

## ◆植物科学◆

桂西南石漠化区不同微地形中茶条木种子和幼苗的数量特征<sup>\*</sup>

吕仕洪,李象钦,潘玉梅,唐赛春,曾丹娟,韦春强

(广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所,广西喀斯特植物保育与恢复生态学重点实验室,广西桂林 541006)

**摘要:**为探讨微地形(Microtopography)对茶条木(*Delavaya toxocarpa*)种子和幼苗分布格局的影响,采用样方法对广西平果市龙何喀斯特生态重建示范区茶条木群落中不同微地形的茶条木种子密度、种子存活率、幼苗密度和幼苗年龄结构等进行研究。结果表明:茶条木群落中的微地形有石面、小平地、石沟、石窝和石缝等5种,各微地形的茶条木平均种子密度、平均种子存活率和平均幼苗密度分别为4.97–212.28粒/m<sup>2</sup>、35.7%–76.5%和0.09–44.85株/m<sup>2</sup>,石面的平均种子密度和平均幼苗密度显著小于其他4种微地形( $P < 0.05$ ),平均种子存活率显著小于小平地、石沟和石窝;茶条木1年生、2年生和3年生以上的幼苗占比分别为84.44%–100.00%、0.00%–15.38%和0.00%–2.22%,3年生以上幼苗的总存活率不足1.0%。综上,在桂西南石漠化山区茶条木群落中,茶条木的种子密度、种子存活率和幼苗密度等受微地形的影响明显,多年生幼苗存活率低,林下更新能力差,其群落管理可采取冠层疏枝和林隙除杂等措施改善微环境,促进幼苗生长和种群更新。

**关键词:**石漠化;微地形;茶条木;种子;幼苗;数量特征

中图分类号:Q948.114,S754.5 文献标识码:A 文章编号:1005-9164(2023)05-0861-08

DOI:10.13656/j.cnki.gxkx.20231121.004

微地形(Microtopography)又称微地貌,是指较小尺度(空间尺度在0–1 m内)的地形变化<sup>[1-4]</sup>。在南方石漠化地区及其他喀斯特山区,地表存在多种可明显区分、具有不同生态有效性的微地形,它们既是环境高度异质性的主要根源,也是影响植被修复的重要因素<sup>[5-7]</sup>。在较小尺度空间内,由于形态结构和土壤微环境等方面的差异<sup>[8-12]</sup>,不同微地形对局部范围的种子扩散、种子生活力保存、种子萌发和幼苗生长

等的作用差别较大<sup>[13-18]</sup>,从而对植物分布格局、群落结构和植被修复等产生重要影响<sup>[19-21]</sup>。在我国西北毛乌素沙漠,韩润燕等<sup>[17]</sup>研究发现不同微地形固定沙丘土壤其种子库储量差异明显;安红燕等<sup>[13]</sup>研究结果表明微地形对塔里木河下游积水区定居幼苗的物种组成和生物多样性指数影响很大;刘方炎等<sup>[18]</sup>则研究了金沙江干热河谷天然更新幼苗的形态特征、生物量分配和生存状况等,发现它们在不同微生境

收稿日期:2022-07-11

修回日期:2022-09-14

<sup>\*</sup>国家自然科学基金项目(31860174)和广西植物研究所学科发展基金项目(桂植发001)资助。

## 【第一作者简介】

吕仕洪(1967–),男,副研究员,主要从事植物资源利用与恢复生态学研究,E-mail:lshh@gxib.cn。

## 【引用本文】

吕仕洪,李象钦,潘玉梅,等.桂西南石漠化区不同微地形中茶条木种子和幼苗的数量特征[J].广西科学,2023,30(5):861-868.

LÜ S H,LI X Q,PAN Y M,et al.Quantitative Characteristics of the Seeds and Seedlings of *Delavaya toxocarpa* in Different Microtopography of Karst Rocky Desertification Area in Southwest Guangxi [J].Guangxi Sciences,2023,30(5):861-868.

(微地形+植被类型)之间的差别比较明显。在我国南方喀斯特区,除朱守谦<sup>[5]</sup>、刘方等<sup>[6]</sup>和程富东等<sup>[7]</sup>对研究区域的微地形和环境特点等有描述和分析外,尚未见有种子、幼苗与微地形之间内在关系的报道。

茶条木(*Delavaya toxocarpa*)是桂西南石漠化区比较常见的乡土先锋树种<sup>[22]</sup>,适应性强,经济用途广,在近年来的石漠化区植被修复中应用较多且效果良好<sup>[23,24]</sup>。迄今为止,茶条木研究主要涉及群落特性、种子内含物、种子萌发、光合作用、人工造林和萌蘖特征等<sup>[25-32]</sup>,这些研究有助于人们了解茶条木的基本特性和主要用途。在桂西南石漠化区植被修复初期阶段,茶条木群落结构对其生态系统功能有着至关重要的影响,并且与其种子和幼苗的分布格局及种群更新等关系密切,而在该区高度异质性环境中,微地形可能又是影响种子和幼苗的重要因素。然而,由于目前对茶条木种子和幼苗分布格局特点及其与微地形的关系、茶条木种群自然更新特征等知之甚少,群落管理的针对性技术措施亦比较匮乏。因此,为探讨微地形对茶条木种子和幼苗分布格局的影响,揭示茶条木种群自然更新的基本特征,本研究以广西平果市龙何喀斯特生态重建示范区(以下简称“龙何示范区”)的茶条木群落为对象,研究不同微地形中茶条木的种子密度、种子存活率、幼苗密度和幼苗年龄结构等特征,分析这些特征与微地形之间的内在关系,阐明茶条木种群的更新特性并提出一些群落管理建议,拟为该区植被修复和茶条木群落管理等提供参考。

## 1 材料与方

### 1.1 研究区概况

龙何示范区位于广西壮族自治区百色市平果市果化镇布尧村(107°23'20"E,23°23'04"N),毗邻右江河谷,以峰丛洼地为主,喀斯特山地约占土地总面积

的91%。龙何示范区最高海拔562.1 m,洼地与山顶之间高差50-250 m,山体比较陡峭,坡度多在25°以上。据设在龙何示范区内气象观测点的多年气象观测结果显示,该区年均气温19.1-22.0℃,极端高温38.8℃,极端低温-1.3℃,≥10℃年积温7465.6℃;年降水量1369.9 mm,降水量季节分配十分不均,5-8月约占70%,9月至翌年4月仅占30%。自2002年以来,在已收集和应用的30多个乡土树种中,茶条木的育苗与造林数量最多,植被修复效果亦最为明显。茶条木为常绿灌木或小乔木,耐瘠耐旱,即使是在立地环境恶劣的石漠化山区亦有很强的适应性,但其幼苗需要一定的荫庇,对光照的需求会随着苗龄的增长而增加<sup>[22,29]</sup>。目前,经过多年的人工造林和抚育,龙何示范区以茶条木为建群种或优势种的人工纯林或混交林的面积较大,是其植被状况与生态环境得到明显改善的重要标志。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 样方设置

2021年10月11-12日,在龙何示范区的果弄、弄怀和弄烈等3个地点选取茶条木成年林群落(造林前试验地为退耕地,2005-2006年人工定植,林木开花结实均达10年以上)中的典型地段设立6个5 m×5 m的样方(各群落的样方面积合计150 m<sup>2</sup>),样方之间的间距不少于2 m,记录样方所处位置和植物群落及周围环境的特点(表1)。除冠层郁闭度较大外,3个群落的林隙亦几乎全被灌草植物所覆盖,灌草植物高80-250 cm,主要种类有五节芒(*Miscanthus floridulus*)、类芦(*Neyraudia reynaudiana*)、雀梅藤(*Sageretia thea*)、九龙藤(*Phanera championii*)、红背山麻杆(*Alchornea trewioides*)、飞机草(*Chromolaena odorata*)和三叶鬼针草(*Bidens pilosa*)等。

表1 茶条木群落概况

Table 1 Basic characteristics of *D. toxocarpa* community

地点 Site	造林时间 Planting time	海拔/m Altitude/m	坡向/坡位 Aspect/ Slope	群落高度/m Community height/m	郁闭度 Crown density	主要伴生树种 Main associated species
Guonong	2006	340	S/M	5.0	0.8	<i>Cornus wilsoniana</i> , <i>Cyclobalanopsis glauca</i> , <i>Leucaena leucocephala</i>
Nonghuai	2005	325	S/M	6.0	0.6	<i>Choerospondias axillaris</i> , <i>L. leucocephala</i> , <i>Zenia insignis</i>
Nonglie	2006	310	S/M	6.0	0.9	<i>Ligustrum lucidum</i> , <i>Caesalpinia sappan</i> , <i>C. glauca</i>

### 1.2.2 微地形划分与测量

参考朱守谦<sup>[5]</sup>、刘方等<sup>[6]</sup>和程富东等<sup>[7]</sup>的方法并结合实际情况,将样方内的微地形划分为以下5种:(1)石面(Stony Surface, SS),部分露出或完全露出基岩的岩石表面,表面光滑或凹凸不平(分布着大小不一的凹槽和裂隙);(2)小平地(Small Flat, SF),经砌石和填土等人工改造后形成的土层较厚、地表较为平整的块状平地;(3)石沟(Stony Ditch, SD),由露出基岩围成、横断面为U形、有一个或多个缺口并有土被覆盖的沟状凹槽;(4)石窝(Stony Nest, SN),由若干块裸岩围成相对封闭、形状与大小不一、有土被覆盖的环状或多边形凹槽;(5)石缝(Stony Crevice, SC),由大块裸岩崩裂形成的或者位于两块较大裸岩之间、横断面为V形、内部有土或无土的条状或狭长型裂隙。除石面外,逐一记录各样方内每个微地形单元的名称,用钢卷尺测量其长度和宽度(精度0.1 cm,各测定2-3次并取平均值),据此计算单元面积及每种微地形的面积占比,每个样方总面积减去小平地、石窝、石沟和石缝等4种微地形面积之和后的差值占整个样方面积的百分比即为石面面积占比。

### 1.2.3 茶条木种子与幼苗调查

在同一茶条木群落内,除石面外,其他4种微地形的茶条木种子、幼苗的调查与统计以微地形单元为单位,逐一收集和统计或记录每个单元的茶条木种子总数、存活种子数和幼苗数,在此基础上归总计算同一临时样方(5 m×5 m)同种微地形的种子密度、种子存活率和幼苗密度等,进而求算群落的平均种子密度、平均种子存活率和平均幼苗密度。由于石面的微地形单元界线较难或无法确定,其种子、幼苗的调查和统计以样方(5 m×5 m)为单位,利用样方内全部石面收集和统计或记录的种子总数、存活种子数、幼苗数和总面积等求出其种子密度、种子存活率和幼苗密度,然后再计算整个群落内石面的平均种子密度、平均种子存活率和平均幼苗密度。记录幼苗数时,根

表2 不同微地形类型的面积占比(平均值±标准差)

地点 Site	石面 SS	小平地 SF	石沟 SD	石窝 SN	石缝 SC	合计 Total
Guonong	44.68±11.31 aA	36.18±7.79 aA	9.14±4.83 bA	9.18±3.72 bA	0.82±0.18 cAB	100.00
Nonghuai	56.63±15.33 aA	27.53±11.89 bA	7.31±2.96 cA	7.84±3.53 cA	0.69±0.25 dB	100.00
Nonglie	47.22±13.63 aA	31.19±10.48 bA	9.81±2.72 cA	10.79±3.36 cA	0.99±0.14 dA	100.00

Note: different lowercase letters in the same line indicate significant differences between the site and different microtopography types, different uppercase letters in the same column indicate significant differences between the same microtopography and different sites ( $P < 0.05$ ).

据每株幼苗主干的节间特性判别其年龄并统计各龄级(分1年生、2年生和3年生以上等3个龄级)的幼苗数量。据笔者多年实验的发现和总结,茶条木种子个体和单粒重较大,水选法(自来水)可以比较简便和准确地判断其生活力状况,即沉入水中的种子具有生活力(可以萌发),浮出水面的种子已丧失生活力(不能萌发)。因此种子收集和计数后,先拣出形态残缺和明显劣变的种子丢弃,再将剩余种子带回实验室,利用水选法鉴别和统计种子存活数。

### 1.2.4 数据处理与分析

利用SPSS 17.0和Microsoft Office Excel 2010等软件进行数据分析,包括不同微地形的面积百分比、茶条木种子与幼苗的数量指标(平均种子密度、平均种子存活率、平均幼苗密度、标准差和变异系数)及幼苗年龄结构等。比较同一地点不同微地形之间及同一微地形不同地点之间的指标差异时,首先检验各测定指标的正态性及方差齐性,如果测定指标具有正态性且方差又有齐性,则使用方差分析进行差异显著性检验( $P < 0.05$ ),并用最小显著性差异(Least Significant Difference, LSD)法进行多重比较,反之则使用Kruskal-Wallis进行差异显著性检验,用Wilcoxon Rank Sum Tests进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同微地形的面积占比

不同微地形的面积占比情况如表2所示。在3个地点中,各微地形的面积占比以石面最大,平均值为44.68% - 56.63%;小平地次之,平均值为27.53% - 36.18%;石缝最小,平均值仅为0.69% - 0.99%。在同一地点中,石面和小平地的面积占比显著大于石沟、石窝和石缝;石沟和石窝的面积占比显著大于石缝;弄怀和弄烈中石面的面积占比显著大于小平地。在同种微地形、不同地点之间,除了弄烈中石缝的面积占比显著大于弄怀外,其他差异不显著。

## 2.2 不同微地形中茶条木的种子密度、种子存活率和幼苗密度

在3个茶条木群落中,不同微地形的茶条木平均种子密度、平均种子存活率和平均幼苗密度分别为4.97–212.28粒/m<sup>2</sup>、35.7%–76.5%和0.09–44.85株/m<sup>2</sup>,变异系数分别为16.86%–66.03%、19.58%–50.70%和26.49%–66.67%(表3)。在同一地点、不同微地形之间,石面的平均种子密度和平均幼苗密度显著小于其他4种微地形,且平均种子存活率显著小于石沟、石窝和小平地;石窝、小平地和石沟的平均种子密度小于或显著小于石缝,但三者

在果弄和弄怀的平均种子成活率和平均幼苗密度要大

于或显著大于石缝,弄烈石沟和石缝的平均幼苗密度大于或显著大于小平地和石窝。总体而言,小平地的平均种子密度、平均种子成活率和平均幼苗密度要小于或明显小于石沟和石窝。在同一微地形、不同地点之间,弄烈石面的平均种子密度显著大于果弄,果弄和弄烈的石窝及小平地的平均种子密度显著小于弄怀,弄烈和弄怀石缝的平均幼苗密度显著大于果弄,弄烈石窝的平均幼苗密度显著小于果弄,其他相互之间差异不显著。双因素方差分析结果(表4)显示,微地形对种子密度、种子存活率和幼苗密度均影响显著,调查地点对种子密度影响显著。

表3 茶条木的种子密度、种子存活率和幼苗密度

Table 3 Seed density, seed survival rate and seedling density of *D. toxocarpa*

地点 Site	微地形 Micro- topography	种子密度/(粒/m <sup>2</sup> ) Seed density/(grain/m <sup>2</sup> )			种子存活率/% Seed survival rate/%			幼苗密度/(株/m <sup>2</sup> ) Seedling density/(seedling/m <sup>2</sup> )		
		平均值 Mean	标准差 Standard deviation	变异系数/% Coefficient of variation/%	平均值 Mean	标准差 Standard deviation	变异系数/% Coefficient of variation/%	平均值 Mean	标准差 Standard deviation	变异系数/% Coefficient of variation/%
Guonong	SS	4.97 cB	1.35	27.16	42.8 bA	11.7	27.34	0.09 cB	0.06	66.67
	SF	43.08 bAB	10.98	25.49	63.9 aA	20.5	32.08	26.08 aA	9.06	34.74
	SD	88.13 abA	58.19	66.03	64.0 aA	15.2	23.75	35.48 aA	16.79	47.32
	SN	65.85 bAB	11.10	16.86	66.9 aA	15.3	22.86	38.65 aA	13.71	35.47
	SC	132.37 aA	47.99	36.25	45.0 bA	33.7	24.84	10.87 bB	2.88	26.49
Nonghuai	SS	6.00 dAB	2.23	37.17	39.7 bA	9.9	24.94	0.11 cB	0.06	54.54
	SF	56.10 cA	14.22	25.35	62.8 aA	17.9	28.50	21.52 bA	10.03	46.61
	SD	82.70 bA	41.33	49.98	68.6 aA	14.8	21.57	44.85 aA	19.05	42.47
	SN	84.98 bA	16.35	19.24	61.8 aA	14.9	24.10	26.36 abAB	12.17	46.17
	SC	212.28 aA	79.02	37.22	46.5 bA	22.7	48.81	21.09 bA	7.33	34.76
Nonglie	SS	7.33 cA	2.95	40.25	35.7 bA	18.1	50.70	0.25 cA	0.14	56.00
	SF	32.94 bB	5.89	17.88	70.1 aA	26.1	37.23	19.78 bA	5.32	26.90
	SD	56.72 bA	36.30	64.00	76.5 aA	17.9	23.40	39.42 aA	12.55	31.84
	SN	33.23 bB	12.84	38.64	72.0 aA	14.1	19.58	21.23 bB	6.89	32.45
	SC	122.24 aA	70.46	57.64	60.1 aA	18.0	29.95	31.50 abA	15.94	50.60

Note, different lowercase letters in the same line indicate significant differences between the site and different microtopography types, different uppercase letters in the same column indicate significant differences between the same microtopography and different sites ( $P < 0.05$ ).

## 2.3 不同微地形中茶条木幼苗的年龄结构

从表5可知,3个地点中1年生、2年生和3年生以上的茶条木幼苗总体占比分别为91.04%–92.00%、7.38%–9.13%和0.46%–0.65%,其中1年生幼苗占比优势突出,即茶条木种群在1年生幼苗至2年生幼苗阶段缢缩非常明显,2年生和3年生以上幼苗的总体存活率(与1年生幼苗的比率)分别为8.02%–9.32%和0.51%–0.72%。在3个地点的

不同微地形中,石面1年生幼苗占比均为100.00%,2年生和3年生以上幼苗占比和存活率均为0.00%,即石面的茶条木幼苗在种子萌发后1年左右均全部死亡;小平地、石沟、石窝和石缝的1年生、2年生和3年生以上幼苗总体占比分别为84.44%–93.94%、5.53%–15.38%和0.00%–2.22%,2年生和3年生以上的幼苗存活率分别为5.89%–18.18%和0.00%–2.63%,整个群落3年生以上幼苗存活率不

足 1.0%, 表明茶条木幼苗在种子萌发后 3 年内死亡率高达 99% 以上。此外, 在样地调查中发现, 除多数 1 年生幼苗生长尚属正常外, 绝大多数 2 年生和 3 年

生以上的幼苗长势较差甚至濒临死亡, 预示着茶条木种群林下更新能力低下。

表 4 茶条木种子密度、种子存活率和幼苗密度双因素方差分析

Table 4 Two-way ANOVA for seed density, seed survival and seedling density of *D. toxocarpa*

指标 Index	来源 Source	平方和 Sum of squares	自由度 <i>df</i>	均方 Mean square	F 值 F value	P 值 P value
Seed density	Survey location	14 425. 187	2	7 212. 593	5. 002	0. 010
	Microtopography	146 170. 877	4	36 542. 719	25. 342	0. 000
	Error	379 247. 578	263	1 442. 006		
Seed survival rate	Survey location	625. 121	2	312. 561	2. 967	0. 060
	Microtopography	7 994. 181	4	1 998. 545	18. 973	0. 000
	Error	27 703. 368	263	105. 336		
Seedling density	Survey location	4. 634	2	2. 317	0. 015	0. 985
	Microtopography	10 458. 144	4	2 614. 536	16. 543	0. 000
	Error	41 565. 309	263	158. 043		

表 5 不同微地形中茶条木幼苗的年龄结构

Table 5 The age structure of *D. toxocarpa* seedlings in different microtopography

地点 Site	微地形 Micro- topography	1 年生 1-year-old		2 年生 2-year-old			3 年生以上 Over 3-year-old			合计 Total	
		株数 Number of seedling	百分比/% Percen- tage/%	株数 Number of seedling	百分比/% Percen- tage/%	存活率/% Survival rate/%	株数 Number of seedling	百分比/% Percen- tage/%	存活率/% Survival rate/%	株数 Number of seedling	百分比/% Percen- tage/%
Guonong	SS	6	100.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	6	100.00
	SF	1 254	92.14	101	7.42	8.05	5	0.37	0.40	1 361	100.00
	SD	426	90.64	42	8.94	9.86	2	0.43	0.47	470	100.00
	SN	466	88.93	54	10.31	11.59	4	0.76	0.86	524	100.00
	SC	11	84.62	2	15.38	18.18	0	0.00	0.00	13	100.00
	Subtotal	2 163	91.11	199	8.38	9.20	11	0.46	0.51	2 374	100.00
Nonghuai	SS	9	100.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	9	100.00
	SF	770	92.88	53	6.39	6.88	6	0.72	0.78	829	100.00
	SD	546	92.07	44	7.42	8.06	3	0.51	0.55	593	100.00
	SN	266	89.56	29	9.76	10.90	2	0.67	0.75	297	100.00
	SC	18	85.71	3	14.29	16.67	0	0.00	0.00	21	100.00
	Subtotal	1 609	92.00	129	7.38	8.02	11	0.63	0.68	1 749	100.00
Nonglie	SS	18	100.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	18	100.00
	SF	804	90.54	78	8.78	9.70	6	0.68	0.75	888	100.00
	SD	527	93.94	31	5.53	5.89	3	0.53	0.57	561	100.00
	SN	289	87.84	38	11.55	13.15	2	0.61	0.69	329	100.00
	SC	38	84.44	6	13.33	15.79	1	2.22	2.63	45	100.00
	Subtotal	1 676	91.04	153	9.13	9.32	12	0.65	0.72	1 841	100.00

### 3 讨论

在较小尺度范围内,微地形的数量、分布和面积分配等是环境异质性的重要表征<sup>[1,2,5]</sup>。在石漠化区及其他喀斯特区山地,微地形的形态和环境因子等主要受裸岩的高度、形状的影响,如在我国贵州省西部喀斯特区,同片坡耕地内不同微地形的面积占比差别较大,土壤肥力状况也各不相同<sup>[7]</sup>。本研究中的茶条木群落所处位置属人工改造的退耕地,其微地形主要有石面、小平地、石窝、石沟和石缝等5种,面积占比以石面最大,小平地次之,石缝最小。结合本次调查及其他研究结果<sup>[23,29]</sup>,在龙何示范区,一方面即使经过人工改造的退耕地,其裸岩(石面)面积占比总体仍然接近或超过50%,并且多数石窝和石沟的土层比较浅薄和不均,立地环境比较严酷,是植被修复最主要的不利因素和障碍;另一方面,与自然坡地相比,退耕地土壤盖度(包括小平地、石沟和石窝的面积占比之和)较大,一些微地形(包括多数小平地及部分石窝和石沟)的土层较厚,如小平地一般可达30 cm,最大甚至超过60 cm,具备开展人工修复(含直播造林和植苗造林)的条件。因此,尽管环境比较严酷,但可以选择立地条件较好的微地形作为人工造林点,构建乡土先锋乔木群落,诱导或促进退化植被的正向演替。

在植物群落中,种子和幼苗的分布格局与种子扩散方式及局部环境特征等关系密切<sup>[14,16]</sup>。由于外部形态和内部环境等存在差异,不同微地形中种子的自身运动、水体传送、动物取食与搬运、生活力保存和萌发数量等有所不同,从而导致种子和幼苗的水平分布形成具有较为明显的微地形格局<sup>[4,15,17]</sup>。据多年观察,在龙何示范区,每年9月下旬至10月上旬为茶条木种子成熟的高峰期,绝大多数种子是在蒴果开裂后从树冠下落或弹射到地面,种子个体较大且呈近球形,种子活力亦较高<sup>[27]</sup>,其自然扩散以自体扩散为主;种子无休眠,含油率高,条件适宜时萌发迅速,但环境恶劣时容易丧失生活力<sup>[22]</sup>。本研究中,石面完全暴露于地表,表面比较光滑,种子下落后较难停留和贮存,加上土壤和枯落物稀少,不但种子缺少庇护,而且种子萌发和幼苗生长的立地条件恶劣,因而其种子密度、种子存活率和幼苗密度等均为最小值;小平地表面比较平整和开阔,石窝和石沟则为中间低、周围高和相对封闭的微环境,这3种微地形的枯落物较多,土壤条件较好,种子生活力保持、种子萌发和幼苗生长的环境条件比较接近,但与石沟和石窝相比,小

平地的种子因动物取食或搬运等的障碍较少而流动性较大,人为踩踏亦较多,因而其种子密度和幼苗密度要略小或明显小于石沟和石窝,但三者的种子存活率差别不大;石缝上口狭长,内部空间窄小,微环境最为封闭,种子落入后难以或者不能流动,动物取食或搬运的难度亦较大,因而种子密度最大,但由于其内部土壤和枯落物较少,立地条件虽优于石面但劣于小平地、石沟和石窝,因此种子存活率和幼苗密度要大于石面,但小于小平地、石沟和石窝或者相差不大。总而言之,因受外部形态和内部环境的影响和制约,各微地形的种子密度、种子存活率与幼苗密度之间的关系比较密切:石面的种子密度和种子存活率最低,其幼苗密度亦最小;石缝的种子密度最大,种子存活率较低且幼苗密度较小;小平地、石沟和石窝的种子密度较大,种子存活率亦较高,因而幼苗密度较大。本研究是在茶条木种子成熟高峰期刚刚结束就立即开展,种子数量较多,种子存活率较高,但由于茶条木种子具有对环境极其敏感而迅速萌发或极易丧失生活力的特性,动物取食或搬运亦较多,同时干湿交替明显的环境对种子生活力、种子萌发和幼苗生长的影响较大,因而对其种子数量、种子存活率和幼苗密度等的时空动态与影响因素,还需开展更多的跟踪调查和研究。

对植物种群而言,幼苗年龄结构受其结实特性、种子萌发特性、生态适应性和立地条件等的影响和制约,对种群的维持和更新意义重大<sup>[33-36]</sup>。如前所述,茶条木耐旱耐瘠,幼苗时需要一定的荫庇,对土壤和水肥要求不高,但以疏松、深厚的土壤生长较好<sup>[22]</sup>。在本研究中,茶条木生长迅速,开花结实较早,单株种子产量较大,一般于植苗造林后第4年开始结实,而后结实量逐年增加,到第9年后渐趋稳定。从本研究结果来看,茶条木1年生幼苗总体占比超过90%,2年生和3年生以上幼苗的占比小于10%,种群年龄结构在1-2年生幼苗期间缙缩明显;而在不同微地形中,石面只有1年生幼苗,小平地、石沟、石窝、石缝的2年生和3年生以上幼苗的占比接近或超过10%,说明小平地、石沟、石窝和石缝的幼苗存活时间比石面长,主要原因在于石面只有部分凹槽或裂隙积存极为稀薄的土壤(腐殖土),微立地环境恶劣使得幼苗存活期较短,其他4种微地形土层较厚或土壤数量较多,立地条件较好,对幼苗生长较为有利。此外,尽管3个样地的茶条木植株开花结实均达10年以上,每年结实量和种子萌发数较多,而且部分微地形(包

括小平地及部分石沟和石窝)的土层厚度能够满足幼苗生长的需要,但林下3年生以上幼苗数量极少且生长不良,结合茶条木植株不同生长阶段的需光性和生态适应性等分析<sup>[20,26]</sup>,推测造成该现象的主要原因可能在于群落冠层透光度较低及林隙灌草植物比较稠密,1年生幼苗可以忍受林下比较荫庇的环境,但随着年龄的增加,林下光照无法满足幼苗生长所需而导致死亡率很高,由此可见茶条木林下更新能力低下。因此,在今后的茶条木群落管理中,可采取冠层疏枝和林隙除杂等措施增加光照,促进幼苗生长并有利于种群更新。

#### 4 结论

在桂西南石漠化区的茶条木人工林群落中,其微地形主要有石面、小平地、石沟、石窝和石缝等5种,不同微地形的面积占比以石面最大,小平地次之,石缝最小;茶条木的种子密度、种子存活率、幼苗密度和幼苗年龄结构等受微地形格局的影响亦比较明显,多年生幼苗死亡率高,种群林下更新能力低下。为促进幼苗生长并有利于种群更新,茶条木群落管理可采取冠层疏枝和林隙除杂等措施。由于调查时间和范围有限,对桂西南石漠化区茶条木种子和幼苗的微地形格局等的研究还比较粗浅,更大范围和/或更长时期的种子、幼苗数量变化及其与微地形的关系,仍待今后开展更深入的调查和研究。

#### 参考文献

- [1] WATT A S. Pattern and process in the plant community [J]. *The Journal of Ecology*, 1947, 35(1/2): 1-22.
- [2] LARKIN D, VIVIAN-SMITH G, ZEDLER J B. Topographic heterogeneity theory and ecological restoration [M]. Washington: Island Press, 2006: 142-164.
- [3] 卫伟, 余韵, 贾福岩, 等. 微地形改造的生态环境效应研究进展[J]. *生态学报*, 2013, 33(20): 6462-6469.
- [4] GILLAND K E, MCCARTHY B C. Microtopography influences early successional plant communities on experimental coal surface mine land reclamation [J]. *Restoration Ecology*, 2014, 22(2): 232-239.
- [5] 朱守谦. 喀斯特森林生态研究(I) [M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 1993: 52-62.
- [6] 刘方, 王世杰, 罗海波, 等. 喀斯特森林生态系统的小生境及其土壤异质性[J]. *土壤学报*, 2008, 45(6): 1055-1062.
- [7] 程富东, 戴全厚. 喀斯特坡耕地微地貌土壤养分空间变异性研究[J]. *中国水土保持*, 2016(1): 51-54.
- [8] 李艳梅, 王克勤, 陈奇伯, 等. 金沙江干热河谷微地形改造对土壤水分运动参数的影响研究[J]. *水土保持研究*, 2008, 15(4): 19-23.
- [9] 卜耀军, 朱清科, 包耀贤, 等. 陕北黄土区微地形土壤质量指标变异性及敏感性[J]. *水土保持学报*, 2014, 28(3): 153-157.
- [10] LI S, BIRK S, XUE L, et al. Seasonal changes in the soil moisture distribution around bare rock outcrops within a karst rocky desertification area (Fuyuan County, Yunnan Province, China) [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2016, 75(23): 1482.
- [11] WANG D J, SHEN Y X, LI Y H, et al. Rock outcrops redistribute water to nearby soil patches in karst landscapes [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2016, 23(9): 8610-8616.
- [12] WANG D J, SHEN Y, LI Y, et al. Rock outcrops redistribute organic carbon and nutrients to nearby soil patches in three karst ecosystems in SW China [J]. *PLoS One*, 2016, 11(8): 0160773.
- [13] 安红燕, 徐海量, 叶茂, 等. 漫溢干扰过程中微地形对幼苗定居的影响[J]. *生态学报*, 2013, 33(1): 214-221.
- [14] 于卫洁, 陈宇, 焦菊英, 等. 黄土丘陵沟壑区撂荒坡面种子雨特征[J]. *应用生态学报*, 2015, 26(2): 395-403.
- [15] AKAJI Y, HIROBE M, MIYAZAKI Y, et al. Survival and growth of *Fagus crenata* seedlings in relation to biological and microtopographical factors in a cool temperate broadleaf forest [J]. *Journal of Forest Research*, 2017, 22(5): 1-9.
- [16] MELNIK K, LANDHÄUSSER S M, DEVITO K. Role of microtopography in the expression of soil propagule banks on reclamation sites [J]. *Restoration Ecology*, 2017, 26(S2): 200-210.
- [17] 韩润燕, 陈彦云, 李旺霞. 不同微地形固定沙丘地上植被、土壤种子库和土壤含水量的分布特征[J]. *草业科学*, 2014, 31(10): 1825-1832.
- [18] 刘方炎, 张志翔, 王小庆, 等. 生境异质性对金沙江干热河谷锥连栎天然更新幼苗早期生长的影响[J]. *应用与环境生物学报*, 2011, 17(3): 338-344.
- [19] 王晶, 朱清科, 秦伟, 等. 陕北黄土区封禁流域坡面微地形植被特征分异[J]. *应用生态学报*, 2012, 23(3): 694-700.
- [20] 袁振, 魏松坡, 贾黎明, 等. 河北平山片麻岩山区微地形植物群落异质性[J]. *北京林业大学学报*, 2017, 39(2): 49-57.
- [21] 张志永, 时忠杰, 张晓, 等. 浑善达克沙地不同微地形的土壤物理性质和草本群落分布及其相关性分析[J]. *植物资源与环境学报*, 2017, 26(1): 69-76.
- [22] 钟济新. 广西石灰岩石山植物图谱[M]. 南宁: 广西人民出版社, 1983: 202.
- [23] 李先琨, 吕仕洪, 蒋忠诚, 等. 喀斯特峰丛区复合农林系统优化与植被恢复试验[J]. *自然资源学报*, 2005, 20(1): 92-98.
- [24] 蒋忠诚, 李先琨, 曾馥平, 等. 岩溶峰丛山地脆弱生态系统重建技术研究[J]. *地球学报*, 2009, 30(2): 155-166.
- [25] 吕仕洪, 李先琨, 何成新, 等. 广西岩溶地区茶条木群落

- 特征与人工造林研究初报[J]. 植物资源与环境学报, 2009, 18(3): 20-24.
- [26] 程菊英, 罗四莲, 潘于发, 等. 广西植物油脂的研究 I: 五十种植物种子的油脂成分[J]. 广西植物, 1980(2): 26-34.
- [27] 张德楠, 徐广平, 黄玉清, 等. 喀斯特地区茶条木种子萌发及生态适应性[J]. 南方农业学报, 2013, 44(3): 478-481.
- [28] 殷庆仓, 宋同清, 彭晚霞, 等. 西南喀斯特地区四种造林树种光合作用日变化及生态适应性研究[J]. 农业现代化研究, 2011, 32(3): 367-370.
- [29] 吕仕洪, 李先琨, 陆树华, 等. 广西岩溶乡土树种育苗及造林研究[J]. 广西科学, 2006, 13(3): 236-240.
- [30] 张中峰, 张金池, 周龙武, 等. 丛枝菌根真菌对石漠化地区造林苗木生长的影响[J]. 生态学杂志, 2018, 37(10): 2927-2934.
- [31] 曹彦强, 张中峰, 蒋士宋, 等. 根际促生菌对石漠化地区造林苗木的促生效应[J]. 广西植物, 2021, 41(5): 738-745.
- [32] 吕仕洪, 黄甫昭, 曾丹娟, 等. 石漠化地区先锋树种茶条木伐桩的萌蘖特性[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2015, 39(3): 65-70.
- [33] 欧芷阳, 苏志尧, 彭玉华, 等. 桂西南喀斯特山地蚬木幼龄植株的天然更新[J]. 应用生态学报, 2013, 24(9): 2440-2446.
- [34] 杨旭, 杨志玲, 雷斌, 等. 濒危植物凹叶厚朴幼苗更新及环境解释[J]. 林业科学, 2013, 49(12): 36-42.
- [35] 汪国海, 潘扬, 覃国乐, 等. 喀斯特生境中濒危植物单性木兰种群结构及空间分布格局研究[J]. 林业科学研究, 2021, 34(3): 81-87.
- [36] 赵家豪, 孙晓丹, 叶钰倩, 等. 微地形对江西武夷山南方铁杉针阔混交林幼树更新的影响[J]. 生态学报, 2022, 42(6): 2357-2367.

## Quantitative Characteristics of the Seeds and Seedlings of *Delavaya toxocarpa* in Different Microtopography of Karst Rocky Desertification Area in Southwest Guangxi

LÜ Shihong, LI Xiangqin, PAN Yumei, TANG Saichun, ZENG Danjuan, WEI Chunqiang

(Guangxi Key Laboratory of Plant Conservation and Restoration Ecology in Karst Terrain, Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and Chinese Academy of Sciences, Guilin, Guangxi, 541006, China)

**Abstract:** In order to investigate the influence of microtopography on the distribution pattern of *Delavaya toxocarpa* seeds and seedlings, we applied plot method in Longhe Karst Ecological Reconstruction Demonstration Zone in Pingguo by determining the seed density, seed survival rate, seedling density and seedling age structure of *D. toxocarpa*. The results show that there were five types of microtopography in *D. toxocarpa* community, namely in term of stony surface, small flat, stony ditch, rocky nest and stony crevice. The average levels of seed density, seed survival rate and seedling density in each microtopography were 4.97 – 212.28 seedling · m<sup>-2</sup>, 35.7% – 76.5% and 0.09 – 44.85 seedling · m<sup>-2</sup>, respectively. While seed density and seedling density were significantly less in the stone surface than those in the other four microtopographies, and seed viability was significantly lower than in the small flat, stony ditch, and rocky nests. Proportion of 1-year-old, 2-year-old, and over 3-year-old seedlings of *D. toxocarpa* was 84.44% – 100.00%, 0.00% – 15.38% and 0.00% – 2.22%, respectively, among which the overall survival rate of over 3-year-old seedlings was less than 1.0%. In conclusion, in the *D. toxocarpa* community in the rocky desertification mountainous area of southwestern Guangxi, the seed density, seed survival rate and seedling density are obviously affected by microtopography, with low survival rate of perennial seedlings and poor understory renewal ability, and its community management can take measures such as canopy thinning and forest gap removal to improve the micro-environment and promote seedling growth and population renewal.

**Key words:** rocky desertification; microtopography; *Delavaya toxocarpa*; seed; seedling; quantitative characteristics

责任编辑: 唐淑芬