

# 宁夏贺兰山森林土壤碳储量调查评估技术研究

孙浩然

宁夏回族自治区贺兰山国家级自然保护区管理局 宁夏 银川 750001

**摘要:** 为探究宁夏贺兰山森林土壤碳储量,借助GIS技术以及使用系统抽样方法,对贺兰山青海云杉林、油松林、灰榆林和山杨林总碳储量进行调查,结合SPSS 23.0软件的数据分析,揭示宁夏贺兰山不同森林群落土壤碳储量的总体特征、差异及影响因素。结果显示,不同林分间土壤碳储量存在显著差异,其中青海云杉林( $276.72t \cdot hm^{-2}$ )和油松林( $189.82t \cdot hm^{-2}$ )土壤碳储量较高,而灰榆林( $61.84t \cdot hm^{-2}$ )和山杨林( $215.15t \cdot hm^{-2}$ )相对较低。该发现为宁夏贺兰山地区森林生态系统的碳汇功能评估提供了科学依据,对于制定针对性的生态保护和恢复策略具有重要意义。

**关键词:** 贺兰山; 森林; 土壤碳储量; 调查评估

**引言:** 在全球气候变化加剧的背景下,森林碳汇功能备受关注。森林土壤作为森林生态系统的重要组成部分,不仅能够维持森林生态系统的稳定性,同时还能够促进全球碳循环。宁夏贺兰山作为我国西北地区的重要生态屏障,合理保护与利用其森林资源,对于维护区域生态平衡,推动经济社会发展有着积极作用<sup>[1]</sup>。基于此,对贺兰山森林土壤碳储量进行调查评估,不仅有助于了解该地区森林土壤碳储量的现状和分布特征,还能为制定科学合理的森林资源管理措施提供数据支持。

## 1 森林土壤碳储量调查技术

在宁夏贺兰山森林土壤碳储量的调查评估中,首先,借助GIS(地理信息系统)技术,精准地规划覆盖整个贺兰山森林区域的土壤样地网络,以确保样地的代表性,提高调查效率。其次,使用系统抽样方法,选择具有代表性的土壤样地,通过野外勘测手段,详细记录了样地的地形、植被、土壤性质等关键信息。随后,利用专业的采样工具,进行精确的样本采集,确保样本能够真实反映土壤碳储量的状况。最后,在实验室处理阶段,样品首先经过75°C的恒温干燥处理直至达到恒重状态,随后测定其干重,并据此计算出干湿比,进一步确定单株干重。接着,样品会被精细粉碎并通过60m筛,以准备进行有机碳含量的测定。而土壤样品则会在105°C下进行烘干直至恒重,再经过研磨并通过100目筛,最终采用重铬酸钾外加热法来进行有机碳含量的精准测定<sup>[2]</sup>。

## 2 森林土壤碳储量评估方法

### 2.1 林木碳储量评估

林木碳储量的估算基于林分细致调查,首先通过公式(1)计算出样地的平均胸径面积(S),接着利用公式(2)确定等效标准树的数量(N),最后根据标准树

的碳储量来推算出整个林分的碳储量(Ct)<sup>[3]</sup>。具体步骤如下所示:

$$S = \sum_{i=1}^n \pi \left(\frac{d_i}{2}\right)^2 \quad (1)$$

$$N = S / \pi \left(\frac{d'}{2}\right)^2 \quad (2)$$

$$Ct = N * V / A \quad (3)$$

上述公式中,公式(1)中S表示林木总胸径面积;d表示林木胸径;n表示调查总数。公式(2)中,N表示等价标准株数;d'表示标准株胸径。公式(3)中Ct表示林木碳储量;V表示标准株碳储量;A表示调查面积。

### 2.2 林分碳储量评估

在林分碳储量评估中,主要由三个参数决定,分别为:植被类型、植物含碳量、生物量<sup>[4]</sup>。计算公式如下:

$$Vc = \sum_{i=2}^n (Si * Ri * Bi) \quad (4)$$

式中,Si表示植被类型;Ri表示植物含碳量;Bi表示生物量。

### 2.3 土壤碳储量评估

土壤碳储量的评估涉及多个参数,包括土壤有机碳的浓度、土壤的紧实度、土壤层的垂直范围以及土壤覆盖的总面积。按照公式(5)计算。

对于特定类型的土壤,其有机碳的累积量可以依据土壤有机碳的浓度、土壤的密度以及土壤层的厚度来进行计算。按照公式(6)计算。

$$SOC = \sum_{i=1}^n (hi * di * Ci) \quad (5)$$

$$Sc = \sum_{i=1}^n (Si * SOCi) \quad (6)$$

公式(5)(6)中,SOC表示某类型土壤中碳储

量;  $i$ 表示土壤层次;  $h_i$ 表示土壤深度;  $d_i$ 表示土壤密度;  $C_i$ 表示土壤有机碳含量;  $S_i$ 表示土壤面积。

#### 2.4 数据分析方法

使用SPSS 23.0软件对统计数据进行分析与回归性分析。

### 3 宁夏贺兰山森林土壤碳储量数据分析

#### 3.1 乔木层碳储量

对于碳储量的估算, 植被生物量起到了基础性的作用。而林分的碳储量, 实际上是通过考量不同器官的生物量及其对应的碳含量来计算的。在本次研究中, 主要聚焦于贺兰山的几种主要乔木, 包括青海云杉、油松、山杨和灰榆, 并进行详细的碳储量分析。其碳储量数据具体如下:

不同乔木群落展现出显著的碳储量差异。青海云杉林的碳储量位居榜首, 高达 $85.12\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 其次是油松林, 为 $74.78\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 再次为山杨林 $65.19\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 而灰榆林的碳储量则明显偏低, 仅为 $7.82\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。山杨林的高碳储量主要得益于其与青海云杉和油松的混交, 进而提升了整体的碳储量累积。四大林分中, 青海云杉、油松、灰榆和山杨的地上碳储量分别为 $68.69\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $61.6\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $5.92\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $52.26\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 分别占据了各自林分总碳储量的80.03%、81.48%、67.48%和79.39%。至于地下根系的碳储量占比, 则分别为17.77%、16.32%、30.32%和18.41%。从树种层面分析, 针叶树种中的青海云杉和油松展现出较高的碳储量, 分别为 $85.12\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $67.06\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。相对而言, 落叶阔叶树种灰榆和山杨的碳储量则较低, 数值分别为 $7.82\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $12.67\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。在油松混交林中, 油松、青海云杉和杜松的碳储量分布占比分别为88.73%、5.98%和4.09%。而在山杨林中, 山杨、青海云杉和油松的碳储量则分别占据了整个林分碳储量的19.67%、48.82%和28.21%。

#### 3.2 灌木层及地被层碳储量

在针对贺兰山青海云杉林、油松林、灰榆林和山杨林四种森林生态系统的详细考察中, 发现灌木层作为碳储量的一个重要组成部分, 其碳储量数据分别为 $1.381\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $5.176\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $0.107\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $2.097\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。进一步分析发现, 在上述林分的地上生物量中, 碳储量占据显著的主导地位, 其比例分别为73.26%、61.59%、70.52%和71.23%。该数据不仅体现出地上生物量在森林生态系统碳储存中的重要角色, 也反映出不同林分间地上碳储量的相对稳定性。

此外, 森林中的枯落物层, 作为土壤碳库的关键组成部分, 其碳储量对土壤肥力的维持和生态循环的推

动具有极其重要的影响。枯落物层不仅通过分解过程向土壤提供有机物质, 还参与土壤微生物的代谢活动, 进而影响土壤的物理、化学和生物性质。同时, 研究关注地被层, 地被层主要由枯枝落叶、松果、草本等丰富的地表覆盖物以及草本的根系结构构成。在地被层的碳储量方面, 数据表明青海云杉林、油松林、灰榆林和山杨林的地被层碳储量分别为 $12.999\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $21.337\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $1.918\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $6.964\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。值得注意的是, 上述碳储量中, 地下部分的碳储量占据主导地位, 其占比分别为62.81%、57.99%、82.97%和48.10%。

#### 3.3 不同林分植被碳储量

在评估宁夏贺兰山青海云杉林、油松林、灰榆林和山杨林的碳储量时, 数据显示其碳储量分别达到了 $100.31\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $100.80\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $11.79\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $85.18\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。其中, 云杉林和油松林的碳储量显著, 位列前两位, 山杨林紧随其后, 灰榆林则相对较低。进一步分析山杨林较高的碳储量, 发现与其混交油松和云杉有关。

深入探索各林分的碳储量构成, 乔木层占据核心地位, 其碳储量占比依次为84.98%、73.78%、73.61%和86.10%。相比之下, 灌木层的碳储量则较少, 分别为1.57%、4.91%、0.89%和2.58%。地被层的碳储量则位于两者之间, 具体为12.45%、20.11%、23.31%和9.85%。从整体上看, 碳储量的分布格局呈现出乔木层最为丰富, 地被层次之, 灌木层相对较少的特征。

### 4 宁夏贺兰山森林土壤碳储量评估结果

#### 4.1 土壤碳储量总体特征

宁夏贺兰山地区四个主要森林群落的总森林土壤碳储量分别为: 青海云杉林 $276.72\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、油松林 $189.82\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、灰榆林 $61.84\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和山杨林 $215.15\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。从总体上看, 四个森林群落的土壤碳储量呈现出一定的差异, 其中青海云杉林和油松林的土壤碳储量较高, 灰榆林和山杨林相对较低。

#### 4.2 不同森林群落土壤碳储量比较

(1) 青海云杉林: 青海云杉林是宁夏贺兰山地区的主要森林类型之一, 其土壤碳储量最高( $276.72\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )。经分析, 其可能与青海云杉林的树种特性、林分结构以及生长环境等因素有关。青海云杉作为一种针叶树种, 其根系发达, 有利于土壤有机质的积累和保持<sup>[5]</sup>。并且, 青海云杉林通常具有较高的生物量和较大的郁闭度, 此类因素都有利于土壤碳的积累和固定。

(2) 油松林: 油松林是另一种在宁夏贺兰山地区广泛分布的森林类型, 其土壤碳储量也较高( $189.82\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )。油松林的土壤碳储量与青海云杉林相近, 但略低于后

者。其与油松林的树种特性、林分结构以及生长环境等因素的差异有关。油松与青海云杉在根系上均较为发达,但是在郁闭度上,要低于青海云杉,此原因是导致油松林总碳储量低于青海云杉林的主要原因。

(3) 灰榆林:灰榆林在宁夏贺兰山地区的分布相对较少,其土壤碳储量也较低( $61.84\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ )。该较低的土壤碳储量可能与灰榆林树种本身的生物学特性紧密相关。灰榆作为一种阔叶树种,其根系结构可能相对不够发达,限制其从深层土壤中获取和固定有机碳的能力。灰榆林的林分结构,如树木密度、冠层结构等,也可能对土壤碳的积累和分布产生影响。除此以外,灰榆林多生长在较为干旱或养分贫瘠的环境中,此类环境因素同样会对其土壤碳储量产生显著的制约作用。

(4) 山杨林:山杨林在宁夏贺兰山地区的分布较为广泛,但其土壤碳储量相对较低( $61.84\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ )。山杨属阔叶树种,其土壤碳储量较低的原因可能与灰榆林相似。山杨树的根系结构可能同样限制了其从土壤中吸收和固定有机碳的能力。尽管如此,在灰榆林、山杨林总碳储量均高于全国平均水平,由此可见,宁夏贺兰山虽然地处西部干旱风沙区,但其森林土壤有机碳储量较为丰厚,是不可忽视的碳库。

#### 4.3 土壤碳储量影响因素分析

在宁夏贺兰山的深处,青海云杉林展现出独特的生态特征。经调查发现,上坡区域的云杉林在冠幅、胸径和郁闭度上,都显著优于中坡和下坡。而下坡的云杉林则因地势原因,林木分布较为稀疏,阳光能够轻易地穿透林间,为该区域带来了充足的光照。上坡的云杉林之所以总碳储量较多,与其所处的环境有着密不可分的关系。首先,上坡区域的水分条件明显优于中坡和下坡,为云杉的根系的生长提供了坚实的基础。同时,随着海拔的升高,温度逐渐降低,上坡区域的低温环境使得土壤有机碳增加,并且在较低温度下,土壤含水量增加,

致使上坡的云杉林能够更有效地限制枯枝落叶层的分解,从而减少养分的流失。未被分解的枯枝落叶层,经过长时间的累积,形成厚厚的地被层和腐殖质层,为土壤提供了丰富的有机质来源。因此,上坡的云杉林在有机碳积累方面表现出色,土壤肥力较高。相比之下,中坡和下坡的云杉林则常常受到人为干扰的影响。此类区域更容易受到人类活动的侵扰,如砍伐、放牧等,导致植被盖度降低,土壤有机碳积累受到抑制。同时,由于中下坡的水分条件和温度条件相对较差,也不利于云杉的生长和土壤养分的积累。

结语:综上所述,通过对宁夏贺兰山森林土壤碳储量的调查评估研究,不仅揭示该地区森林碳储量的分布特征,还进一步分析其影响因素,为深入理解森林生态系统的碳循环过程提供了实证数据。本研究的成果不仅有助于评估宁夏贺兰山森林的碳汇功能,也为制定科学合理的森林保护和管理政策提供了有力支撑。未来,应进一步加强对该地区森林生态系统的监测和研究,以更好地保护和管理贺兰山的生态资源,促进区域生态安全和可持续发展。

#### 参考文献

- [1]孟喜悦,卢杰.全球气候变化下森林土壤碳汇研究进展[J].现代农业研究,2024,30(4):58-63.
- [2]于洪波,惠建平,白玉茹,等.喀喇沁旗旺业甸实验林场不同森林类型碳储量评估[J].内蒙古林业科技,2023,49(3):1-5.
- [3]史舸.宁夏湿地旅游区碳排放、碳汇测量与均衡[J].黑龙江环境通报,2024,37(2):11-15.
- [4]黄青东智,陈雪莹,石明明,etal.藏北高原草地生态系统碳储量及其影响因素[J].资源与生态学报(英文版),2023,14(5):893-902.
- [5]李畅,赵瑞斌,王福,等.广西滨海湿地现状及红树林湿地碳储量分析[J].华北地质,2022,45(3):29-35.