

---

# 喀斯特与非喀斯特区域天然马尾松林碳储量差异研究——以麻江县和雷山县为例<sup>\*1</sup>

王洪波<sup>1</sup> 牟智慧<sup>2</sup>

(1 贵州师范大学, 贵州贵阳 550001;

2 贵州省水土保持监测站, 贵州贵阳 550002)

**【摘要】**:本研究探讨了不同土壤(喀斯特与非喀斯特)、不同龄组、不同立地条件(土壤厚度)天然马尾松林生态系统碳储量空间分布特征和分配规律,进而对比分析了贵州省喀斯特与非喀斯特区域天然马尾松林碳储量时空分布差异及其影响因子;同时通过实际调查,证实了土壤酸碱性是影响喀斯特区域与非喀斯特区域马尾松林生长的最重要因素。马尾松作为酸性植被,在砂页岩、页岩发育的酸性土壤中能较好较快生长,反之在石灰岩发育的碱性钙质土上生长较慢。因此,在林业生产经营中,应充分尊重植被生长特性,因地制宜,在符合生长规律的前提下,更有利于提高经营效率。

**【关键词】**:喀斯特, 非喀斯特, 天然马尾松林, 碳储量

**【中图分类号】**:S718.56 **【文献标识码】**:A **【文章编号】**:1003-6563(2017)03-0048-06

## 1 研究区概况

### 1.1 麻江县概况

麻江县位于贵州省中部,黔东南苗族侗族自治州西部,地处云贵高原向湘桂丘陵过渡的斜坡地带,辖区内地貌形态以中山、低山为主。属黔中亚热带季风湿润气候区,具有冬少严寒、夏无酷暑、水热同季、雨量充沛、阴雨日多、日照少、无霜期长的特点。据第二次土壤普查资料,全县土壤共分为6个土类(山地黄棕壤、黄壤、石灰土、紫色土、潮土、水稻土),17个亚类,38个土属、91个土种,其中属地带性土壤的有山地黄棕壤、黄壤两类,非地带性土壤有石灰土、紫色土、潮土、水稻土四类。

### 1.2 雷山县概况

雷山县位于贵州省黔东南苗族侗族自治州西南部,处于云贵高原东南部苗岭山脉雷公山山区,地势北高南低,东高西低。气候属于亚热带湿润季风气候区,冬无严寒,夏无酷暑,四季分明,雨热同季。自然土类有黄红壤、黄壤、黄棕壤、山地灌丛草甸土等。可分为7类、17个亚类、33个土属、745个土种。

---

<sup>1</sup>收稿日期:2016-12-21; 修回日期:2017-01-02

作者简介:王洪波(1988-),男,河北保定人,在读硕士,研究方向:景观生态学。

## 2 研究内容及方法

### 2.1 研究内容

通过对喀斯特与非喀斯特区域天然马尾松林分龄组交叉对比乔木层、灌木层、草本层、凋落物层、土壤层碳储量时间、空间分布差异及变化曲线，分析喀斯特与非喀斯特区域天然马尾松林生长状况及影响因子。

### 2.2 技术路线

通过分析“贵州省第四次森林资源规划设计调查”（简称“二调”）等林业调查数据，确定两区域不同龄组天然马尾松林小班样地，通过马尾松材积—碳转换率，确定乔木层碳储量；通过样地调查，采用收获法精确测定灌木层、草本层、凋落物层、土壤层等碳库的碳储量，用 ArcGIS、EXCEL 等进行统计分析，得出两区域不同龄组天然马尾松林碳储量分布情况，技术路线详见图 1。

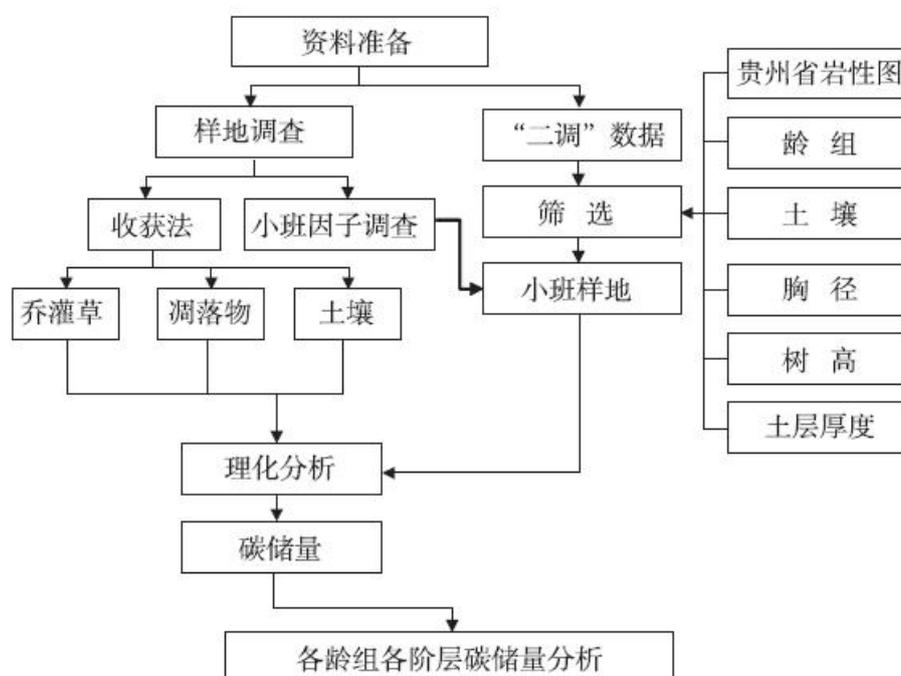


图 1 技术路线图

Fig. 1 Technical route

## 3 数据源与预处理

### 3.1 遥感数据

采用贵州省林业厅 2015 年“二调”下发的最新 ZY-3 假彩色卫星影像，成像时间 2015 年 8 月 13 号，分辨率 2.5m。经过几何校正、光谱校正、裁边处理等预处理，达到使用要求。

### 3.2 样地数据

根据 1.3.2 确定调查样地，分布情况详见表 1、表 2、图 2、图 3。

表 1 喀斯特区域天然马尾松林样地信息表

Tab. 1 Information of natural horsetail pine woods samples in karst area

样地号	海拔	平均年龄	株数	龄组	平均胸径	平均树高	灌木覆盖度	草本覆盖度	土壤名称	土层厚度	横坐标	纵坐标
1	895	10	30	幼龄林	10.6	6.8	50	30	石灰土	55	173753	2932086
2	935	25	33	中龄林	12.5	11.1	50	40	石灰土	60	166720	2936376
3	910	35	29	近熟林	17.9	14	55	40	石灰土	50	167651	2936371
4	910	45	18	成熟林	21.6	15.8	65	30	石灰土	50	167892	2935083

表 2 非喀斯特区域天然马尾松林样地信息表

Tab. 2 Information of natural horsetail pine woods samples in non-karst area

样地号	海拔	平均年龄	株数	龄组	平均胸径	平均树高	灌木覆盖度	草本覆盖度	土壤名称	土层厚度	横坐标	纵坐标
1	860	10	45	幼龄林	11.1	7.4	40	65	黄壤	55	173753	2932086
2	885	25	38	中龄林	16.6	13.8	50	60	黄壤	60	166720	2936376
3	870	35	39	近熟林	22.4	16.8	50	50	黄壤	50	167651	2936371
4	925	45	22	成熟林	31.5	19.3	65	70	黄壤	50	167892	2935083



图2 喀斯特区域样地分布图  
Fig. 2 Sample distribution in karst area

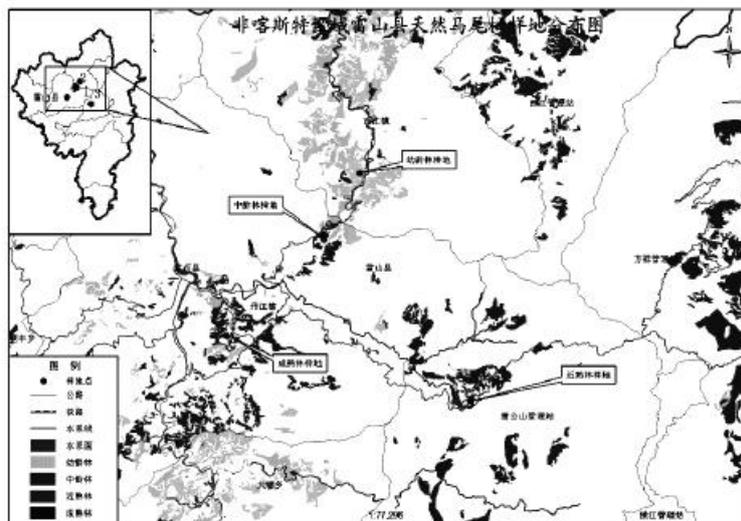


图3 非喀斯特区域样地分布图  
Fig. 3 Sample distribution in non-karst area

(1) 乔木层地上部分采集(验证)

通过罗盘定位,按照均匀分布的原则,在小班内选取有代表性的 20m×20m 范围作为乔木层样地,采用全林检尺法,在乔木层样地内检尺全部马尾松的胸径、树高,并编号记录在册。

(2) 乔木层地下部分采集

地下部分生物量的获取采用平均标准木机械布点法<sup>[1]</sup>。在对样地每株马尾松进行检尺的基础上,计算出平均胸径、平均树

---

高，用以确定标准木。根据要求，每个样地各选择1株标准木，要求其胸径及周边林分的密度尽可能与林分平均水平接近。然后沿平均标准木的上坡和下坡方向，距标准木基部的50cm处各选定1号和2号土柱样方，接着沿同一方向在树冠的垂直落水线处选定3号和4号土柱样方，每个土柱样方面积50cm×50cm，将土柱内的根系全部挖出并洗净后称鲜重。

### (3) 灌木层采集

在乔木层样地内按照“品”字型设置3个2m×2m的灌木层样方，调查灌丛植被的种类、株丛树、高度、地径、灌丛覆盖度等因子。采取全收获法，将2m×2m灌木层样方内所有灌丛叶、茎、根收割、打包、编号并贴好标签。

### (4) 草本层采集

在灌木层样方内各设置1个1m×1m的草本层样方，调查草丛的种类、株丛树、高度及草丛覆盖度等因子。采取全收获法，将1m×1m草本层样方内草本收割、打包、编号并贴好标签。

### (5) 凋落物层采集

在灌木层样方内各设置1个1m×1m的凋落物层样方，采取全收获法，收集凋落物层全部枯落物，打包、编号并贴好标签。

### (6) 土壤层采集

在每个样地中设定1个土壤取样点，挖掘50cm长，60cm深的土壤剖面。将土壤剖面按照0~20cm、20~40cm、40~60cm进行分层，分别在每层剖面收集两个土壤样品，每个300g。

## 3.3 其他数据

收集麻江县和雷山县土壤类型分布图、岩性分布图。并进行数字化扫描、几何校正、叠加处理，辅助喀斯特与非喀斯特样地小班的确定。

## 3.4 数据处理

### 3.4.1 乔木层地上部分碳储量

目前贵州省暂无天然马尾松林单株立木地上部分二元生物量模型，故利用天然马尾松林乔木层样地的调查数据，结合贵州省地方标准《人工马尾松单株立木地上部分二元生物量表》一般产区 $W=0.060685 \times (D^2 \times H^{0.87799})$ 估算地上部分生物量，其中W代表生物量，单位为kg；D代表胸径，单位为cm；H代表树高，单位为m。然后根据碳—生物量转化系数(0.5)将乔木层地上部分生物量转换为碳储量<sup>[2]</sup>。

### 3.4.2 乔木层地下部分碳储量

将乔木层样地采集的乔木层根系样品带回实验室，在80℃下烘干至恒重，以干料率计算根系生物量。乔木层地下部分单位面积生物量为所收集的4个土柱测定的根系生物量之和。

### 3.4.3 灌木层、草本层和凋落物层碳储量

---

将灌木层样地和草本层样地采集的数据带回实验室，在 80℃ 烘干至恒重，计算单位面积生物量。灌木层、草本层及凋落物层碳储量采用 0.45 的碳—生物量转化率<sup>[3]</sup> 计算。

#### 3.4.4 土壤层碳储量

将样地采集的土壤样品带回实验室，待样品风干后，研磨过 0.149mm 土壤筛，采用重铬酸钾—外加热法测定不同样地不同层次有机碳含量，并测定不同样地不同层次的土壤容重。

三层土壤有机碳储量 S 采用以容重  $d_i$ 、碳密度  $C_i$  及每层土壤厚度  $D_i$  进行计算，公式：

$$S = \sum (d_i \times C_i \times D_i) \quad [4]$$

其中  $i$  为土壤层次。

## 4 天然马尾松林碳储量结果与分析

### 4.1 麻江县天然马尾松林碳储量分布情况

通过外业样方调查及内业数据处理，借助 Excel 等得到麻江县天然马尾松林碳储量，如表 3 和表 4。

表3 不同龄组天然马尾松林土壤有机碳含量和碳储量分布  
 Tab.3 Soil organic carbon content and carbon distribution of natural horsetail pine woods of different age groups

林龄/a	土壤层/cm	土壤容重 (g/cm <sup>3</sup> )	有机C含量 (g/kg)	C储量 (t·hm <sup>-2</sup> )
幼龄林	0~20	0.93	11.16	20.76
	20~40	1.00	9.73	19.46
	40~60	1.04	6.17	12.83
	合计		27.07	53.05
中龄林	0~20	0.98	14.69	28.79
	20~40	1.05	11.79	24.76
	40~60	1.15	9.25	21.28
	合计		35.68	74.83
近熟林	0~20	0.83	24.35	40.42
	20~40	0.96	12.17	23.37
	40~60	1.09	11.03	24.05
	合计		47.55	87.83
成熟林	0~20	0.61	28.82	38.62
	20~40	0.97	18.99	36.84
	40~60	1.12	17.24	35.16
	合计		65.05	110.62

表4 不同龄组天然马尾松林各层次碳储量(t·hm<sup>-2</sup>)  
 Tab.4 Carbon storage of different levels of natural horsetail pine woods of different age groups

林龄/a	地上碳储量				地下碳储量			土壤层	总量
	乔木层	灌木层	草本层	凋落物层	乔木层根系	灌木层根系	草本层根系		
幼龄林	13.76	0.25	0.31	0.94	2.34	0.19	0.25	53.05	71.09
中龄林	32.38	0.27	0.38	1.35	5.38	0.22	0.34	74.83	115.15
近熟林	71.52	0.80	0.33	2.54	10.61	0.55	0.31	87.83	174.49
成熟林	71.87	1.33	0.28	2.65	11.29	0.87	0.22	110.62	199.13
合计	2.65	1.3	7.48	29.62	1.83	1.12	326.33	559.86	189.53

4.2 雷山县天然马尾松林碳储量分布情况

通过外业样方调查及内业数据处理，借助 Excel 等得到麻江县天然马尾松碳储量，如表 5 和表 6。

表 5 不同龄组天然马尾松林土壤有机碳含量和碳储量分布

Tab. 5 Soil organic carbon content and carbon distribution of natural horsetail pine woods of different age groups

林龄/a	土壤层/cm	土壤容重 (g/cm <sup>3</sup> )	有机 C 含量 (g/kg)	C 储量 (t·hm <sup>-2</sup> )
幼龄林	0~20	0.98	14.0715	27.58
	20~40	1.11	12.7449	28.29
	40~60	1.06	7.9178	16.79
	合计		34.7342	72.66
中龄林	0~20	0.97	25.0830	48.66
	20~40	1.22	24.4111	59.56
	40~60	1.1	18.7610	41.27
	合计		68.2551	149.50
近熟林	0~20	0.91	30.9565	56.34
	20~40	0.99	28.0360	55.51
	40~60	1.03	27.3869	56.42
	合计		86.3794	168.27
成熟林	0~20	0.69	57.7625	79.71
	20~40	0.9	38.7162	69.69
	40~60	1.18	19.9953	47.19
	合计	2.77	116.4740	196.59

表 6 不同龄组天然马尾松林各层次碳储量 (t·hm<sup>-2</sup>)

Tab. 6 Carbon storage of different levels of natural horsetail pine woods of different age groups (t·hm<sup>-2</sup>)

林龄 /a	地上碳储量				地下碳储量			土壤层	总量
	乔木层	灌木层	草本层	凋落物层	乔木层 根系	灌木层 根系	草本层 根系		
幼龄林	24.36	0.21	0.29	0.80	4.87	0.15	0.26	72.66	103.6
中龄林	79.56	0.28	0.33	1.41	13.55	0.21	0.30	149.50	245.14
近熟林	176.77	0.76	0.37	2.12	25.89	0.59	0.30	168.27	375.07
成熟林	222.72	1.42	0.31	2.85	38.31	0.92	0.27	196.59	463.39
合计	503.41	2.67	1.3	7.18	82.62	1.87	1.13	587.02	1187.2

#### 4.3 喀斯特与非喀斯特区域天然马尾松林碳储量分析与对比

#### 4.3.1 两区域天然马尾松林同龄组碳储量对比分析

喀斯特区域和非喀斯特区域天然马尾松林碳储量分布差异明显，从幼龄林到成熟林，非喀斯特区域碳储量明显高于各对应龄组的喀斯特区域，并呈现差距随着龄组增加而逐渐增大的趋势，如喀斯特区域相比非喀斯特区域，幼龄林碳储量少  $32.51\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ，喀斯特区域占到非喀斯特区域的 68.62%；到成熟林，碳储量则少了  $264.26\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ，喀斯特区域则只占到非喀斯特区域的 42.97%，差异明显加大。具体见表 4、表 6 及图 4。

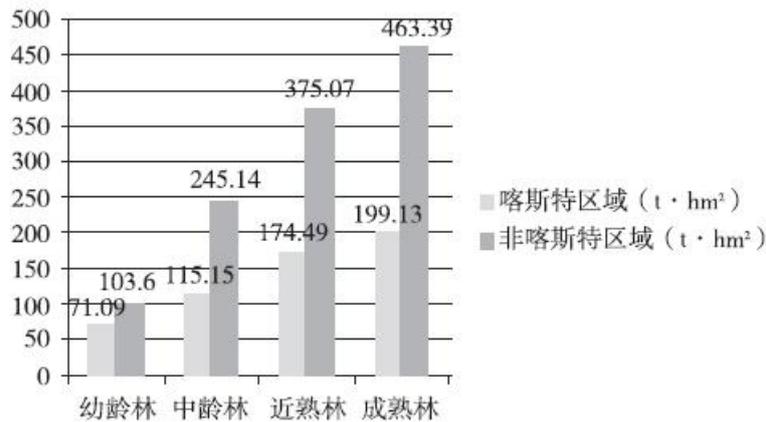


图 4 两区域天然马尾松林同龄组碳储量分布情况

Fig. 4 Carbon distribution of natural horsetail pine woods of the same age group in karst and non - karst areas

#### 4.3.2 两区域天然马尾松林同阶层碳储量对比分析

由表 4、表 6 及图 5 可见，喀斯特区域和非喀斯特区域在乔木层地上、乔木层根系、土壤层三个层次碳储量差异较大，且喀斯特区域均明显低于非喀斯特区域，具体表现为：喀斯特区域相比非喀斯特区域，乔木层地上碳储量少  $313.88\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ，喀斯特区域占非喀斯特区域的 37.65%；乔木层根系碳储量少  $53\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ，喀斯特区域占非喀斯特区域的 35.85%；土壤层碳储量少  $260.69\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ，喀斯特区域占非喀斯特区域的 55.59%。灌木层地上、灌木层根系、草本层地上、草本层根系及凋落物层碳储量无明显差异。



图5 两区域天然马尾松林同阶层碳储量分布情况

Fig. 5 Carbon distribution of natural horsetail pine woods of the same level in karst and non - karst areas

#### 4.3.3 两区域天然马尾松林碳储量按龄组变化趋势对比分析

喀斯特区域根据龄组的变化碳储量呈逐步增加的趋势，由幼龄林的  $71.09\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$  增加到成熟林的  $199.13\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，增加了  $128.04\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，平均增长率为  $32.01\%$ ；

非喀斯特区域根据龄组的变化碳储量亦呈逐步增加的趋势，由幼龄林的  $103.6\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$  增加到成熟林的  $463.39\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，增加了  $359.79\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，平均增长率为  $89.95\%$ 。

由上对比可知，非喀斯特区域相比喀斯特区域，碳储量增长趋势更明显更强劲，尤其在幼龄林到中龄林阶段，增长率高达  $136.62\%$ 。喀斯特区域的碳储量总体趋势也在持续增长，但增长速度则明显弱于非喀斯特区域，与本文喀斯特区域各龄组碳储量增长率和非喀斯特区域各龄组碳储量增长率研究结果相符。具体见表4、表6及图6、图7。

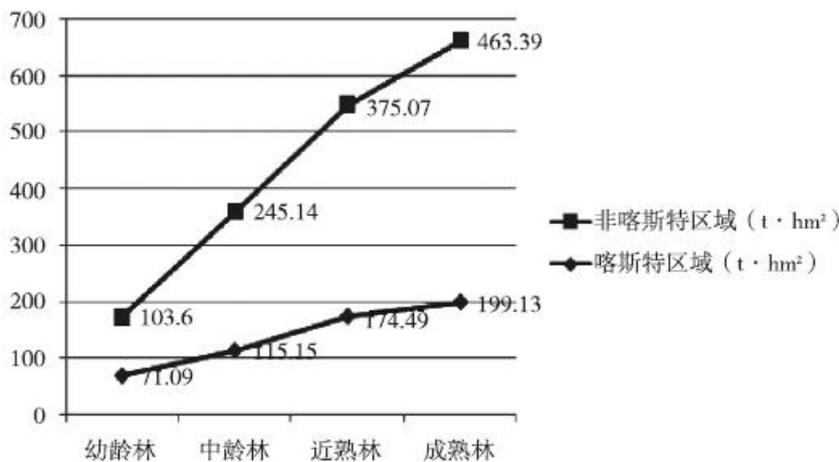


图6 两区域天然马尾松林碳储量按龄组变化趋势

Fig. 6 Change trend of carbon distribution of natural horsetail pine woods in karst and non-karst areas according to the age group

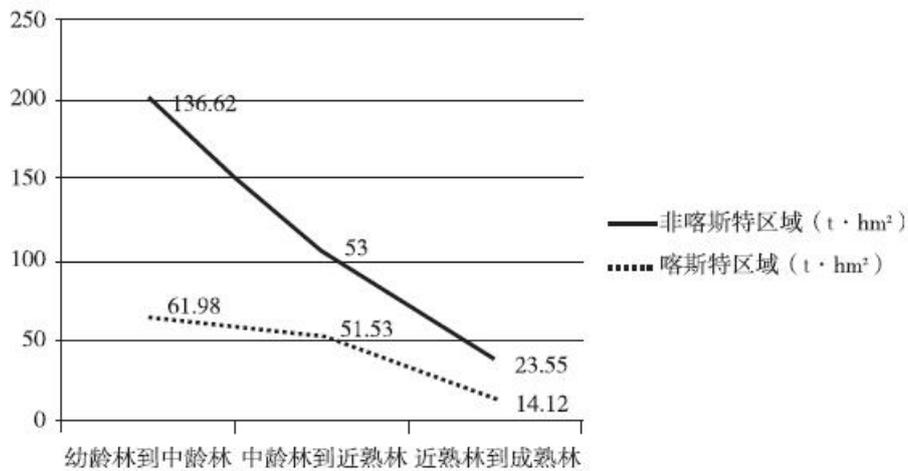


图7 两区域天然马尾松林碳储量按龄组增长率

Fig. 7 Growth rate of carbon storage of natural horsetail pine woods in karst and non-karst areas according to the age group

#### 4.4 喀斯特与非喀斯特区域天然马尾松林碳储量差异分布影响因子分析

##### 4.4.1 乔木层碳储量差异影响因子

###### (1) 土壤酸碱性

马尾松生性喜酸性环境，喀斯特区域由于碳酸盐的发育，土壤以呈弱碱性的石灰土居多，非喀斯特区域土壤多以页岩、砂页岩发育的呈弱碱性的黄壤为主，这是造成喀斯特与非喀斯特区域天然马尾松林在相同龄组、相同水热条件、相同海拔情况下碳储量差异巨大的根本原因。

###### (2) 土层厚度

土层厚度是影响两区域天然马尾松林碳储量分布差异的另一因素，土层越厚，越有利于土壤中养分的循环利用。

##### 4.4.2 土壤层碳储量差异影响因子

土壤层碳储量反过来受植被层的影响，植被生长越好，则通过植被光合作用输送到土壤中的有机碳则越多，与植被层形成互补优势，非喀斯特区域天然马尾松林乔木层植被明显优于喀斯特区域。

##### 4.4.3 灌木层碳储量差异影响因子

喀斯特区域与非喀斯特区域灌木层有着各自的特点，喀斯特区域多生长碱性灌丛植被，如月月青、火棘、小果蔷薇、悬钩子、烟管荚迷、盐肤木、马桑、云贵鹅耳枥；非喀斯特区域多生长酸性灌丛植被，如茅栗、櫟木、山茶、油茶、小果南烛、算盘子。

灌丛植被均为纯天然生植被，因此多符合土壤酸碱特性，酸性土壤多以酸性灌丛植被为主，碱性土壤多以碱性灌丛植被为主，故喀斯特与非喀斯特区域灌丛植被碳储量差异不大；但同一区域幼龄林到成熟林，灌丛植被碳储量呈逐步增加的趋势，主要是因为灌丛植被多以多年生为主，随着马尾松林龄组的变化，灌丛植被碳储量得到亦积累。

#### 4.4.4 草本层碳储量差异影响因子

喀斯特区域与非喀斯特区域草本层有着各自的特点，喀斯特区域多生长碱性灌丛植被，如白茅、贯众、细柄草、扭黄茅、苎草、地瓜藤、青蒿；非喀斯特区域多生长酸性草植被，如白茅、狗脊、乌蕨、铁芒萁、蕨、紫萁、芒。

草植被均为天然生植被，因此多符合土壤酸碱特性，酸性土壤多以酸性草植被为主，碱性土壤多以碱性草植被为主，故喀斯特与非喀斯特区域草植被碳储量差异不大；同一区域天然马尾松从幼龄林到成熟林，草植被碳储量并没有像乔木层植被和灌丛植被呈逐步增加趋势，而是基本趋于平稳，主要是因为草植被多以一年生为主，秋冬基本枯落，以凋落物形式还于生态系统。因此随着马尾松林龄组的变化，草植被碳储量并没有明显变化。

#### 4.4.5 凋落物层碳储量差异影响因子

凋落物层碳储量主要源于林上植被的枯枝落叶，喀斯特区域与非喀斯特区域乔木层天然马尾松均为多年生常绿针叶林，并非凋落物层碳储量主要来源，凋落物的主要来源是落叶灌丛植被及灌草植被，但其生物量及碳储量差异也并不大，因此导致两区域凋落物的碳储量差异较小。

## 5 结论与讨论

本研究探讨了不同土壤(喀斯特与非喀斯特)、不同龄组、不同立地条件(土壤厚度)天然马尾松林生态系统碳储量空间分布特征和分配规律，进而对比分析了贵州省喀斯特与非喀斯特区域天然马尾松林碳储量时空分布差异及其影响因子；同时通过实际调查，证实了土壤酸碱性是影响喀斯特区域与非喀斯特区域马尾松林生长的最重要因素。马尾松作为酸性植被，在砂页岩、页岩发育的酸性土壤中能较好较快生长，反之在石灰岩发育的碱性钙质土上生长较慢。因此，在林业生产经营中，应充分尊重植被生长特性，因地制宜，在符合生长规律的前提下栽种，更有利于提高经营效率。

### 参考文献【REFERENCES】

[1] 杨丽焜, 罗天祥, 吴松涛. 长白山原始阔叶红松林不同演替阶段地下生物量与碳、氮贮量的比较 [J]. 应用生态学报, 2005, 16(7) : 1195-1199.

YANG L Y, LUO T X, WU S T . Root biomass and underground C and N storage of primitive Korean pine and broad-leaved climax forest in Changbai Mountains at its different succession stages [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(7) : 1195-1199.

[2] Costa P M, 王效科. 能够固定碳的热带林业时间: 综述和东南亚案例研究 [J]. AMBIO, 1996, 25(4) : 279-283.

[3] 夏婧. 贵州不同林龄华山松人工林生态系统碳储量 [J]. 贵州林业科技, 2015, 43(2) : 6-9.

XIA Q. Carbon storage of pinus armandii franch plantation at different stand ages [J]. Guizhou Forestry Science and Technology, 2015, 43(2) : 6-9.

---

[4] 甘桂春, 王伟, 王晓宁, 等. 贵州南部桉树人工林生物量及碳储量研究 [J]. 林业调查规划, 2016, 41(2) : 34-37.

GAN G C, WANG W, WANG X N, et al. Biomass and carbon storage of eucalyptus artificial stand [J]. Forest Inventory and Planning, 2016, 41(2) : 34-37.