

# 广东省森林群落灌木层物种多样性研究<sup>\*</sup>

罗 勇 陈富强 薛春泉 刘飞鹏

(广东省林业调查规划院,广东 广州 510520)

**摘要** 森林群落中的物种多样性对维持森林群落的稳定、发展、演替及碳汇评估等具有重要的作用。本研究利用样方调查方法,通过 Margalef 指数、Shannon-Wiener 指数和 Pielou 指数分析广东省不同气候带灌木植物的物种组成及其多样性。结果表明:广东省中亚热带灌木层物种分属 68 科 156 属 302 种,南亚热带分属 58 科 140 属 225 种,北热带分属 20 科 27 属 29 种;灌木层植株密度和平均高度由北向南递减;桃金娘是广东省灌木群落的主要物种;中、南亚热带内,人工林和天然林中灌木的丰富度指数和多样性指数相差不大;人工林灌木物种的丰富度指数和多样性指数随纬度的降低而逐渐减小,均匀度指数随纬度降低表现出缓慢的增加趋势。

**关键词** 灌木层;物种多样性;数量特征;广东省

中图分类号:S718.5 文献标识码:A 文章编号:1006-4427(2014)02-0008-07

## Species Diversity of Shrub Layer in Forest Communities, Guangdong Province in South China

LUO Yong CHEN Fuqiang XUE Chunquan LIU Feipeng

(Guangdong Forestry Survey and Planning Institute, Guangzhou, Guangdong 510520, China)

**Abstract** The diversity of species in forestry community plays an important role in maintaining forestry community stability, development and succession as well as in evaluating forest carbon sequestration. Species composition and diversity for shrubbery in different climatic zone were analyzed based on the Margalef index, Shannon-Wiener index and Pielou index by using quadrant method in Guangdong province. The results showed that, shrub plant belonged to 68 families 156 genera and 302 species in mid-subtropics, 58 families 140 genera and 225 species in south subtropics and 20 families 27 genera 29 species in north tropic. Plant density and average height decreased from north to south, moreover, *Rhodomyrtus tomentosa* was the main composition of shrub in Guangdong. Richness index and diversity index didn't show significant difference between artificial and natural forest in the mid- and south subtropical climatic zone. In addition, richness index and diversity index in artificial forest decreased gradually with the decrease of latitude, but evenness index was on the contrary.

**Key words** shrub layer; species diversity; quantity characteristic; Guangdong province

生物多样性是地球上所有生物及与其环境形成的生态复合体以及与此相关的各种生态过程的总和<sup>[1]</sup>。人类的生存与发展最终要依赖于自然界中的生物。目前,生物多样性保护是全球面临的最严峻的挑战之一,在可持续发展中占有十分重要的地位<sup>[2]</sup>。生物多样性中,植物多样性是生态系统稳定性的基础,是森林植被恢复重建的指导理论<sup>[3]</sup>。物种组成是植物森林群落的基本属性,是鉴别不同群落类型依据。植物的种类组成越多,群落结构越复杂。种群在森林群落中的数量特征反映了其生存状况以及所起的作用,是最基本的

\* 基金项目:广东省林业科技创新专项资金项目(2012KFCX019-01);国家林业局林业碳汇计量监测体系建设广东试点项目。

第一作者:罗勇(1976-),男,博士,高级工程师,主要从事森林生态、林业碳汇等研究,E-mail:syuluoy@gmail.com。

群落特征。研究植物群落的物种组成及其多样性,对于深入了解群落的结构、功能、演替动态和群落的稳定性具有重要意义<sup>[4]</sup>。

灌木是森林生态系统及植物资源的重要组成部分,直接或间接的影响乔木幼苗的更新<sup>[5-6]</sup>、养分的循环<sup>[7-9]</sup>以及维持森林的植物多样性等<sup>[10]</sup>,对生态环境建设、植物资源开发利用和林业碳汇计量监测都具有十分重要的影响。广东省地处热带亚热带地区,气候温暖,光照充足,雨量充沛,植物资源丰富。目前,对广东植物资源、植被和植物区系已经开展了一定的研究<sup>[11-13]</sup>,但对广东灌木植物资源进行全面、系统的研究较少<sup>[14]</sup>。为了更全面准确地反映广东省灌木植物资源情况,本项目在广东省森林资源清查第六次复查基础上,通过对不同气候带森林群落内灌木层物种组成进行调查监测,并采用不同的测度指标对广东省灌木层的物种数量特征及其多样性进行了初步研究,为进一步认识该区域灌木群落变化及发展趋势,揭示森林生物多样性的维持机制提供依据,同时也为广东省林业碳汇计量监测、调整林分结构和新一轮广东绿化大行动提供参考。

## 1 研究地概况

广东省位于中国东南部,全省陆地面积 17.8 万 km<sup>2</sup>,主要包括山地(33.7%)、丘陵(24.9%)、台地(14.2%)、平原(21.7%)、河流和湖泊(5.5%),海洋国土面积约 17 万 km<sup>2</sup>。境内地势北高南低,山地、丘陵、台地、平原兼有。北回归线横贯全省,除粤北山区属中亚热带季风气候外,大部分地区为南亚热带和热带季风气候类型,是全国光、热和水资源最丰富的地区之一。1 月平均气温 9~16℃,7 月平均气温 28~29℃,年均气温 19~24℃,年均降水量 1 500~2 000 mm。在不同的生物气候条件下,由北向南形成红壤、赤红壤和砖红壤 3 种地带性土壤。地带性原生森林植被主要有中亚热带典型常绿阔叶林、南亚热带季风常绿阔叶林、热带季雨林和热带雨林。

广东省植物组成和分布较稳定,植被区系发展悠久,种类丰富。据统计,广东省共有野生维管植物 279 科、1 590 属、6 267 种(含种下分类单位),约占全国野生维管植物 27 090 种的 1/4<sup>[15]</sup>,是我国具有最高物种多样性的地区之一。

## 2 研究方法

### 2.1 样地设置及调查

本研究的灌木层泛指直立灌木、攀援灌木、胸径小于 3 cm 的小乔木或藤本植物等。

采用样方调查法。在全省范围内按 6 km × 8 km 点间距机械布设的 3 685 个固定样地(边长 25.82 m、面积 0.066 7 hm<sup>2</sup>)中,再按 24 km × 16 km 点间距抽取 460 个样地,并针对其中 263 个有林地进行调查。每个样地外的四个角,设置 4 个 2 m × 2 m 小样方,进行灌木层植物多样性调查,记录植物种名、株数、高度和盖度等数据。每个样方同时记录郁闭度、海拔、坡度、坡向等生境因子;样方地点采用 GPS 定位。在调查的 263 个有林地样地中,有 6 个样地林分郁闭度大,林下植被少,2 m × 2 m 的样方中无灌木,故实际调查的灌木植被样地数为 257 个,其中,属中亚热带的有 151 个,南亚热带 94 个,北热带 12 个。

### 2.2 数据计算与处理

采用 SPSS 和 EXCEL 软件进行数据处理。

2.2.1 重要值 重要值是群落中一个种的综合数量指标,用于反映不同植物种群在群落中的作用和地位。根据外业调查数据,采用以下公式计算灌木层物种的相对密度、相对频度、相对显著度以及重要值:

$$\text{相对多度} = (\text{某种的个数} / \text{全部种的个数之和}) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{相对频度} = (\text{某种的频度} / \text{全部种的频度之和}) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{相对显著度} = (\text{某种显著度} / \text{全部种的显著度之和}) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{灌木层重要值} = \text{相对多度} + \text{相对频度} + \text{相对显著度} \quad \dots\dots\dots (4)$$

2.2.1 物种多样性 物种多样性测度指数主要包括物种丰富度、物种多样性和均匀度等参数。本研究中采用 Margalef 指数( $F$ )作为物种丰富度指标,以 Shannon-Wiener 指数( $H$ )作为物种多样性指标,以 Pielou 指数( $J$ )作为均匀度指标。物种多样性中讨论的“竹林和灌丛”森林类型在森林起源中并入天然林。各指标的计算公式为:

$$F = (S - 1) / \ln N \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$H = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i \dots\dots\dots (6)$$

$$J = H / \ln S \dots\dots\dots (7)$$

式(5)~(7)中, $S$ 为物种数, $N$ 为个体总数, $p_i$ 为物种*i*的相对多度。

### 3 结果与分析

#### 3.1 不同气候带灌木层物种组成特征

调查研究显示,广东省中亚热带灌木层物种分属 68 科 156 属 302 种,南亚热带分属 58 科 140 属 225 种,北热带分属 20 科 27 属 29 种(表 1)。中亚热带灌木层中,常绿、落叶和攀援种分别占 57.28%、28.48% 和 14.24%,不同生活型物种在此气候带内所占比例差距较大,以常绿树种为主;南亚热带灌木层中,常绿、落叶和攀援种类分别占 33.33%、41.78% 和 24.89%,各生活型物种所占比例差距不是很大,落叶树种处于优势地位;北热带中,生活型植被以常绿和落叶树种为主,占 79.31%,攀援种类仅占 20.69%。

表 1 广东省不同气候带灌木层物种组成

气候带	科	属	种	生活型		
				常绿	落叶	攀援
中亚热带	68	156	302	173	86	43
南亚热带	58	140	225	75	94	56
北热带	20	27	29	12	11	6

#### 3.2 不同气候带灌木物种数量特征

3.2.1 不同气候带灌木物种密度、高度和盖度 由表 2 可以看出,不同气候带灌木层植株密度在广东省内呈现出由北到南依次递减的趋势,中亚热带灌木层植株密度最大,平均每公顷 24 156 株,其次是南亚热带,平均每公顷 19 388 株,北热带最小,为每公顷 7 031 株。灌木层的平均高度也呈现出相同的变化趋势。从平均盖度来看,中亚热带与南亚热带的灌木层数据大致相等,均接近 60%,北热带最低,为 39%。

表 2 广东省不同气候带灌木层物种数量特征

气候带	森林起源	样地数	植株密度/(株·hm <sup>-2</sup> )	平均高度/cm	平均盖度/%
中亚热带	人工林	68	21740.0±0.5	114.6±0.8	56.00±0.07
	天然林	83	26571.0±0.6	126.8±0.5	60.00±0.05
南亚热带	人工林	68	17449.0±0.9	93.6±0.5	54.00±0.13
	天然林	26	21326.0±0.7	103.6±0.2	64.00±0.25
北热带	人工林	12	7031.0±1.0	78.0±0.1	39.00±0.15

注:表中数据为平均值±标准差;此表中天然林包括了竹林和灌丛。

3.2.2 中亚热带灌木层物种数量特征 由表 3 可以看出,中亚热带重要值大于 5% 的树种有 14 个种。从相对多度来看,桃金娘(*Rhodomyrtus tomentosa*)、箭竹(*Fargesia demissa*)、托竹(*Pseudosasa cantori*)和地稔(*Melastoma dodecandrum*)的相对多度均大于 5%,其相对多度占灌木层相对多度的 55.135%,说明这些种具有较高的多度,反映了其在群落演替中具有较强的自然更新能力。菝葜(*Smilax china*)、毛叶木姜子(*Litsea mollis*)和岗松(*Baeckea frutescens*)的相对多度在 2%~4% 之间,其余灌木植物的相对多度均低于 2%,说明这些种在群落演替过程中自然更新能力相对较弱。从相对频度和相对盖度来看,桃金娘的相对频度和相对盖度均最高,分别为 6.295% 和 8.165%,其次为菝葜,分别为 5.411% 和 3.870%,相对频度最低的为托竹和岗松,仅 0.773%,相对盖度最低的为岗松,为 1.068%。从重要值来看,桃金娘的重要值最高,为 21.092%,其次为箭竹和菝葜,重要值分别为 13.925% 和 12.829%,其余物种的重要值均低于 10%。重要值排在前 5 位的依次为桃金娘、箭竹、菝葜、托竹和地稔,其重要值之和占灌木层重要值的 53.105%,说明这些物种在该群

落中具有较高的地位,对群落的演替和发展有着较为重要的作用。

表 3 广东省中亚热带灌木层物种数量特征

%

中文名	拉丁名	相对多度	相对频度	相对盖度	重要值
桃金娘	<i>Rhodomyrtus tomentosa</i>	6.631	6.295	8.165	21.092
箭竹	<i>Fargesia demissa</i>	8.499	1.822	3.604	13.925
菝葜	<i>Smilax china</i>	3.547	5.411	3.870	12.829
托竹	<i>Pseudosasa cantori</i>	6.169	0.773	2.010	8.951
地稔	<i>Melastoma dodecandrum</i>	5.003	0.939	1.222	7.164
毛叶木姜子	<i>Litsea mollis</i>	2.176	2.209	2.490	6.875
钝齿木荷	<i>Schima crenata</i>	1.868	2.154	2.809	6.830
盐肤木	<i>Rhus chinensis</i>	1.611	2.706	2.421	6.738
欏木	<i>Loropetalum chinense</i>	1.405	1.822	3.439	6.666
红背山麻杆	<i>Alchornea trewioides</i>	1.988	1.767	2.586	6.341
粗叶榕	<i>Ficus hirta</i>	1.971	2.043	2.179	6.192
野牡丹	<i>Melastoma candidum</i>	1.765	2.154	2.136	6.055
岗松	<i>Baeckea frutescens</i>	3.564	0.773	1.068	5.405
山乌桕	<i>Sapium discolor</i>	1.508	1.988	1.883	5.379

注:表中仅列出重要值大于5%的物种。

3.2.3 南亚热带灌木层物种数量特征 由表4可以看出,南亚热带重要值大于5%的树种有12个,其中茶竿竹(*Pseudosasa amabilis*)的相对多度最高,达到10.631%,其次为桃金娘,为8.368%,二者的相对多度占灌木层相对多度的42.747%,粗叶榕(*Ficus hirta*)和酸果藤(*Embelia laeta*)的相对多度最低,为1.475%。从相对频度和相对盖度来看,桃金娘的相对频度和相对盖度均最高,分别为8.776%和11.769%,菝葜、三叉苦(*Evodia lepta*)位居其次,相对频度均为4.619%,相对盖度分别为4.797%和4.015%,其余物种的相对频度都低于4%,相对盖度都在3%以下。从重要值来看,桃金娘的重要值最高,约29%,占灌木层重要值的23.786%,其次为菝葜、三叉苦和茶竿竹,其重要值在12%~13%左右,而其余物种的重要值均在10%以下。重要值排在前5位的依次为桃金娘、菝葜、三叉苦、茶竿竹和野牡丹(*Melastoma candidum*),其重要值之和占灌木层重要值的63.497%。值得注意的是,桃金娘的相对频度、相对盖度和重要值均为最高的,由此可见,在南亚热带区域,桃金娘明显是灌木层的优势种。

表 4 广东省南亚热带灌木层物种数量特征

%

中文名	拉丁名	相对多度	相对频度	相对盖度	重要值
桃金娘	<i>Rhodomyrtus tomentosa</i>	8.368	8.776	11.769	28.913
菝葜	<i>Smilax china</i>	3.772	4.619	4.797	13.188
三叉苦	<i>Evodia lepta</i>	4.492	4.619	4.015	13.127
茶竿竹	<i>Pseudosasa amabilis</i>	10.631	0.462	1.621	12.714
野牡丹	<i>Melastoma candidum</i>	2.572	3.695	2.974	9.242
毛叶木姜子	<i>Litsea mollis</i>	2.298	3.926	1.417	7.641
盐肤木	<i>Rhus chinensis</i>	3.429	1.732	1.547	6.709
欏木	<i>Loropetalum chinense</i>	2.195	2.656	1.727	6.577
粗叶榕	<i>Ficus hirta</i>	1.475	3.349	1.743	6.566
岗松	<i>Baeckea frutescens</i>	1.818	1.848	2.395	6.060
酸果藤	<i>Embelia laeta</i>	1.475	2.194	1.906	5.574
红背山麻杆	<i>Alchornea trewioides</i>	1.920	1.386	1.938	5.245

注:表中仅列出重要值大于5%的物种。

3.2.4 北热带灌木层物种数量特征 从表5可以看出,北热带重要值大于5%的物种数高于中亚热带和南亚热带,达到19种。其中,黄牛木(*Cratoxylum cochinchinense*)在此区域处于优势地位,其相对多度、相对频度以及相对盖度均高于其他物种。从相对多度来看,北热带相对多度在5%以上的物种数较多,达到9种,光荚含羞草(*Mimosa sepiaria*)、小果卫矛(*Euonymus microcarpus*)和大叶桂(*Cinnamomum iners*)的相对多度最低,均为0.741%。由相对频度可知,黄牛木、大青(*Clerodendrum cyrtophyllum*)、盐肤木(*Rhus chinensis*)和菝葜的相对频度均在6%以上,而其余物种的相对频度都低于5%,且主要集中在4.444%和2.222%。从相对盖度来看,除黄牛木和光荚含羞草的相对盖度在10%以上,山油麻(*Trema cannabina*)、桃金娘和羊角拗(*Strophanthus divaricatus*)在5%~10%之间以外,其余树种的相对盖度均在5%以下。从重要值来看,黄牛木的重要值在25%以上,其次为山油麻、桃金娘等,其重要值均在10%以上,重要值排在前5位的依次为黄牛木、山油麻、桃金娘、大青和盐肤木,其重要值占灌木层重要值的42.879%。值得注意的是,葫芦茶(*Tadehagi triquetrum*)的相对多度、相对频度和相对盖度与其他物种相比均较低。

表5 广东省北热带灌木层物种数量特征

中文名	拉丁名	相对多度	相对频度	相对盖度	重要值
黄牛木	<i>Cratoxylum cochinchinense</i>	9.630	6.667	10.582	26.878
山油麻	<i>Trema cannabina</i>	8.889	2.222	8.818	19.929
桃金娘	<i>Rhodomyrtus tomentosa</i>	5.926	4.444	7.937	18.307
大青	<i>Clerodendrum cyrtophyllum</i>	8.148	6.667	2.998	17.813
盐肤木	<i>Rhus chinensis</i>	7.407	6.667	2.822	16.896
羊角拗	<i>Strophanthus divaricatus</i>	7.407	2.222	7.055	16.684
菝葜	<i>Smilax china</i>	5.185	8.889	2.469	16.543
光荚含羞草	<i>Mimosa sepiaria</i>	0.741	2.222	10.582	13.545
马缨丹	<i>Lantana camara</i>	2.222	4.444	3.527	10.194
悬铃木	<i>Boehmeria tricuspis</i>	5.926	2.222	1.764	9.912
甜槠栲	<i>Castanopsis eyrei</i>	3.704	2.222	3.527	9.453
白背叶	<i>Mallotus apelta</i>	5.926	2.222	0.882	9.030
潺槁树	<i>Litsea glutinosa</i>	2.222	2.222	4.409	8.854
地桃花	<i>Urena lobata</i>	2.222	4.444	1.235	7.901
小果卫矛	<i>Euonymus microcarpus</i>	0.741	2.222	4.409	7.372
酸果藤	<i>Embelia laeta</i>	2.222	2.222	2.646	7.090
大叶桂	<i>Cinnamomum iners</i>	0.741	2.222	2.646	5.608
银柴	<i>Aporosa dioica</i>	1.481	2.222	1.764	5.467
葫芦茶	<i>Tadehagi triquetrum</i>	2.222	2.222	0.882	5.326

注:表中仅列出重要值大于5%的物种。

### 3.3 灌木层物种多样性分析

物种多样性反映了群落或生境中物种的丰富度、均匀度的时空变化,可用来表示群落特征及其演替规律<sup>[16]</sup>。通过对广东省不同气候带灌木物种的多样性指数的分析(表6),发现中亚热带和南亚热带灌木物种丰富度指数和多样性指数均表现为:天然林>人工林>竹林和灌丛。从丰富度指数来看,人工林中,除北热带外,中亚热带和南亚热带丰富度指数相差不大,约为2.1,而中亚热带和南亚热带的天然林、竹林和灌丛,其丰富度指数均存在一定的差异;从多样性指数来看,中亚热带和南亚热带人工林多样性指数相差不大,分别为1.673和1.632,而北热带人工林多样性指数却较中亚热带和南亚热带要低,仅为1.277,中亚热带和南亚热带天然林多样性指数与人工林较为接近,分别为1.796和1.726,而这两个气候带的竹林和灌丛多样性指数与其丰富度指数类似,也存在一定的差异;从均匀度指数来看,不同气候带同一森林类型以及同一气候带的不同森林类型,其均匀度指数均相差不大,介于0.739~0.862之间。由此可见,在中、南亚热带内,人工林和天然林的丰富度指数和多样性指数相差不大,但均与竹林和灌丛存在一定差异,而各气候带内的均匀

度指数均较为接近。

表6 广东省灌木层植物多样性

区域	森林类型(样地数)	丰富度指数( $F$ )	多样性指数( $H$ )	均匀度指数( $J$ )
中亚热带	人工林(68)	$2.161 \pm 1.034$	$1.673 \pm 0.541$	$0.826 \pm 0.177$
	天然林(73)	$2.414 \pm 0.976$	$1.796 \pm 0.541$	$0.835 \pm 0.175$
	竹林和灌丛(10)	$1.830 \pm 0.749$	$1.515 \pm 0.533$	$0.793 \pm 0.201$
南亚热带	人工林(68)	$2.125 \pm 0.779$	$1.632 \pm 0.408$	$0.843 \pm 0.119$
	天然林(20)	$2.266 \pm 1.004$	$1.726 \pm 0.472$	$0.840 \pm 0.092$
	竹林和灌丛(6)	$1.502 \pm 0.714$	$1.240 \pm 0.387$	$0.739 \pm 0.191$
北热带	人工林(12)	$1.440 \pm 0.359$	$1.277 \pm 0.316$	$0.862 \pm 0.112$

注:表中数据为平均值 $\pm$ 标准差。

在人工林中,除气候、地形等自然因素外,人类活动对其植物种的生长及其分布有着十分重要的影响。从表6可以看出,人工林灌木物种的丰富度指数和多样性指数随纬度的降低而逐渐减小,从南亚热带到北热带,其丰富度指数和多样性指数减小的趋势尤为明显,相反,均匀度指数随纬度降低表现出缓慢的增加趋势。

## 4 结论与讨论

群落物种多样性的研究对于认识群落结构和功能,控制群落组成和结构的一般规律都具有重要的理论意义<sup>[17]</sup>。同时,群落物种多样性可以反映群落和环境的保护状况,对于控制和减少珍稀濒危物种的丧失,维护森林物种多样性具有重要的生态学意义<sup>[1]</sup>。

调查结果显示,广东省中亚热带灌木层物种分属68科156属,南亚热带分属58科140属,北热带分属20科27属。灌木层植株密度呈现出由北到南依次递减的趋势。灌木层的平均高度也呈现出相同的变化趋势。中亚热带和南亚热带中,桃金娘的相对频度、相对盖度和重要值都较其他灌木物种要高。由此可见,桃金娘是广东省灌木群落的主要组成成分,对群落的演替、发展和稳定起到重要的作用。不同气候带均匀度指数介于0.739~0.862之间,彭少麟等<sup>[18]</sup>对亚热带天然常绿阔叶林群落的均匀度指标研究结果为0.7~0.8,两者结果相近。

广东省人工林灌木物种的丰富度指数和多样性指数随纬度的降低而逐渐减小。这可能是由于广东省北部(中、南亚热带)以山地和高丘陵为主,受人类活动干扰较少。而南部(北热带)以平原为主,受人类活动的影响较大,人工桉树林种植面积较大,干扰了林下灌木层植被的正常自然演替进程,这与“过强的干扰会降低物种多样性”的研究结论相一致<sup>[19]</sup>。从另一方面讲,由于机械布样无法考虑森林起源和森林类型的缺陷,造成随机抽取的12个北热带样地均为人工林、而没有天然林的抽样结果,实际上北热带有少量以湿地红树林群落、次生季雨林和灌丛为优势的天然林植被分布<sup>[20]</sup>,故而造成北热带灌木物种丰富度指数和物种多样性指数较低,未来需要进一步补充这方面的研究。

## 参考文献

- [1] 简敏菲,倪毛德,游海,等. 江西九连山森林群落灌木层的物种组成与多样性分析[J]. 江西师范大学学报:自然科学版, 2008,32(4):494-499.
- [2] 栾文局,张三亮. 甘肃省白水江自然保护区次生灌木林植物群落物种多样性研究[J]. 甘肃农业大学学报,2003,38(2): 133-139.

- [3] 王树森,余新晓,班嘉蔚,等. 华北土石山区天然森林植被演替中群落结构和物种多样性变化的研究[J]. 水土保持研究,2006,13(6):48-50.
- [4] 刘琪璟,胡理乐,李轩然. 小流域治理 20 年后的千烟洲植物多样性[J]. 植物生态学报, 2005,29(5):766-774.
- [5] Beckage B, Clark J S, Clinton B D, et al. A long-term study of tree seed ling recruitment in southern Appalachian forests: The effects of canopy gaps and shrub under stories[J]. Canadian Journal of Forest Research,2000,30:1617-1631.
- [6] O'Brien M J, O'Hara K L, Erbilgin N, et al. Overstory and shrub effects on natural regeneration processes in native *Pinus radiata* stands[J]. Forest Ecology and Management,2007,240:178-185.
- [7] 陈永亮,崔晓阳,祝宁,等. 灌木层及主要灌木种在椴树红松林养分循环中的地位与作用[J]. 东北林业大学学报,1998, 26(4):7-13
- [8] 关继义,陈永亮,祝宁,等. 灌木层及主要灌木树种在蒙古栎林养分循环中的地位和作用[J]. 植物研究,1999,19(1): 100-110.
- [9] Nilsson M C, Wardle D A. Understory vegetation as a forest ecosystem driver: Evidence from the northern Swedish boreal forest [J]. Frontiers in Ecology and the Environment,2005,3:421-427.
- [10] Rogers D A, Rooney T P, Olson D, et al. Shifts in southern Wisconsin forest canopy and understory richness, composition, and heterogeneity[J]. Ecology,2008,89:2482-2492.
- [11] 广东省植物研究所. 广东植被[M]. 北京:科学出版社,1976.
- [12] 仲铭锦,廖文波. 广东种子植物区系科的组成及其特点[J]. 广西植物,1995,15(1):18-25.
- [13] 徐永福,张灿明,喻勋林. 广东同乐大山自然保护区蕨类植物区系分析[J]. 广东林业科技,2010,26(5):36-40.
- [14] 王伟军,唐昌亮,马红岩,等. 广东野生灌木植物资源研究[J]. 安徽农业科学,2009,37(26):12509-12510.
- [15] 吴征镒. 中国植被[M]. 北京:科学出版社,1980:82.
- [16] 马晓勇,上官铁梁. 太岳山森林群落物种多样性[J]. 山地学报,2004,22(5):606-612.
- [17] Watkins A J, Wilson J B. Plant structure, and its relation to the vertical complexity of communities: dominance/diversity and spatial rank consistency [J]. Oikos,1994,70(1):91-98.
- [18] 彭少麟,周厚诚,陈天杏,等. 广东森林群落的组成结构数量特征[J]. 植物生态学与地植物学学报,1989,13(1):10-17.
- [19] Connell J H. Diversity in tropical rain forests and coral reefs[J]. Science,1978,199(4335):1302-1310.
- [20] 韩维栋,吴钲,郭克疾. 雷州市九龙山风景区植物区系与植被[J]. 广东林业科技,2010,26(1):66-70.