

清新和阳山县圆叶乌桕群落物种多样性和优势种群动态探讨

徐瑞晶, 黄川腾, 周雪刚, 邹龙海, 唐光大, 庄雪影*

(华南农业大学林学院, 广州 510642)

摘要: 为了解亚热带地区石灰岩山地圆叶乌桕(*Triadica rotundifolia*)群落的变化规律,应用样方调查法,对广东省清新县和阳山县两片石灰岩山区圆叶乌桕群落的物种多样性及其种群动态进行了研究。结果表明,在两个总面积为 4800 m² 的样方中,共有维管植物 140 种,隶属于 65 科 118 属。群落均以大戟科、茜草科、芸香科、桑科和木犀科为优势科;其种子植物属的分布区类型以热带分布型为主,占总属数的 79.6%,温带分布型属占 18.3%。除草本层均匀度外,清新群落的各层丰富度、多样性指数和均匀度指数均比阳山群落的高。清新的圆叶乌桕种群缺乏小苗,为不稳定种群;而阳山的圆叶乌桕种群相对年轻,为稳定种群。随着群落的演替发展,群落中圆叶乌桕的优势地位终将被其它耐荫型树种所取代。

关键词: 圆叶乌桕; 种群结构; 物种多样性; 石灰岩; 广东

doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2013.06.002

Species Diversity and Dominate Population Dynamics of *Triadica rotundifolia* Community in Qingxin and Yangshan Counties, Guangdong

XU Rui-jing, HUANG Chuan-teng, ZHOU Xue-gang, ZOU Long-hai, TANG Guang-da, ZHUANG Xue-ying*

(College of Forestry, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: *Triadica rotundifolia* is a common species of secondary forest in limestone region. In order to understand the dynamic changes of *T. rotundifolia* community in limestone region, the species diversity and population structure of *T. rotundifolia* community in Qingxin and Yangshan Counties, Guangdong Province, were studied by plot method. The results showed that there were 140 vascular plants in two plots with a total area of 4800 m², belonging to 65 families and 118 genera. The dominant families were Euphorbiaceae, Rubiaceae, Rutaceae, Moraceae and Oleaceae. Among them, the tropical distribution elements at genus level were dominate accounting for 79.6%, and then 18.3% for temperate distribution elements. The species richness, species diversity and evenness of *T. rotundifolia* community in Qingxin were higher than those in Yangshan, except for evenness of herbal layer. *T. rotundifolia* population in Qingxin is unstable owing to lack seedlings and small individuals, while *T. rotundifolia* population in Yangshan is young comparatively with abundant small trees. With succession of the community, the dominance of *T. rotundifolia* in community would be replaced by other shade-tolerant species.

Key words: *Triadica rotundifolia*; Population structure; Species diversity; Limestone region; Guangdong

收稿日期: 2013-03-26

接受日期: 2013-05-06

基金项目: 广东省林业科技创新专项基金项目(2008KJCX010-3, 2009KJCX014, 2010 KJCX010 和 2012KJCX014-01)资助

作者简介: 徐瑞晶,男(1987~),硕士研究生,主要研究方向为系统与演化植物学。E-mail: xuruijing1@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xyzhuang@scau.edu.cn

圆叶乌柏(*Triadica rotundifolia*)为大戟科(Euphorbiaceae)乌柏属乔木树种,自然分布于我国广东、广西、贵州、湖南、云南和越南北部的石灰岩地区,是石灰岩地区次生林的优势种^[1-3];圆叶乌柏为AM菌根型喜光树种^[3-6];其枝叶凋落物的养分含量高,降解速率快^[7-8],是喀斯特地区退化土地植被重建与土壤养分修复的优良树种^[9-10]。

圆叶乌柏广泛分布在广东的英德、阳山、曲江、乳源、连州、连南、怀集、肇庆、云浮和阳春等石灰岩地区,为石灰岩早期次生林的优势树种^[11],但有关该种群及其群落生态学研究少有报道。本文报道清远市清新县和阳山县石灰岩地区圆叶乌柏群落的种群结构及其物种多样性特点,为石灰岩山区的植物群落演替研究和天然林恢复工程提供科学依据。

1 调查和研究方法

1.1 调查地自然环境

清远市地处广东省中部,北江中下游,是珠江三角洲与粤北山区的过渡地带,属亚热带季风气候,年平均气温为20.7℃,最低气温为1月份,最高气温为7月份,年平均日照时数为1662.2 h,年平均降雨量达1900 mm,年均无霜期为314 d。清新圆叶乌柏群落位于广东省唯一的具典型石灰岩岩溶地貌的白湾省级自然保护区(24°13'24" N, 112°47'16" E,海拔326 m)内。阳山圆叶乌柏群落位于阳山县石灰岩地区(24°24'31" N, 112°41'54" E,海拔84 m)内。两地的年平均气温为20℃~20.7℃,年降雨量为1800~1900 mm,土壤微酸性(pH 6.4~6.6),有机质含量低,有效磷含量极贫乏(0.02 g kg⁻¹)。

1.2 样方设置

应用相邻格子法,在清远市清新县石潭镇白湾乡和阳山县阳城镇圆叶乌柏次生林中分别设置24个10 m × 10 m的样方,总面积为4800 m²。记录每个样方内的所有乔木(胸径DBH ≥ 2 cm)植物的种名、胸径、树高。另外,在样方中分别设置5 m × 5 m和1 m × 1 m的小样方,用于分析灌木层和草本层的植物多样性。

1.3 种群分级

I级幼苗:DBH < 2.5 cm; II级幼树:2.5 cm ≤

DBH < 7.5 cm; III级小树:7.5 cm ≤ DBH < 12.5 cm; IV中树级:12.5 cm ≤ DBH < 17.5 cm; V级大树:17.5 cm ≤ DBH < 22.5 cm; VI级:22.5 cm ≤ DBH < 27.5 cm; VII级:DBH ≥ 27.5 cm。

1.4 重要值计算

参照李俊清^[12]的方法计算群落各层的重要值。

乔木层重要值(IV) = 相对多度(RA) + 相对频度(RF) + 相对显著度(RD);

灌木层重要值(IV) = 相对多度(RA) + 相对频度(RF);

草本层重要值(IV) = 相对盖度(RC) + 相对频度(RF)。

其中,相对多度(RA) = (某一物种个体数 / 全部物种个体数) × 100%; 相对频度(RF) = (某一物种的频度 / 所有物种的频度总和) × 100%; 相对显著度(RD) = (某个树种的胸高断面积 / 全部树种的总胸高断面积) × 100%; 相对盖度(RC) = (某个物种的盖度 / 所有物种的总盖度) × 100%。

1.5 多样性和均匀度指数计算

参照李俊清^[12]的方法计算群落的物种多样性指数和均匀度指数。Simpson指数(D) = $1 - \sum P_i^2$, Shannon指数(H') = $-\sum P_i \ln P_i$, 均匀度指数(E) = (H') / $\ln S$ 。

式中 P_i 为物种 i 的个体数占群落中全部个体数的比例, S 为物种数,即物种丰富度指数。

1.6 相似性系数(Sorensen指数)

两群落的相似性系数采用Sorensen指数^[13]来表示, Sorensen指数 = $2c / (a + b)$ 。式中, a 、 b 分别为两群落的物种数, c 为两群落共有物种数。

2 结果和分析

2.1 圆叶乌柏群落的物种组成

在清新县白湾和阳山阳城石灰岩山地的圆叶乌柏次生林样方中共记录有维管植物140种,隶属于65科118属。其中,清新群落有52科82属93种;阳山群落有44科67属76种(表1)。

清新和阳山的两个调查样地均以茜草科(Rubiaceae)、大戟科(Euphorbiaceae)、芸香科(Rutaceae)和木犀科(Oleaceae)的植物最为丰富。清

表1 清新和阳山圆叶乌桕次生林群落的物种组成

Table 1 Species composition of *Triadica rotundifolia* secondary forest in Qingxin and Yangshan

	清新 Qingxin			阳山 Yangshan		
	科 Family	属 Genus	种 Species	科 Family	属 Genus	种 Species
蕨类植物 Pteridophytes	3	4	5	7	9	11
裸子植物 Gymnosperms	0	0	0	0	0	0
双子叶植物 Dicotyledons	43	71	80	34	53	58
单子叶植物 Monocotyledon	6	7	8	3	5	7
合计 Total	52	82	93	44	67	76

新样地中荨麻科(Urticaceae)和蔷薇科(Rosaceae)植物较为丰富,但阳山样地中并未出现;而阳山铁线蕨科(Adiantaceae)、莎草科(Cyperaceae)和鼠李科(Rhamnaceae)较为丰富,但在清新样地贫乏。两地的优势科均为泛热带分布型或世界分布型的植物科(表2)。

2.2 种子植物属的分布区类型

在清新和阳山的两个调查样地中,共记录了种子植物 106 属,参照吴征镒等对中国种子植物科属分布区类型的划分^[14-16],这 106 属可划分为 13 个分布区成分。清新和阳山样地种子植物分别有 78 和 58 属,分别划分为 11 和 13 个地理成分。从分布区类型来看,清新和阳山两地均以热带分布属为主,它们分别占总属数的 80.3% 和 82.7%,温带成

分均较贫乏(表3)。

2.3 群落优势种

在两地的乔木样方中,共记录了 59 种胸径 ≥ 2 cm 的树种,隶属 35 科 56 属。其中清新有 45 种,阳山有 25 种,有 11 种树种为两地共有。在重要值前 10 位的树种中,圆叶乌桕、小芸木(*Micromelum integerrimum*)、铁榄(*Sinosideroxylon pedunculatum*)和粗糠柴(*Mallotus philippensis*)等 4 种为两个群落的共有种(表4)。清新样地以圆叶乌桕、小芸木和铁榄的重要值最大;阳山样地以香蒲桃(*Syzygium odoratum*)、圆叶乌桕和牡荆(*Vitex negundo* var. *cannabifolia*)的最大。圆叶乌桕在两个群落中均有较高的相对显著度、相对多度和相对频度,优势明显;而小芸木和铁榄在清新样地的重要值较大,但

表2 圆叶乌桕群落的优势科及属种数

Table 2 Number of genera and species of dominant families in *Triadica rotundifolia* community

科 Family	清新 Qingxin		阳山 Yangshan		分布区类型 Areal-type
	属 Genus	种 Species	属 Genus	种 Species	
茜草科 Rubiaceae	6	6	3	3	世界分布 Cosmopolitan
大戟科 Euphorbiaceae	5	6	5	6	泛热带分布 Pantropic
樟科 Lauraceae	4	6	1	2	泛热带分布 Pantropic
桑科 Moraceae	3	5	2	2	世界分布 Cosmopolitan
荨麻科 Urticaceae	3	4	0	0	泛热带分布 Pantropic
芸香科 Rutaceae	3	3	4	4	泛热带分布 Pantropic
木犀科 Oleaceae	3	3	3	4	泛热带分布 Pantropic
蔷薇科 Rosaceae	2	3	0	0	世界分布 Cosmopolitan
蝶形花科 Papilionaceae	2	3	1	1	世界分布 Cosmopolitan
铁线蕨科 Adiantaceae	0	0	1	3	世界分布 Cosmopolitan
莎草科 Cyperaceae	0	0	2	3	世界分布 Cosmopolitan
鼠李科 Rhamnaceae	1	1	2	3	世界分布 Cosmopolitan

在阳山样地中等,粗糠柴在两地重要值均居于中等水平。除了乔木树种外,清新样地胸径 ≥ 2 cm 的树种还有红背山麻杆(*Alchornea trewioides*)、千里香(*Murraya paniculata*)和黄花倒水莲(*Polygala fallax*),阳山样地中还有竹叶花椒(*Zanthoxylum armatum*)和假鹰爪(*Desmos chinensis*)等灌木树种。

在两地的灌木层共记录了维管植物 61 种,隶属于 30 科 55 属。其中,清新有 43 种,阳山有 33 种(表 4)。清新的圆叶乌柏群落以小芸木、紫麻(*Oreocnide frutescens*)最为丰富,其次为驳骨九节(*Psychotria prainii*)、黄花倒水莲、香港大沙叶(*Pavetta hongkongensis*)和千里香(*Murraya paniculata*)等。灌木层中有少量圆叶乌柏、青檀(*Pteroceltis tatarinowii*)、大叶土密树(*Bridelia retusa*)及少量白花鱼藤(*Derris alborubra*)和雀梅藤(*Sageretia thea*)等藤本植物。阳山群落以海红豆(*Adenanthera microsperma*)、竹叶花椒最为丰富,还有少量的桂花(*Osmanthus fragrans*)、山指甲(*Ligustrum sinense*)、穿破石(*Cudrania cochinchinensis*)、红背山麻杆和千里香等。两地灌木层优势种仅有小芸木和铁榄为共有种。

在草本层,两地共记录了 92 种,隶属于 53 科 79 属,其中,清新有 59 种,阳山有 45 种。两地共

有 12 种共有种。重要值排在前 10 位的植物中有 3 种为两地共有(表 4),清新的圆叶乌柏群落以肾蕨(*Nephrolepis auriculata*)、驳骨九节和土麦冬(*Liriope spicata*)最为丰富;肾蕨和驳骨九节不仅盖度大,频度也很高,匍茎榕(*Ficus sarmentosa*)、络石(*Trachelospermum jasminoides*)和高粱泡(*Rubus lambertianus*)等呈聚集状分布,分布不均匀。阳山的圆叶乌柏群落以弓果黍(*Cyrtococcum patens*)、江南卷柏(*Selaginella moellendorffii*)和细梗苔草(*Carex teinogyna*)最为丰富,此外还有少量八角枫(*Alangium chinense*)、翻白叶(*Pterospermum heterophyllum*)以及阴香(*Cinnamomum burmanni*)等乔木幼苗。两地草本层样方中均未记录到圆叶乌柏幼苗。

2.4 群落的物种丰富度、多样性及均匀度

物种多样性分析结果表明(表 5),清新群落的物种丰富度以草本层稍高,而物种多样性和均匀度均以乔木层稍高,灌木层次之,草本层最低。阳山群落的物种丰富度在乔、灌、草 3 层的差异不大,物种多样性和均匀度均以灌木层最高,灌木层和草本层相差不大。除草本层的均匀度外,清新群落各层的丰富度、多样性指数和均匀度指数均比阳山群落的高。

表 3 种子植物属的分布区类型

Table 3 Areal-types of seed species in *Triadica rotundifolia* community

分布区类型 Areal-type	清新 Qingxin	%	阳山 Yangshan	%	合计 Total	%
1. 世界分布 Cosmopolitan	2	-	6	-	8	-
2. 泛热带分布 Pantropic	22	27.6	17	32.7	28	28.6
3. 热带亚洲和热带美洲间断分布 Trop. Asia & Trop. Amer. disjunct	2	2.6	2	3.8	2	2.0
4. 旧世界热带分布 Old World Tropics	14	17.1	8	15.4	15	15.3
5. 热带亚洲至热带大洋洲分布 Trop. Asia to Trop. Australia	7	9.2	9	17.3	13	13.3
6. 热带亚洲至热带非洲分布 Trop. Asia to Trop. Africa	2	2.6	1	1.9	2	2.0
7. 热带亚洲分布 Trop. Asia	16	21.1	6	11.5	18	18.4
8. 北温带分布 N. Temp.	4	5.3	2	3.8	5	5.1
9. 东亚和北美洲间断分布 E. Asia & N. Amer. disjunct	4	5.3	2	3.8	5	5.1
10. 旧世界温带分布 Old Word Temperate	0	0	1	1.9	1	1.0
11. 地中海区、西亚至中亚分布 Mediterranean, W. Asia to C. Asia	0	0	1	1.9	1	1.0
12. 东亚分布 East Asia	5	6.6	3	5.8	6	6.1
13. 中国特有分布 Endemic to China	2	2.6	0	0	2	2.0
合计 Total	78	100	58	100	106	100

-: 不包括世界分布类型。

-: Cosmopolitan excluded.

表 4 群落优势种及其重要值

Table 4 Importance values (IV) of dominant species in *Triadica rotundifolia* community

层次 Layer	清新 Qingxin		阳山 Yangshan	
	植物 Species	重要值 IV	植物 Species	重要值 IV
乔木层 Tree layer	圆叶乌柏 <i>Triadica rotundifolia</i>	63.30	香蒲桃 <i>Syzygium odoratum</i>	75.35
	小芸木 <i>Micromelum integerrimum</i>	34.98	圆叶乌柏 <i>Triadica rotundifolia</i>	51.21
	铁榄 <i>Sinosideroxylon pedunculatum</i>	31.05	牡荆 <i>Vitex negundo</i> var. <i>cannabifolia</i>	37.18
	美脉琼楠 <i>Beilschmiedia tsangii</i> var. <i>delicata</i>	18.54	铁榄 <i>Sinosideroxylon pedunculatum</i>	17.76
	朴树 <i>Celtis sinensis</i>	14.54	粗糠柴 <i>Mallotus philippensis</i>	17.34
	柿树 <i>Diospyros kaki</i>	14.39	短萼海桐 <i>Pittosporum brevicalyx</i>	14.19
	大叶土密树 <i>Bridelia retusa</i>	12.67	海红豆 <i>Adenanthera microsperma</i>	13.79
	粗糠柴 <i>Mallotus philippensis</i>	11.71	欐木 <i>Loropetalum chinense</i>	13.70
	红背山麻杆 <i>Alchornea trewioides</i>	9.17	毛果巴豆 <i>Croton lachnocarpus</i>	12.50
	千里香 <i>Murraya paniculata</i>	8.79	小芸木 <i>Micromelum integerrimum</i>	10.39
	灌木层 Shrub layer	小芸木 <i>Micromelum integerrimum</i>	22.03	肾蕨 <i>Nephrolepis auriculata</i>
紫麻 <i>Oreocnide frutescens</i>		20.64	驳骨九节 <i>Psychotria prainii</i>	29.92
驳骨九节 <i>Psychotria prainii</i>		17.07	土麦冬 <i>Liriope spicata</i>	11.44
黄花倒水莲 <i>Polygala fallax</i>		15.53	紫麻 <i>Oreocnide frutescens</i>	9.05
香港大沙叶 <i>Pavetta hongkongensis</i>		14.84	纤穗爵床 <i>Leptostachya wallichii</i>	7.71
五层龙 <i>Salacia chinensis</i>		12.00	江南星蕨 <i>Microsorium fortunei</i>	7.60
铁榄 <i>Sinosideroxylon pedunculatum</i>		10.90	小花青藤 <i>Illigera parviflora</i>	6.75
千里香 <i>Murraya paniculata</i>		8.98	匍茎榕 <i>Ficus sarmentosa</i>	6.48
银果木奶子 <i>Elaeagnus magna</i>		7.39	络石 <i>Trachelospermum jasminoides</i>	5.87
纤穗爵床 <i>Leptostachya wallichii</i>		6.29	异叶鳞始蕨 <i>Lindsaea heterophylla</i>	4.33
草本层 Herb layer		海红豆 <i>Adenanthera microsperma</i>	27.76	弓果黍 <i>Cyrtococcum patens</i>
	竹叶花椒 <i>Zanthoxylum armatum</i>	27.72	江南卷柏 <i>Selaginella moellendorffii</i>	33.10
	马樱丹 <i>Lantana camara</i>	23.59	细梗苔草 <i>Carex teinogyna</i>	18.61
	小芸木 <i>Micromelum integerrimum</i>	18.78	日本金粉蕨 <i>Onychium japonicum</i>	14.03
	铁榄 <i>Sinosideroxylon pedunculatum</i>	16.26	异叶鳞始蕨 <i>Lindsaea heterophylla</i>	7.40
	香蒲桃 <i>Syzygium odoratum</i>	9.97	乌韭蕨 <i>Stenoloma chusanum</i>	6.22
	龙须藤 <i>Bauhinia championii</i>	8.93	链珠藤 <i>Alyxia sinensis</i>	5.47
	雀梅藤 <i>Sageretia thea</i>	6.03	小花青藤 <i>Illigera parviflora</i>	4.26
	假鹰爪 <i>Desmos chinensis</i>	5.38	雀梅藤 <i>Sageretia thea</i>	3.76
	石岩枫 <i>Mallotus repandus</i>	5.18	江南星蕨 <i>Microsorium fortunei</i>	3.35

表 5 圆叶乌柏群落的物种多样性

Table 5 Species diversity of *Triadica rotundifolia* community

		丰富度指数	Simpson 指数	Shannon 指数	均匀度指数
		Richness index (S)	Simpson index (D)	Shannon index (H')	Pielou index (E)
清新 Qingxin	乔木层 Tree layer	18 ± 2	0.87 ± 0.05	2.43 ± 0.24	0.85 ± 0.08
	灌木层 Shrub layer	17 ± 5	0.86 ± 0.04	2.33 ± 0.30	0.83 ± 0.06
	草本层 Herb layer	21 ± 4	0.79 ± 0.07	2.03 ± 0.33	0.66 ± 0.08
阳山 Yangshan	乔木层 Tree layer	14 ± 2	0.76 ± 0.10	1.90 ± 0.34	0.72 ± 0.10
	灌木层 Shrub layer	14 ± 4	0.82 ± 0.05	2.07 ± 0.24	0.80 ± 0.08
	草本层 Herb layer	13 ± 5	0.76 ± 0.10	1.81 ± 0.31	0.73 ± 0.12

2.5 群落的物种相似性(Sorensen指数)

物种相似性分析的结果表明(表 6),两地圆叶乌柏群落物种在科级水平有一定相似性, Sorensen 指数达 0.67,但属级和种级的相似性较低,仅分别为 0.44 和 0.33。两群落不同层次的物种相似性均以灌木层最高,乔木层次之,草本层最低。

2.6 群落优势种的种群结构

在两个样地中,优势度较高的物种有圆叶乌柏、小芸木、铁榄、香蒲桃和欏木(*Loropetalum chinense*)等,圆叶乌柏和铁榄为上层乔木。在清新和阳山样地中记录圆叶乌柏分别有 59 株和 72 株,密度分别为 245 ind. hm⁻² 和 300 ind. hm⁻²。从两地优势种的种群结构来看(图 1),清新圆叶乌柏种群

的平均树高为 9.5 m,平均胸径为 18.2 cm,以 II 级大小的个体最为丰富,具有较丰富的大径级个体;阳山圆叶乌柏种群的平均树高为 8.2 m,平均胸径为 12.1 cm,以 I 级大小的个体最为丰富,但缺乏大径级的个体。清新和阳山圆叶乌柏群落中胸径 DBH ≥ 2 cm 的个体分别占群落同径级植株总数的 10.8% 和 13.8%;胸径 DBH ≥ 5 cm 的个体分别占群落同径级植株总数的 35.3% 和 15.4%。两个群落 IV 级以上的个体均为圆叶乌柏,其他优势种多为 I~II 级个体。与阳山群落相比,清新圆叶乌柏种群的 I 级个体较少,但 IV 以上个体远多于阳山种群。清新群落优势种小芸木和铁榄与阳山群落优势种的香蒲桃和欏木均以 I~II 级个体为主,缺乏或少有 III 级以上个体。

表 6 清新与阳山圆叶乌柏群落的物种相似性(Sorensen 指数)

Table 6 Species similarity (Sorensen index) of *Triadica rotundifolia* community between Qingxin and Yangshan

	乔木层 Tree layer	灌木层 Shrub layer	草本层 Herb layer	群落 Community
科级 Family	0.57	0.64	0.55	0.67
属级 Genus	0.35	0.43	0.30	0.44
种级 Species	0.31	0.39	0.23	0.33

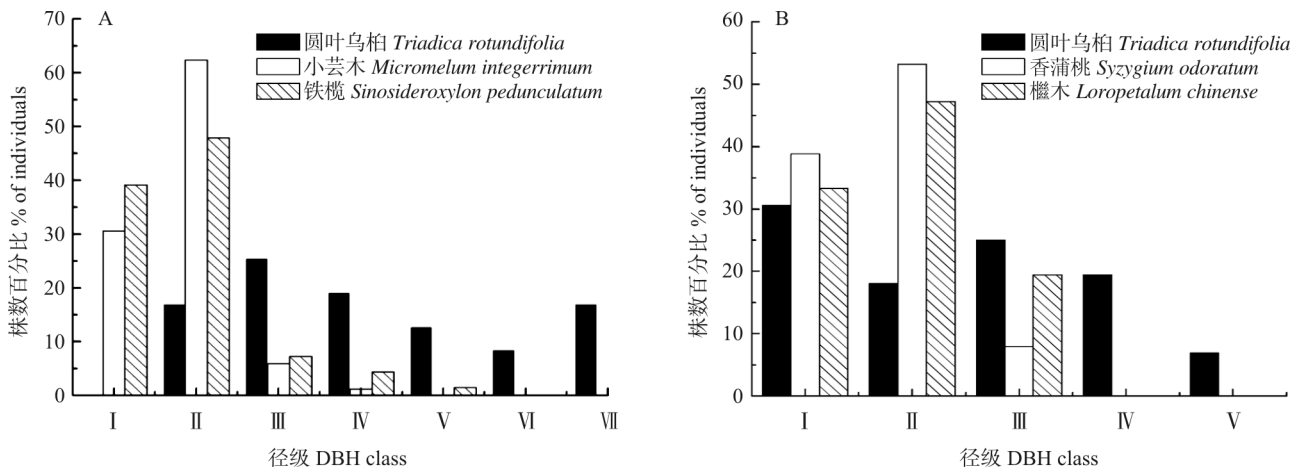


图 1 清新(A)和阳山(B)圆叶乌柏林优势种的种群结构

Fig.1 Population structure of dominant species of *Triadica rotundifolia* community in Qingxin (A) and Yangshan (B)

3 讨论

3.1 与邻近非石灰岩植物群落的物种比较

本调查结果表明,清新和阳山的圆叶乌柏次生林群落乔木层均以圆叶乌柏为优势种,群落物种科的相似性为 0.57。灌木层植物在科级水平上也存

在一定的相似性,但属、种水平的相似性较低,反映不同地区圆叶乌柏群落的物种组成和物种多样性存在较大差异。

根据石灰岩特有植物的划分方法^[17-19],清新圆叶乌柏群落约有 11 种石灰岩特有植物,它们是圆叶乌柏、大叶土蜜树、黄梨木(*Boniodendron minus*)、

青檀、铁榄、小芸木、千里香、齿叶黄皮(*Clausena anisata*)、中南鱼藤(*Derris fordii*)、网脉蛛毛苣苔(*Paraboea dictyoneura*)和肉叶鞘蕊花(*Plectranthus carnosifolius*);阳山群落有6种石灰岩特有植物,它们是圆叶乌柏、冻绿(*Rhamnus utilis*)、铁榄、千里香、黄梨木和小芸木。整体来看,阳山群落的石灰岩特有植物远较清新群落少,可能是阳山群落受到人为干扰较大的结果。阳山群落中观察到入侵植物马樱丹(*Lantana camara*)就是一个重要的佐证,而一些石灰岩特有植物对人为干扰较为敏感,难以生存,因此需加强对石灰岩地区的植被保护,减少人为干扰,减轻石灰岩特有植物生存压力。王发国等^[17]列出了63种海南分布的石灰岩特有植物,只有网脉蛛毛苣苔和肉叶鞘蕊花在清新和阳山群落有记录,反映了不同地域的石灰岩次生林植物群落组成和特有植物均存在较大的差异。

本调查所涉及的石灰岩次生林优势科有大戟科、茜草科、芸香科、桑科和木犀科,与邻近的石门台、南昆山和车八岭等非石灰岩区的优势科[壳斗科(*Fagaceae*)、樟科(*Lauraceae*)、山茶科(*Theaceae*)、茜草科和木兰科(*Magnoliaceae*)等]^[20-22]的森林群落存在很大的差异,反映了同一地域土壤性质对植物群落的物种组成和多样性发展有着重要的影响^[23-26]。杜虎等^[23]研究了桂北喀斯特峰丛洼地植物群落特征及其与土壤的耦合关系,揭示了土壤pH、土壤有机质和土壤有效氮是影响植物群落组成及其物种多样性发展的主要因素;他们认为原生林受土壤生态系统的影响较小,原生林经过长期的演替,在植被、土壤和气候方面已达到了较高水平的平衡状态;而次生林生态系统比较复杂,受土壤pH的影响比较大,土壤pH直接影响到土壤养分的有效性,而土壤微生物在土壤养分循环中的作用较大,因此对次生林植物多样性的发展具有主导作用。我们对清新白湾石灰岩地区不同植物群落的AM菌根植物及AM菌根菌多样性的调查结果^[27],也证实AM菌根植物在石灰岩地区次生植被中具有重要的地位。因此,继续开展圆叶乌柏次生林土壤微生物群落多样性研究对认识其群落演替发展的影响具有重要的意义。

3.2 圆叶乌柏群落种群动态

杨瑞等曾对贵州喀斯特高原区的圆叶乌柏种群特征进行了研究^[28],从物种丰富度来看,贵州喀

斯特高原区圆叶乌柏群落的维管植物种类比较少,仅有12种。而清新圆叶乌柏群落的物种组成比较丰富。两个群落的共有植物有5种,除圆叶乌柏外,高粱泡(*Rubus lambertianus*)、构树(*Broussonetia papyrifera*)、石岩枫(*Mallotus repandus*)和雀梅藤等4种在清新群落中的优势度都较低;而清新群落中的小芸木、铁榄、朴树、紫麻、驳骨九节和肾蕨等优势种均未出现在贵州群落的优势植物中。阳山和贵州群落的共有物种更少,除圆叶乌柏外,仅有雀梅藤在两群落中共有,阳山群落的香蒲桃、牡荆、粗糠柴、海红豆、竹叶花椒、弓果黍和江南卷柏等优势种均未在贵州群落出现。

从圆叶乌柏种群结构来看,清新和阳山种群密度比贵州群落的低,胸径(DBH) > 5 cm的个体密度分别为146 ind. hm⁻²和187 ind. hm⁻²,明显低于贵州群落(925 ind. hm⁻²),但清新群落的最大树高、平均胸径和最大胸径均明显大于阳山和贵州的群落,反映出清新种群大径级的个体较多,一方面可能与该群落的演替时间较长有关,同时也反映了该群落受人为的干扰破坏较少。在清新圆叶乌柏林的林缘有大量圆叶乌柏的幼苗,但在林内却极少见到幼苗,反映出该种的需光性^[3,27]。清新圆叶乌柏群落拥有较丰富的大径级个体,但缺乏幼苗,这可能与其演替时间较长、林冠郁闭度较高抑制了圆叶乌柏幼苗生长和发育有关。从种群结构来看,清新圆叶乌柏种群为不稳定种群,随着群落的演替,现有的建群种可能会被其他耐荫树种所替代;而阳山群落中的圆叶乌柏为稳定型种群,其优势地位还可保持一定的时间,但随着群落的进展演替,不耐荫的圆叶乌柏最终还是由其他中生性树种所替代。

致谢 华南农业大学林学院曾思金、闫湘、徐志强、杨捷豪和滕家喜等参与了野外调查工作,在此表示衷心感谢!

参考文献

- [1] Wu Z Y, Raven P H. Flora of China, Vol. 11 [M]. Beijing: Science Press & St. Louis: Missouri Botanical Garden Press, 1999: 284-284.
- [2] Mo L, Huang Y Q, Qin J K, et al. A preliminary study on the water physiology of four plant species in Karst area of southwest China [J]. Guihaia, 2008, 28(3): 402-406.
莫凌, 黄玉清, 覃家科, 等. 西南喀斯特地区四种植物水分生理的初步研究 [J]. 广西植物, 2008, 28(3): 402-406.
- [3] Zhang Z F, Huang Y Q, Mo L, et al. Photosynthesis light response

- characteristics of four limestone plants in Karst area [J]. *J NW For Univ*, 2009, 24(1): 44–48.
- 张中峰, 黄玉清, 莫凌, 等. 岩溶区4种石山植物光合作用的光响应 [J]. *西北林学院学报*, 2009, 24(1): 44–48.
- [4] Li R F, Zhou Q, Li H, et al. Study on the anatomical structure of *Triadica rotundifolia* in the limestone area of southeastern Guangxi [J]. *J Baise Univ*, 2009, 22(3): 78–80.
- 李荣峰, 周琼, 黎桦, 等. 桂西南石灰岩地区圆叶乌柏的生态解剖结构研究 [J]. *百色学院学报*, 2009, 22(3): 78–80.
- [5] He M Y, Yuan X Q, Qin X S. Characteristics of leaf epidemic and the association with their environmental adaptation of *Triadica rotundifolia*, a limestone endemic species [J]. *Acta Bot Boreal-Occid Sin*, 2012, 32(4): 709–715.
- 何敏宜, 袁锡强, 秦新生. 石灰岩特有植物圆叶乌柏叶表皮形态特征及其生态适应性研究 [J]. *西北植物学报*, 2012, 32(4): 709–715.
- [6] Tan J Y, Zhang C B, Luo C. Arbuscular mycorrhizal fungal diversity in *Sapium rotundifolium* in Maolan Karst Forest [J]. *Hubei Agri Sci*, 2012, 51(17): 3732–3735.
- 谭金玉, 张传博, 罗充. 茂兰喀斯特森林圆叶乌柏AM 真菌多样性研究 [J]. *湖北农业科学*, 2012, 51(17): 3732–3735.
- [7] Zeng Z X, Liu X L, Wang K L, et al. Comparison of litterfall and nutrients return properties of primary and secondary forest ecosystems, the Karst region of northwest Guangxi [J]. *Ecol Environ Sci*, 2010, 19(1): 146–151.
- 曾昭霞, 刘孝利, 王克林, 等. 桂西北喀斯特区原生林与次生林凋落物及养分归还特征比较 [J]. *生态环境学报*, 2010, 19(1): 146–151.
- [8] Zeng Z X, Liu X L, Song X J, et al. Litter fall mass and its decomposition in typical primary and secondary forests in Karst region of northwest Guangxi [J]. *Chin J Ecol*, 2011, 30(2): 201–207.
- 曾昭霞, 刘孝利, 宋希娟, 等. 桂西北喀斯特区原生林与次生林凋落物量及其降解 [J]. *生态学杂志*, 2011, 30(2): 201–207.
- [9] Zhang F, Song L H. Research on ecological environment and *Sapium rotundifolium* in Karst area of southeastern Yunnan [J]. *Carsol Sin*, 1993, 12(1): 85–90.
- 张帆, 宋林华. 滇东南石灰岩地区生态环境与圆叶乌柏的开发利用研究 [J]. *中国岩溶*, 1993, 12(1): 85–90.
- [10] Qin X S. Three indigenous ornamental *Sapium* plants for landscape application [J]. *Guangdong Landscape Arch*, 2011, 33(2): 71–73.
- 秦新生. 适合园林应用的三种乌柏属乡土观赏植物 [J]. *广东园林*, 2011, 33(2): 71–73.
- [11] South China Botanical Garden, Chinese Academy of Science. *Flora of Guangdong*, Vol. 5 [M]. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 2003: 127–127.
- 中国科学院华南植物园. *广东植物志*, 第5卷 [M]. 广州: 广东科技出版社, 2003: 127–127.
- [12] Li J Q. *Forest Ecology* [M]. Beijing: Higher Education Press, 2006: 300–303.
- 李俊清. *森林生态学* [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 300–303.
- [13] Ma K P, Liu C R, Liu Y M. The methods of measuring community biodiversity: II. Measurement of β diversity [J]. *Biodiv Sci*, 1995, 3(1): 38–43.
- 马克平, 刘灿然, 刘玉明. 生物多样性的测度方法: II. β 多样性的测度方法 [J]. *生物多样性*, 1995, 3(1): 38–43.
- [14] Wu Z Y, Zhou Z K, Li D Z, et al. The areal-types of the World families of seed plants [J]. *Acta Bot Yunnan*, 2003, 25(3): 245–257.
- 吴征镒, 周浙昆, 李德铎, 等. 世界种子植物科的分布区类型系统 [J]. *云南植物研究*, 2003, 25(3): 245–257.
- [15] Wu Z Y, Lu A M, Tang Y C, et al. *The Families and Genera of Angiosperms in China: A Comprehensive Analysis* [M]. Beijing: Science Press, 2003: 1–1224.
- 吴征镒, 路安民, 汤彦承, 等. *中国被子植物科属综论* [M]. 北京: 科学出版社, 2003: 1–1224.
- [16] Wu Z Y, Sun H, Zhou Z K, et al. *Floristics of Seed Plants from China* [M]. Beijing: Science Press, 2011: 1–376.
- 吴征镒, 孙航, 周浙昆, 等. *中国种子植物区系地理* [M]. 北京: 科学出版社, 2011: 1–376.
- [17] Wang F G, Qin X S, Xing F W, et al. Endemic plants in limestone region on Hainan Island [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2006, 14(1): 45–54.
- 王发国, 秦新生, 陈红锋, 等. 海南岛石灰岩特有植物的初步研究 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2006, 14(1): 45–54.
- [18] Yan Y H, Chen H F, Xing F W, et al. Flora and vegetation in limestone area in Shimentai Nature Reserve, Guangdong [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2002, 10(4): 348–355.
- 严岳鸿, 陈红锋, 邢福武, 等. 广东石门台自然保护区石灰岩地区植物区系和植被 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2002, 10(4): 348–355.
- [19] Yu X L, Xiao Y T. Primary study of limestone endemic plants in Hunan province [J]. *J CS For Univ*, 1999, 19(2): 35–39.
- 喻勋林, 肖育檀. 湖南石灰岩特有植物的初步研究 [J]. *中南林学院学报*, 1999, 19(2): 35–39.
- [20] Chen H F, Yan Y H, Xing F W, et al. A study on characteristics of *Ixonanthes chinensis-Castanopsis eyrei* community in Shimentai Nature Reserve, Guangdong [J]. *Guihaia*, 2003, 23(6): 488–494.
- 陈红锋, 严岳鸿, 邢福武, 等. 广东石门台自然保护区粘木-甜锥群落特征研究 [J]. *广西植物*, 2003, 23(6): 488–494.
- [21] Ma H Y, Zhuang X Y, Peng Y S, et al. Floristic diversity and dominant populations of *Machilus leptophylla* community on Nankunshan Mountain, Guangdong [J]. *Guangdong For Sci Techn*, 2007, 23(4): 11–16.

- 马红岩, 庄雪影, 彭逸生, 等. 广东南昆山华东润楠群落及优势种群研究 [J]. 广东林业科技, 2007, 23(4): 11–16.
- [22] Zhang M M, Su Z Y. Floristic analysis of *Castanopsis carlesii* community in Chebaling National Nature Reserve, North Guangdong [J]. Ecol Sci, 1998, 17(2): 8–13.
张木明, 苏志尧. 粤北车八岭小红栲群落的植物区系成分分析 [J]. 生态科学, 1998, 17(2): 8–13.
- [23] Du H, Peng W X, Song T Q, et al. Plant community characteristics and its coupling relationships with soil in depressions between karst hills, North Guangxi, China [J]. Chin J Plant Ecol, 2013, 37(3): 197–208.
杜虎, 彭晚霞, 宋同清, 等. 桂北喀斯特峰丛洼地植物群落特征及其与土壤的耦合关系 [J]. 植物生态学报, 2013, 37(3): 197–208.
- [24] Baer S G, Blair J M, Collins S L, et al. Plant community responses to resource availability and heterogeneity during restoration [J]. Oecologia, 2004, 139(4): 617–629.
- [25] Zhang P, Feng Z L. Biological nutrient cycling of secondary forests in Xishuangbanna [J]. Acta Pedol Sin, 1997, 34(4): 418–426.
张萍, 冯自立. 西双版纳热带雨林次生林的生物养分循环 [J]. 土壤学报, 1997, 34(4): 418–426.
- [26] Sutttona P, Maskalla J, Thornton I. Concentrations of major and trace elements in soil and grass at Shimba Hills National Reserve, Kenya [J]. Appl Geochem, 2002, 17(8): 1003–1016.
- [27] Mo H Z, Zhuang X Y. Study on AMF and some mycorrhizal plants of three plant communities in the limestone area in Qingyuan, Guangdong [J]. Guangdong For Sci Techn, 2013, 29(1): 9–15.
莫惠芝, 庄雪影. 广东清远石灰岩3个植物群落菌根及土壤AMF孢子多样性 [J]. 广东林业科技, 2013, 29(1): 9–15.
- [28] Yang R, Yu L F, Xie S X. Study on the population characteristics of *Triadica rotundifolia* in Guizhou Karst Plateau Area [J]. Prac For Techn, 2009(10): 8–9.
杨瑞, 喻理飞, 谢双喜. 贵州喀斯特高原区圆叶乌柏种群特征研究 [J]. 林业实用技术, 2009(10): 8–9.