3.2 针阔混交林 浙江铜铃山国家森林公园针阔混交林乔木物种的径级结构见图 5, 乔木层优势种种群的径级结构和存活曲线见图 6, 乔木层优势种种群存活曲线的回归方程见表 7。

由图 5 可见: 浙江铜铃山针阔混交林乔木物种的径级分布呈明显的倒“J”型。针阔混交林内平均 DBH 为 11.64 cm, 最大 DBH 为 92.80 cm。样地内径级 I 的个体数最多, 占总个体数 (1 344, 包括 DBH 小于 1 cm 的个体数) 的 18.9%; 径级 II 至 V ($2 \text{ cm} < \text{DBH} \leq 10 \text{ cm}$) 的个体数占总个体数的 45.1%; 径级 VI 至 X ($10 \text{ cm} < \text{DBH} \leq 20 \text{ cm}$) 的个体数占总个体数的 23.4%; 径级 XI 至 XX ($20 \text{ cm} < \text{DBH} \leq 40 \text{ cm}$) 的个



I: $0 \text{ cm} < \text{DBH} \leq 2 \text{ cm}$; II: $2 \text{ cm} < \text{DBH} \leq 4 \text{ cm}$; III: $4 \text{ cm} < \text{DBH} \leq 6 \text{ cm}$; IV: $6 \text{ cm} < \text{DBH} \leq 8 \text{ cm}$; V: $8 \text{ cm} < \text{DBH} \leq 10 \text{ cm}$; VI: $10 \text{ cm} < \text{DBH} \leq 12 \text{ cm}$; VII: $12 \text{ cm} < \text{DBH} \leq 14 \text{ cm}$; VIII: $14 \text{ cm} < \text{DBH} \leq 16 \text{ cm}$; IX: $16 \text{ cm} < \text{DBH} \leq 18 \text{ cm}$; X: $18 \text{ cm} < \text{DBH} \leq 20 \text{ cm}$; XI: $20 \text{ cm} < \text{DBH} \leq 22 \text{ cm}$; XII: $22 \text{ cm} < \text{DBH} \leq 24 \text{ cm}$; XIII: $24 \text{ cm} < \text{DBH} \leq 26 \text{ cm}$; XIV: $26 \text{ cm} < \text{DBH} \leq 28 \text{ cm}$; XV: $28 \text{ cm} < \text{DBH} \leq 30 \text{ cm}$; XVI: $30 \text{ cm} < \text{DBH} \leq 32 \text{ cm}$; XVII: $32 \text{ cm} < \text{DBH} \leq 34 \text{ cm}$; XVIII: $34 \text{ cm} < \text{DBH} \leq 36 \text{ cm}$; XIX: $36 \text{ cm} < \text{DBH} \leq 38 \text{ cm}$; XX: $38 \text{ cm} < \text{DBH} \leq 40 \text{ cm}$; XXI: $40 \text{ cm} < \text{DBH} \leq 42 \text{ cm}$; XXII: $42 \text{ cm} < \text{DBH} \leq 44 \text{ cm}$; XXIII: $44 \text{ cm} < \text{DBH} \leq 46 \text{ cm}$; XXIV: $46 \text{ cm} < \text{DBH} \leq 48 \text{ cm}$; XXV: $48 \text{ cm} < \text{DBH} \leq 50 \text{ cm}$; XXVI: $50 \text{ cm} < \text{DBH} \leq 52 \text{ cm}$. DBH: 胸径 Diameter at breast height.

图 5 浙江铜铃山国家森林公园针阔混交林乔木物种的径级结构
Fig. 5 Diameter class structure of arbor species in coniferous and broad-leaved mixed forest in Tonglingshan National Forest Park of Zhejiang Province



N_i : 个体数 Number of individuals. \square : N_i ; \bullet : 存活曲线 Survival curve. I: 0 cm<DBH≤2 cm; II: 2 cm<DBH≤4 cm; III: 4 cm<DBH≤6 cm; IV: 6 cm<DBH≤8 cm; V: 8 cm<DBH≤10 cm; VI: 10 cm<DBH≤12 cm; VII: 12 cm<DBH≤14 cm; VIII: 14 cm<DBH≤16 cm; IX: 16 cm<DBH≤18 cm; X: 18 cm<DBH≤20 cm; XI: 20 cm<DBH≤22 cm; XII: 22 cm<DBH≤24 cm; XIII: 24 cm<DBH≤26 cm; XIV: 26 cm<DBH≤28 cm; XV: 28 cm<DBH≤30 cm; XVI: 30 cm<DBH≤32 cm; XVII: 32 cm<DBH≤34 cm; XVIII: 34 cm<DBH≤36 cm; XIX: 36 cm<DBH≤38 cm; XX: 38 cm<DBH≤40 cm. DBH: 胸径 Diameter at breast height.

图 6 浙江铜铃山国家森林公园针阔混交林乔木层优势种群径级结构和存活曲线
Fig. 6 Diameter class structure and survival curve of populations of dominant species in arbor layer of coniferous and broad-leaved mixed forest in Tonglingshan National Forest Park of Zhejiang Province

个体数占总个体数的 11.8%;DBH 在 40 cm 以上的个体有 12 株,占总个体数的 0.8%。

由图 6 和表 7 可见:针阔混交林乔木层杉木种群的径级分布接近“L”型,径级 I 的个体数占其种群总个体数的 18.5%,径级 IX 至 XI (16 cm<DBH≤22 cm) 的个体数占其种群总个体数的 39.9%,种群存活曲线为“凹”型,表现出一定的增长潜能,属于增长型种群。木荷种群的径级分布呈倒“J”型,种群存活曲线为直线型,拟合结果达到极显著水平,属于稳定型种群。黄山松和马尾松种群的径级分布接近正态分布,黄山松种群的个体集中分布于径级 IV 至 VI (6 cm<DBH≤12 cm),约占其种群总个体数的 72.2%,但径级 II (2 cm<DBH≤4 cm) 的个体数少,更新苗严重不足;马尾松种群的个体集中分布于径级 VIII 至 XV (14 cm<DBH≤30 cm),约占其种群总个体数的 89.2%,径级 II 的个体数少,更新苗也严重不足。黄

山松和马尾松种群存活曲线均呈“凸”型,拟合结果均达到极显著水平,属于典型的衰退型种群。针阔混交林中黄山松和马尾松种群已经处于衰退状态,在演替过程中将逐渐被其他树种替代,而杉木种群处于较为稳定的增长状态,短期内不会被其他物种替代。

表 7 浙江铜铃山国家森林公园次生针阔混交林乔木层优势种群主要物种存活曲线的回归方程¹⁾
Table 7 Regression equation of survival curve of populations of dominant species in arbor layer of coniferous and broad-leaved mixed forest in Tonglingshan National Forest Park of Zhejiang Province¹⁾

物种 Species	回归方程 Regression equation	R^2
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	$y = -0.025x + 2.626$	0.139
木荷 <i>Schima superba</i>	$y = -0.062x + 3.004$	0.536**
黄山松 <i>Pinus taiwanensis</i>	$y = -0.008x^2 + 0.343x - 1.405$	0.666**
马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	$y = -0.009x^2 + 0.408x - 2.191$	0.584**

¹⁾ y : 个体数的自然对数 Natural logarithm of number of individuals; x : 径级 Diameter class. **: $P < 0.01$.

2.4 群落稳定性

采用改进的 M-Godron 稳定性测定方法对浙江铜铃山国家森林公园次生常绿阔叶林和针阔混交林内的种数倒数累计百分比和相对频度累计百分比的散点图进行平滑曲线模拟, 结果见图 7。由图 7 可见: 次生常绿阔叶林的稳定性模拟曲线为 $y = -0.011x^2 + 1.958x + 12.971$ ($R^2 = 0.983, P < 0.01$); 针阔混交林的稳定性模拟曲线为 $y = -0.012x^2 + 2.061x + 8.076$ ($R^2 = 0.979, P < 0.01$)。次生常绿阔叶林曲线

与直线的交点(相对频度累计百分比 66.1%, 种数倒数累计百分比 34.2%)和针阔混交林曲线与直线的交点(相对频度累计百分比 65.5%, 种数倒数累计百分比 35.4%)均与稳定点(相对频度累计百分比 20.0%, 种数倒数累计百分比 80.0%)距离较远, 表明二者目前均处于不稳定状态。

2.5 CCA 分析

样地和群落参数与环境因子的 CCA 分析和 Monte Carlo 检验($p = 0.067 < 0.1$)结果(图 8)表明: 第

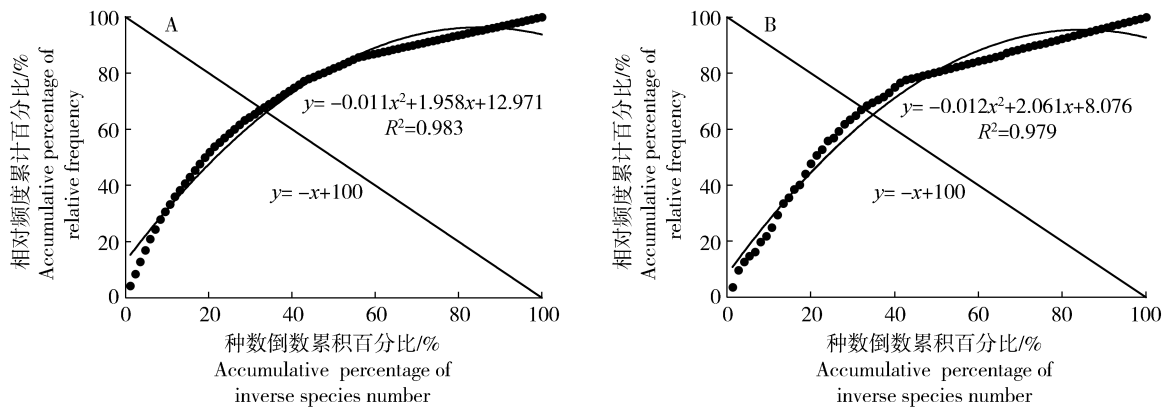
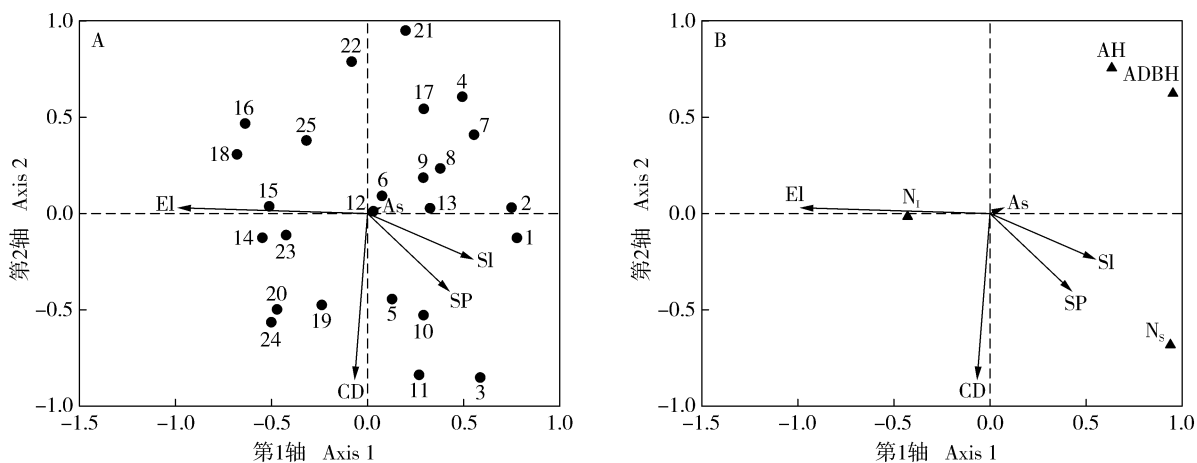


图 7 浙江铜铃山国家森林公园次生常绿阔叶林(A)和针阔混交林(B)乔木层群落稳定性
Fig. 7 Community stability of arbor layer of secondary evergreen broad-leaved forest (A) and coniferous and broad-leaved mixed forest (B) in Tonglingshan National Forest Park of Zhejiang Province



1-13: 次生常绿阔叶林样地编号 Nos. of plots in secondary evergreen broad-leaved forest; 14-25: 针阔混交林样地编号 Nos. of plots in coniferous and broad-leaved mixed forest. El: 海拔 Elevation; CD: 郁闭度 Canopy density; SP: 坡位 Slope position; Sl: 坡度 Slope; As: 坡向 Aspect; N_s: 种数 Number of species; N_i: 个体数 Number of individuals; ADBH: 平均胸径 Average diameter at breast height; AH: 平均株高 Average height.

A: 样地与环境因子的 CCA 分析 CCA analysis on plots and environmental factors; B: 群落参数与环境因子的 CCA 分析 CCA analysis on community parameters and environmental factors.

图 8 浙江铜铃山国家森林公园次生常绿阔叶林和针阔混交林样地的 CCA 分析
Fig. 8 CCA analysis on plots in secondary evergreen broad-leaved forest and coniferous and broad-leaved mixed forest in Tonglingshan Forest Park of Zhejiang Province

1 轴主要与海拔负相关,第 2 轴主要与郁闭度负相关,坡向、坡度及坡位对样地的排序影响较小,说明海拔和郁闭度对铜铃山国家森林公园群落分布起较大作用,而坡向、坡度及坡位的影响较小。

样地 1~13 是次生常绿阔叶林,样地 14~25 是针阔混交林,基本符合次生常绿阔叶林处于海拔较低位置而针阔混交林一般处于较高的海拔位置。从每个样地的平均株高、个体数、种数和平均胸径的分布来看,样地个体数与海拔负相关,而种数受坡位和坡度的影响较大,胸径和株高受这 5 个环境因子的影响较小。

3 讨 论

整体而言,浙江铜铃山国家森林公园次生常绿阔叶林乔木层物种组成较为丰富,共 84 种,在物种组成、多度或胸高断面面积($26.49 \text{ m}^2 \cdot \text{hm}^{-2}$)分布上,以壳斗科、山茶科、杜鹃花科和樟科为主,且以木荷、甜槠和短尾柯占优势,这 3 个物种的重要值累计达 25.231%;种-面积曲线和种-多度分布曲线均显示:次生常绿阔叶林乔木层存在少数物种占优势现象,同时伴生大量偶见种和稀有种。一般情况下,亚热带多优势种常绿阔叶林演替过程为“针叶林—以针叶树种为主的针阔混交林—以阳性阔叶树种为主的针阔混交林—以阳性阔叶树种为主的常绿阔叶林—以中生性树种为主的偏中生常绿阔叶林—以中生性树种为主的中生常绿阔叶林”^[25]。由此推断铜铃山国家森林公园次生常绿阔叶林目前处于“以中生性树种为主的偏中生常绿阔叶林”阶段。针阔混交林乔木层物种组成也较为丰富,共 76 种,以杉科、松科、山茶科、杜鹃花科和山矾科等科为主,且以杉木、木荷、马尾松和黄山松占优势,这 4 个物种的重要值累计达 39.599%。优势种种群的径级结构和存活曲线表明:杉木种群小径级个体数较多,种群整体处于增长阶段,而马尾松和黄山松种群因小径级个体即幼树储备严重不足,已经处于衰退阶段。根据亚热带多优势种森林群落演替现状的评判方法^[25]及优势种种群的径级结构,可以判断铜铃山国家森林公园针阔混交林处于“以针叶树种为主的针阔混交林—以阳性阔叶树种为主的针阔叶混交林”这一过渡阶段,其演替趋势应是乔木层物种逐渐被木荷、甜槠和红楠等优势种替代,逐渐转变为次生常绿阔叶林。

径级结构能反映种群动态变化及群落的发展与演替趋势。铜铃山国家森林公园次生常绿阔叶林和针阔混交林乔木物种的径级结构与其他森林样地相似,2 种林型的径级分布均呈明显的倒“J”型^[1],表明这 2 种林型的群落均更新良好且处于相对稳定状态。但是根据改进的 M-Godron 稳定性测定方法得出的群落稳定性结论却是这 2 种林型目前均处于不稳定状态,推测因为 2 种林型从径级结构得出的结论表明在演替所处的发育阶段中其群落状态整体上表现为相对的稳定发展,并没有向更高级群落演替的趋势^[26],而根据改进的 M-Godron 稳定性测定方法显示的不稳定指的是从长期演替阶段来看这 2 种林型仍然处于群落演替的中期阶段,并没有达到稳定的顶极群落状态。从次生常绿阔叶林乔木层的优势种木荷、甜槠和短尾柯种群的径级分布和存活曲线可以看出:次生常绿阔叶林目前还处于比较稳定的生长状态,而红楠种群的径级结构接近“L”型,其存活曲线为“凹”型,有较多幼树存活,整体胸径均较小,说明红楠是一个具有极大生长潜力的树种,在未来的演替过程中可能会有较大的发展空间。这与不同树种的生长特性及所处的特定演替阶段有关^[27]。铜铃山国家森林公园针阔混交林乔木层的优势种种群与次生常绿阔叶林不同,杉木和红楠种群的状况基本一致,在针阔混交林中属于明显潜在增长型树种;木荷种群的径级结构虽然与其在次生常绿阔叶林中一致,呈倒“J”型,存活曲线为直线型,但是其胸径小于 2 cm 的幼小树苗(占其种群总个体数的 28.2%)明显比次生常绿阔叶林(占其种群总个体数的 12.7%)高,说明在针阔混交林群落中木荷还有很强的增长潜力;黄山松和马尾松的存活曲线均为典型的“凸”型,预示这 2 个物种在未来群落演替过程中会逐渐被其他物种代替。针阔混交林中优势种的不同生长状态也说明其群落发展不稳定。

铜铃山国家森林公园的次生常绿阔叶林和针阔混交林因地处同一区域,具有相似的大气候环境,所以 2 种林型乔木层个体数排名前 10 的科有 7 个相同,个体数排名前 10 的属有 4 个相同;2 种林型重要值排名前 10 的物种中木荷、甜槠和红楠是共有物种,说明这 3 个物种的分布范围比较宽泛。

影响森林群落分布的环境因子有很多,如海拔、土壤类型和厚度、凋落层厚度、土壤温度和湿度、人为干扰程度、坡度、坡向以及郁闭度等,这些环境因子共

同作用形成不同的植被类型,体现出当地特有的地带性垂直分布格局。在这些环境因子中,一般海拔对群落分布格局的影响最为重要,因为海拔能反映水分和温度的综合梯度,最终能决定群落大格局^[28]。海拔是影响浙江铜铃山国家森林公园群落的主要环境因子,次生常绿阔叶林主要分布于低海拔区域,针阔混交林处于较高海拔区域,个体数随着海拔升高而降低。由于本次调查环境因子较少,其他环境因子对群落的影响无法判定,后续还需进一步开展相关环境因子如土壤温度和湿度以及人为干扰程度等方面的调查研究。

参考文献:

- [1] 祝燕,赵谷风,张俐文,等. 古田山中亚热带常绿阔叶林动态监测样地——群落组成与结构[J]. 植物生态学报, 2008, 32(2): 262-273.
- [2] 姚蓓,余建平,刘晓娟,等. 亚热带常绿阔叶林种子性状对木本植物聚集格局的影响[J]. 生物多样性, 2015, 23(2): 157-166.
- [3] 胡小丽,张杨家豪,米湘成,等. 浙江古田山亚热带常绿阔叶林开花物候: 气候因素、系统发育关系和功能性状的影响[J]. 生物多样性, 2015, 23(5): 601-609.
- [4] 叶铎,钱海源,王璐瑶,等. 钱江源国家公园古田山常绿阔叶林的萌生更新特征[J]. 生态学报, 2018, 38(10): 3562-3568.
- [5] 叶万辉,曹洪麟,黄忠良,等. 鼎湖山南亚热带常绿阔叶林20公顷样地群落特征研究[J]. 植物生态学报, 2008, 32(2): 274-286.
- [6] 练璐愉,陈灿,黄忠良,等. 鼎湖山南亚热带常绿阔叶林不同成熟度群落特征比较[J]. 生物多样性, 2015, 23(2): 174-182.
- [7] 邹顺,周国逸,张倩媚,等. 1992—2015年鼎湖山季风常绿阔叶林群落结构动态[J]. 植物生态学报, 2018, 42(4): 442-452.
- [8] 刘何铭,杨庆松,方晓峰,等. 亚热带常绿阔叶林林窗物种丰富度的影响因素[J]. 生物多样性, 2015, 23(2): 149-156.
- [9] ZHANG J, CHU Z, GE Y, et al. TRIPLEX model testing and application for predicting forest growth and biomass production in the subtropical forest zone of China's Zhejiang Province[J]. Ecological Modelling, 2008, 219: 264-275.
- [10] 包维楷,刘照光,刘朝禄,等. 亚热带次生常绿阔叶林主要乔木种群自然恢复15年来的变化[J]. 林业科学, 2001, 37(1): 7-14.
- [11] 包维楷,刘照光. 四川瓦屋山原生和次生常绿阔叶林的群落学特征[J]. 应用与环境生物学报, 2002, 8(2): 120-126.
- [12] 欧阳明,杨清培,陈昕,等. 毛竹扩张对次生常绿阔叶林物种组成、结构与多样性的影响[J]. 生物多样性, 2016, 24(6): 649-657.
- [13] 丁涛,宁世江,唐润琴. 广西元宝山中山针阔叶林混交林的群落特征[J]. 植物资源与环境学报, 2010, 19(1): 8-13.
- [14] 欧阳兰,李先琨,苏宗明,等. 元宝山两类森林群落的乔木物种多样性[J]. 应用与环境生物学报, 2003, 9(6): 563-568.
- [15] 胡正华,于明坚,索福喜,等. 古田山自然保护区针阔叶混交林植物物种多样性特征[J]. 生态环境, 2008, 17(5): 1961-1964.
- [16] 耿昊,刘妮娜,王小德. 铜铃山国家森林公园风景资源评价探讨[J]. 华东森林经理, 2017, 31(4): 52-55.
- [17] 王小德,徐斌,董海燕,等. 铜铃山国家森林公园风景资源保护与开发[J]. 浙江林学院学报, 2006, 23(4): 465-467.
- [18] HUBBELL S P, FOSTER R B. Commonness and rarity in a neotropical forest: implications for tropical tree conservation[M]// SOULÉ M E. Conservation Biology: the Science of Scarcity and Diversity. Sunderland: Sinauer Press, 1986: 205-231.
- [19] 唐志尧,乔秀娟,方精云. 生物群落的种—面积关系[J]. 生物多样性, 2009, 17(6): 549-559.
- [20] 谢春平,南程慧,伊贤贵,等. 浙江安吉金钱松群落特征研究[J]. 植物资源与环境学报, 2018, 27(1): 91-99.
- [21] LEAK W B. Age distribution in virgin red spruce and northern hardwoods[J]. Ecology, 1975, 56: 1451-1454.
- [22] 郑元润. 森林群落稳定性研究方法初探[J]. 林业科学, 2000, 36(5): 28-32.
- [23] 沈泽吴,刘增力,方精云. 贡嘎山海螺沟冷杉群落物种多样性与群落结构随海拔的变化[J]. 生物多样性, 2004, 12(2): 237-244.
- [24] ARCHIBALD E E A. The specific character of plant communities I. Herbaceous communities[J]. Journal of Ecology, 1949, 37(2): 260-273.
- [25] 张家城,陈力. 亚热带多优势种森林群落演替现状评判研究[J]. 林业科学, 2000, 36(2): 116-121.
- [26] 党承林,王崇云,王宝荣,等. 植物群落的演替与稳定性[J]. 生态学杂志, 2002, 21(2): 30-35.
- [27] 马万里,罗菊春,荆涛,等. 长白山林区核桃楸种群数量动态变化的研究[J]. 植物研究, 2008, 28(2): 249-253.
- [28] 白晓航,张金屯,曹科,等. 河北小五台山国家级自然保护区森林群落与环境的关系[J]. 生态学报, 2017, 37(11): 3683-3696.

(责任编辑:张明霞)