

# 湘西吉首石漠化地区碳储变化研究

肖 想, 廖先平, 罗忠行, 李望明\*

湖南省生态地质调查监测所, 湖南 长沙

收稿日期: 2024年8月14日; 录用日期: 2024年9月4日; 发布日期: 2024年9月13日

## 摘 要

通过对湘西吉首地区石漠化地区的碳储量变化进行分析, 探讨碳储量变化的影响因素和生态效应。本文通过野外调研与取样分析, 分析土壤物理性质及其中各相关元素储量, 运用Spss26.0软件对数据进行分析, 研究结果表明土壤因子、植被因素和人为活动都是影响石漠化地区碳储变化的重要因素。为了保护石漠化地区的生态环境和提高碳储量, 需要采取生态恢复、植被恢复、合理土壤管理和人为活动调控等措施。

## 关键词

湘西吉首, 石漠化, 碳储, 生态修复

# Study on the Change of Carbon Storage in the Rocky Desertification Area of Jishou, Western Hunan

Xiang Xiao, Xianping Liao, Zhongxing Luo, Wangming Li\*

Ecology Geological Survey and Monitoring Institute of Hunan Province, Changsha Hunan

Received: Aug. 14<sup>th</sup>, 2024; accepted: Sep. 4<sup>th</sup>, 2024; published: Sep. 13<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

By analyzing the changes in carbon storage in the rocky desertification area of Jishou, Xiangxi, this paper explores the influencing factors and ecological effects of carbon storage changes. This article analyzes the physical properties of soil and the storage of various related elements through field

\*通讯作者。

文章引用: 肖想, 廖先平, 罗忠行, 李望明. 湘西吉首石漠化地区碳储变化研究[J]. 地球科学前沿, 2024, 14(9): 1200-1208. DOI: 10.12677/ag.2024.149111

research and sampling analysis. Spss26.0 software is used to analyze the data. The research results show that soil factors, vegetation factors, and human activities are all important factors affecting carbon storage changes in rocky desertification areas. In order to protect the ecological environment of rocky desertification areas and increase carbon storage, measures such as ecological restoration, vegetation restoration, rational soil management, and human activity regulation need to be taken.

## Keywords

Jishou, Xiangxi, Rocky Desertification, Carbon Storage, Ecological Restoration

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

石漠化是土壤退化的恶性表现，一般发生在土壤厚度较薄的岩溶地区，地表的土壤因雨水、气候等原因导致土壤流失，使得表层岩石暴露，从而导致土地失去了原有的利用价值，生态环境不断恶化。这种现象在我省的西部地区尤为严重，这种现象对该地区的生态环境产生了深远的影响，不仅破坏了土地资源，还导致了水源的流失和生态系统的退化，引起了当地政府的高度重视。

本文通过对湘西吉首地区石漠化地区碳储量的变化进行深入研究，揭示该地区碳储量的分布特征、影响因素和演变趋势。这将有助于为该地区的生态恢复和土地利用提供科学依据，同时为全球气候变化研究提供重要参考。

## 2. 研究现状及进展

石漠化对生态环境的破坏力度不容小觑，它不仅破坏了土地资源，更进一步导致了水源的流失，严重影响和制约了当地生态环境的发展，随着植被锐利的减少，使得区域内的碳储量相应减少，而暴露的基岩在风化作用下也会影响区域内的碳储量。

全球气候变暖会使得土壤中的含水量降低[1]，土壤孔隙中的水分会影响土壤中的碳储量[2]，从而影响土壤中的二氧化碳含量，导致空气中二氧化碳增加进而加剧温室效应。

### 2.1. 湘西吉首地区的石漠化研究现状

近年来，石漠化问题在全球范围内引起了广泛关注，特别是我国湘西吉首地区。这一地区因其独特的地理环境、丰富的自然资源和脆弱的生态系统，使得石漠化问题尤为严重。因此，越来越多的学者开始将研究焦点投向了这个地区，旨在深入了解石漠化的形成机制、发展趋势和防治措施。学者们通过实地调查、遥感技术和 GIS 手段等，对土壤侵蚀的特征、程度和影响因素进行了详细分析和评价。娄方吉[3]运用遥感和 GIS 相结合的 MCE 评估法应用到石漠化评价中，改进了石漠化的评估管理方案。邱丽琼[4]、董妍妍[5]对石漠化地区植被的种类、分布、生长状况等进行了详细研究，探讨了植被恢复的关键因素和制约因素，为石漠化治理提供了科学依据。罗征鹏等[6]、张国等[7]等通过研究生态系统的功能、生物多样性的变化等，分析了生态修复的效果和可持续性，为石漠化治理提供了理论支持和实践指导。

## 2.2. 国内外碳储变化研究的进展和方法

随着全球气候变迁的日益严峻,学者们在国内外纷纷投入到碳储变化的研究中。通过文献调研,我们可以看到这一领域的研究呈现出丰富的进展和多样的方法。

首先,遥感技术在碳储变化研究中扮演着关键角色。以往的研究表明,遥感技术能够迅速、准确地获取地表信息,为碳储量的评估提供了重要的数据基础。例如, Li 等人(2018) [8]运用遥感技术对中国华北地区的碳储变化进行了研究,结果表明,遥感技术能够较为精确地估算出不同地区的碳储量。除此之外,遥感技术还能够跟踪土地利用变化和植被生长情况,为碳储变化的分析提供了重要数据支持 [9]。

其次, GIS 技术在碳储变化研究中也发挥着重要作用。过去的研究表明, GIS 技术可以对遥感数据进行空间分析和处理,生成碳储的分布图,为研究提供直观的视觉呈现。例如, Wang 等人(2019) [10]利用 GIS 技术对中国长江三角洲地区的碳储变化进行了模拟,结果显示, GIS 技术能够有效地预测碳储的动态变化。此外, GIS 技术还能够用于模型建立和仿真,为碳储变动的预测提供科学依据。

实地考察作为研究碳储变化的重要手段也备受重视。过去的研究表明,实地考察可以获取有关植被、土壤和地形的原始数据,为碳储估算和分析提供可靠数据基础 [11]。例如, Zhang 等人(2017) [12]通过实地考察发现,中国西南地区的森林碳储量受到土壤类型和降水量等因素的显著影响。此外,实地考察还有助于确认遥感数据和模型的准确性,增强研究成果的可信度。

## 3. 研究区域与数据方法

### 3.1. 研究区域概况

本文选取我国湖南省西部的湘西吉首地区作为研究对象。该地区属震旦系夹寒武系地层,会同-溆浦-石门一线的北西部分,属于扬子地层的区域,岩类主要是碳酸盐岩,含锰、磷等矿物。吉首属于凤凰-沅陵-石门一线北西位置,划为陡山沱组和灯影组,主要为浅海碳酸盐岩沉积,是湖南省典型的石漠化地区,具有显著的地貌特征和生态环境问题。

湘西吉首地区位于湖南省西部,地处东经 109°30'至 110°33',北纬 27°53'至 28°11'之间,约 2500 平方公里。该地区地貌以中低山、低山、峰丛为主,岩溶发育,海拔高度在 300~1500 米之间。属于亚热带湿润气候,较温和,季节区分度高、湿度大、雨水足的特点。充沛的降水和温暖湿润的气候为植被的生长提供了有利条件,使得该地区植被覆盖率较高。尽管湘西吉首地区气候温暖湿润,植被覆盖率较高,但由于人类活动和自然因素的共同作用,该地区的生态环境问题较为严重。通过实地调研工作,发现该地区的环境问题为:

- 1) 土壤侵蚀:天然的陡峭山坡和峰丛、集中性的大雨冲刷以及矿山的开采和土壤退化导致的植被破坏等原因,导致土壤侵蚀愈发严重。长期的积累加重了区域内生态环境的恶化。
- 2) 岩石裸露:天然的陡峭山坡和峰丛、土壤侵蚀和植被的大量减少,导致岩石愈发暴露。加剧了土地资源的浪费,还引发了部分地区的地质灾害,如滑坡、泥石流等。
- 3) 石漠化:石漠化的进一步恶化,给当地农业生产和居民生活带来了不小的麻烦,使当地居民和政府为了农业生产需要投入更多的精力和费用。

### 3.2. 数据采集与处理方法

本次碳储变化的数据采集通过前往吉首若干典型区域进行实地取样,将样品按照标准方法进行分析,获得数据后运用 Spss26.0 软件,对数据进行相关的分析统计。

本次研究共采土壤样品 31 件,样品采集位置如下图所示(图 1):

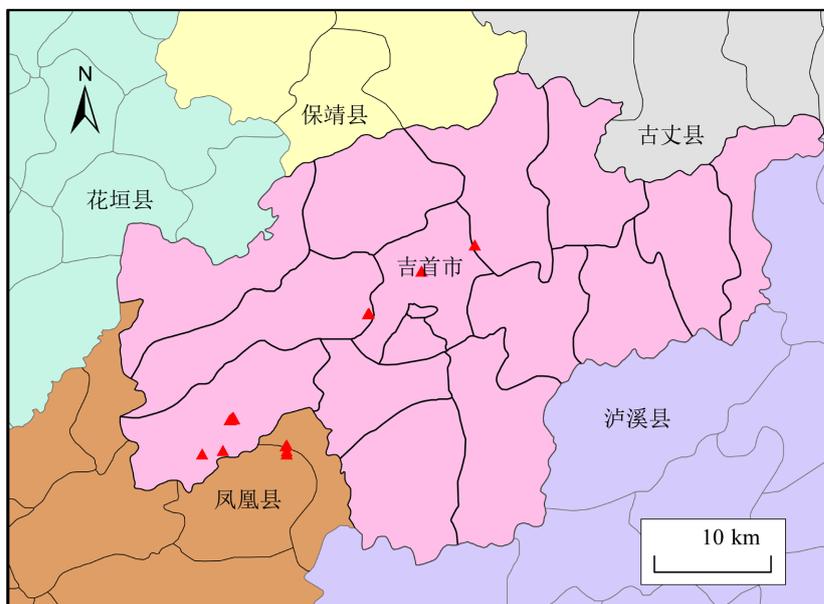


Figure 1. Sampling diagram  
图 1. 采样示意图

## 4. 石漠化地区碳储变化研究结果

### 4.1. 石漠化地区碳储量相关要素分析

通过对湘西地区取样点的研究勘查,发现近年来在湘西政府的努力下,植被覆盖率得到了大幅提升,但该地区的土壤层普遍较薄,不足 40 cm,最深不超过 70 cm,部分地区甚至不足 10 cm。该区地表的碳汇模式如图 2 所示。

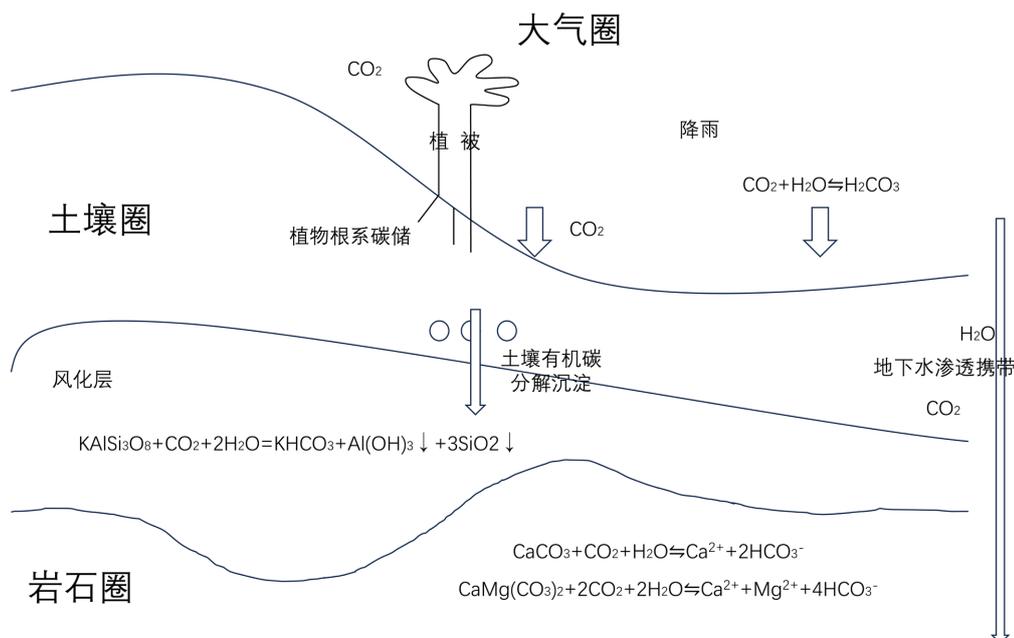


Figure 2. Geological carbon sink model in the study area  
图 2. 研究区地质碳汇模式

对区域内样品进行了有机质、有机碳、pH、电导率、全氮、全磷、钠、钾、钙、镁、硅、铁、铝进行了分析,结果表明虽然降雨将部分二氧化碳从空气中带入了土壤,但最终由于水的流动和地下水的运移作用,大部分无机碳中的碳元素以离子形态和气体二氧形态离开了土壤,而以有机碳形态存在土壤中的碳元素得以保留,而对应的有机碳多的区域其无机碳储量也更高。

#### 4.1.1. 碳储量分布特征

研究区内石漠化地区的碳储量分布依据区内的植被数量有明显的变化。结果表明碳储量在石漠化程度较低的地区较高,而在石漠化程度较高的地区较低,其次研究区内石漠化程度高的地区大都得到后天的人工干预,在一定程度上改善了碳储量。此外,碳储量的局部分部情况还受到地形、地貌、土壤类型、植被覆盖等因素的影响。

#### 4.1.2. 碳储量与石漠化程度的关系

石漠化程度是影响研究区内碳储量的主要因素。随着石漠化程度的加剧,土壤中的有机碳储量逐渐减少,从而导致总碳的降低。原因在于石漠化过程中,土壤侵蚀、岩石暴露和植被破坏等现象加剧,导致碳循环速度加快,碳储量降低。此外,石漠化程度较高的地区,土壤质量下降,团聚体稳定性降低,土壤孔隙度减少,不利于碳的储存和固定,一般含量在 5 g/kg 以内。

#### 4.1.3. 碳储量与土壤性质的关联

土壤的物理性质同样是影响碳在土壤中储量的关键因素之一。松软土质与紧密土质在碳储量上存在明显的差异。我们综合分析了土壤有机碳含量、土壤松紧度以及土壤的孔隙度等数据,发现与土壤中的总碳存在正相关关系。所以我们在生态修复的过程当中,可以综合选用不易板结的土壤来提高碳的储量。或者在日常维护中对土壤进行疏松打理,使其增加碳的储量。

#### 4.1.4. 碳储量对地区生态环境的影响

碳的储量对生态环境有着积极且重大的影响。碳储量的增加有利于提高地区生态环境的稳定性和抗扰动能力。碳储量较高的地区,生态系统服务功能较强,有利于减缓石漠化进程,提高植被覆盖度,促进土壤改良。反之,碳储量较低的地区,生态系统脆弱,容易受到人类活动和自然因素的干扰,加剧石漠化发展。我们在碳储量较高的地区往往能在土壤中发现更多有机生命或植被,而在碳储量较低的地区往往是砂石结构,松散、干燥。

#### 4.1.5. 植被修复对土壤全氮和有机碳含量的影响

氮素作为植物成长的重要因素,在植物生长的全过程发挥着重要的作用,土壤中的氮元素被植物吸收。土壤全氮是评价土壤肥力的重要指标之一,也是有效氮素的源和库,牛香等[13]-[15]。依据表 1 和表 2 的测试结果,吉首石漠化地区土壤全氮含量范围为 0.30 g/kg~3.55 g/kg,变异系数为 71%,表明吉首石漠化区域土壤全氮含量空间分布波动较大。不同程度的石漠化地区,土壤生产能力存在较大差异,且采取治理的石漠化地区相较于未治理地区也存在一定区别。

通过深入对石漠化治理区的土壤全氮数据进行分析,对植树造林不同年龄的石漠化土地全氮含量进行对比,通过对比植树 70 年、30 年、3 年和未进行植被修复石漠化区土壤全氮含量的平均值,可以研究植被修复对全氮含量,即对土壤生产能力是否存在作用(见表 3 所示)。

依据表 3 可知,相较于未进行修复的石漠化地区,植被修复后的土壤全氮含量有着显著提升,说明生态修复确实起到了提高土地全氮含量、提升土壤生产能力的作用,但 30 年到 70 年的全氮含量并无明显变化,可能是该治理条件下土壤全氮达到峰值,或可能是因为养分积累与消耗之间存在一个动态平衡过程随着植被恢复对土壤有机碳和全氮的消耗使土壤有机碳和全氮含量有一个降低的过程,有待后续进一步的研究。

**Table 1.** Test results of soil total nitrogen content**表 1.** 土壤全氮含量测试结果

样品编号	全氮(g/kg)
ST202308001-T-001	0.930
ST202308001-T-002	2.121
ST202308001-T-003	0.916
ST202308001-T-004	2.260
ST202308001-T-005	1.005
ST202308001-T-006	1.367
ST202308001-T-007	2.716
ST202308001-T-008	0.997
ST202308001-T-009	0.835
ST202308001-T-010	1.313
ST202308001-T-011	0.371
ST202308001-T-012	0.512
ST202308001-T-013	0.67
ST202308001-T-014	0.648
ST202308001-T-015	0.569
ST202308001-T-016	0.526
ST202308001-T-017	0.667
ST202308001-T-018	0.538
ST202308001-T-019	0.370
ST202308001-T-020	0.301
ST202308001-T-021	2.861
ST202308001-T-022	3.555
ST202308001-T-023	2.828
ST202308001-T-024	1.709
ST202308001-T-025	0.567
ST202308001-T-026	1.370
ST202308001-T-027	3.338
ST202308001-T-028	2.637
ST202308001-T-029	0.692
ST202308001-T-030	1.920
ST202308001-T-031	0.741

**Table 2.** Statistical analysis results of soil total nitrogen content in Jishou**表 2.** 吉首土壤全氮含量统计分析结果

指标	总平均值	标准差	最大值	最小值	变异系数
全氮 g/kg	1.36	0.97	3.56	0.31	0.71

**Table 3.** Statistical analysis results of soil total nitrogen content in different vegetation restoration years  
**表 3.** 不同植被修复年份下土壤全氮含量统计分析结果

修复年份	全氮 g/kg
70 年	3.00
30 年	3.09
3 年	1.22
未复绿	0.97

**Table 4.** Contents of organic matter and organic carbon in soil samples (unit: g/kg)  
**表 4.** 土壤样品有机质与有机碳含量(单位: g/kg)

样品编号	有机质	有机碳
ST202308001-T-001	7.67	4.45
ST202308001-T-002	40.31	23.39
ST202308001-T-003	13.61	7.90
ST202308001-T-004	40.71	23.62
ST202308001-T-005	15.31	8.88
ST202308001-T-006	22.41	13.00
ST202308001-T-007	47.71	27.65
ST202308001-T-008	14.91	8.65
ST202308001-T-009	13.01	7.55
ST202308001-T-010	18.11	10.51
ST202308001-T-011	3.33	1.94
ST202308001-T-012	8.51	4.94
ST202308001-T-013	16.01	9.29
ST202308001-T-014	11.01	6.39
ST202308001-T-015	6.29	3.65
ST202308001-T-016	5.44	3.16
ST202308001-T-017	9.02	5.24
ST202308001-T-018	1.91	1.11
ST202308001-T-019	3.72	2.16
ST202308001-T-020	2.97	1.73
ST202308001-T-021	57.91	33.59
ST202308001-T-022	70.71	41.02
ST202308001-T-023	56.61	32.84
ST202308001-T-024	32.11	18.63
ST202308001-T-025	7.25	4.21
ST202308001-T-026	26.31	15.27
ST202308001-T-027	97.01	56.27
ST202308001-T-028	54.41	31.56
ST202308001-T-029	12.61	7.32
ST202308001-T-030	5.83	3.39
ST202308001-T-031	15.31	8.88

土壤样品的有机质与有机碳含量如表 4 所示, 土壤有机质(SOM)是指通过微生物作用所形成的腐殖质、动植物残体和微生物体的合称, 其中的碳元素含量即为土壤有机碳(SOC)[16][17], 二者还存在换算关系, 即  $SOM = SOC \times 1.724$ 。土壤有机碳含量是衡量土壤碳汇的量化型指标, 其含量降低代表土壤中的有机碳转化为二氧化碳形成了碳源, 其含量升高代表土壤吸收了更多空气中的二氧化碳形成了碳汇。

**Table 5.** Statistical analysis results of soil organic matter and organic carbon

**表 5.** 土壤有机质与有机碳统计分析结果

指标	有机碳	有机质
	g/kg	
平均值	13.81	23.81
标准差	13.60	23.43
最大值	56.27	97.01
最小值	1.11	1.91
变异系数	0.98	0.98

从上表 5 可以看出, 有机碳含量的范围为 1.10 g/kg~56.26 g/kg, 有机质含量 1.90 g/kg~97.00 g/kg, 二者的变异系数都为 98%, 不同取样地之间的有机碳含量存在巨大的波动, 表明吉首不同地区石漠化程度有显著差异。

通过对湘西吉首地区石漠化地区的碳储进行估算和分析, 发现该地区碳储量呈现出一定的时空分布特征。从时间上看, 人类对自然环境的频繁活动会对研究区内的碳储量产生负面影响使其储量降低; 而在空间上, 农耕活动的区域对碳汇的影响不大, 基本处于平衡状态, 而修路和矿区导致碳储量出现不同程度的下降。

#### 4.2. 石漠化地区碳储变化的影响因素分析

通过以上对湘西吉首地区石漠化地区的研究, 发现该地区碳储变化的主要影响因素包括土壤因子、植被因素和人为活动等。其中土壤因子和植被因素对碳储量产生了一定的影响; 而人为活动是导致该地区石漠化的主要原因之一, 也对碳储产生了重要影响。

#### 4.3. 石漠化地区碳储变化的演变趋势

通过对湘西吉首地区石漠化地区的碳储变化的研究和分析, 发现该地区碳储变化的演变趋势呈现出逐渐增加的趋势。随着人类修复活动的增加和气候变化的影响, 该地区的碳储量将继续增加, 对生态系统的稳定性和生物多样性产生积极影响。

近年来湘西地区特别重视对石漠化地区的治理和保护, 人为不良活动大大减少, 与之相反的是增加了各类生态修复工程, 使全区的碳储量朝好的势态发展。

### 5. 结论与展望

本文通过前往吉首若干典型区域进行实地取样并测试分析结果, 对湘西吉首地区石漠化地区的碳储变化分析。同时, 本文从多个角度探讨碳储变化的影响因素和生态效应, 为该地区的生态恢复和土地利用提供科学依据。然而, 由于经费和工作时间的限制, 本次研究可能存在一定的局限和不足之处。

石漠化地区碳储的变化会对土地利用产生影响[18][19]。土壤有机碳的增加使土壤变得更加肥沃, 更适合种植, 有助于提高农作物的产量, 进而促进农业的发展。合理土壤管理是保护石漠化地区生态环境

和提高碳储量的重要措施之一。通过在生态修复的过程中改良区内的土壤,使土壤质量得到提升,在土地利用过程中合理施肥,避免化肥对土壤微生物的压制,增加土壤有机物活力。同时也可以通过控制水土流失、防止土壤退化等措施来保护土地资源和提高生态系统的稳定性。

通过对石漠化地区碳储变化的研究和分析可以得出以下结论:土壤因子(氮含量、土壤松紧度以及土壤的孔隙度)、植被因素与土壤中的总碳存在正相关关系,而人为活动都是影响研究区石漠化地区碳储变化的主要因素。

## 基金项目

湖南省地质院科技计划项目(The Science and Technology Program of Geological Institution of Hunan Province): 湖南湘西吉首石漠化地区地质碳汇潜力研究(湖南省典型地质碳汇潜力评价研究), 编号: HNGSTP202312 资助。

## 参考文献

- [1] 张一平, 白锦麟. 温度对土壤水势影响的研究[J]. 土壤学报, 1990, 27(4): 454-458.
- [2] 袁杰. 祁连山黑河源区土壤储碳蓄水能力及潜力研究[D]: [博士学位论文]. 西宁: 青海师范大学, 2024.
- [3] 娄方吉. 基于景观单元的喀斯特山区石漠化现状遥感定量评价与分析[D]: [硕士学位论文]. 贵阳: 贵州师范大学, 2016.
- [4] 邱丽琼. 湘西石漠化立地人工混交林林分空间结构特征及稳定性评价[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南林业科技大学, 2022.
- [5] 董妍妍. 武陵山石漠化地区人工混交林土壤性质空间异质性[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南林业科技大学, 2024.
- [6] 罗征鹏, 熊康宁, 许留兴. 生物土壤结皮生态修复功能研究及对石漠化治理的启示[J]. 水土保持研究, 2020, 27(1): 394-404.
- [7] 张国, 郑春燕, 李钰飞, 等. 喀斯特地区石漠化生态修复对土壤生物多样性的影响[J]. 生态学报, 2023, 43(1): 432-440.
- [8] Li, J., Zhang, C., Xu, M., Xiao, X. and Peng, D. (2018) Remote Sensing Estimation of Terrestrial Carbon Dynamics in North China from 2000 to 2010. *Remote Sensing*, **10**, Article No. 256.
- [9] Xiao, X., Zhang, G., Dong, J., Zhang, Y., Qin, Y., Kou, W. and Wang, J. (2020) Spatiotemporal Changes in Terrestrial Carbon Stocks under Afforestation: A Case Study of a Large-Scale Ecological Restoration Project in China. *Journal of Cleaner Production*, **246**, Article ID: 119035.
- [10] Wang, S., Sun, P., Wu, X., Xiong, Q., Yang, Z. and Liu, L. (2019) Spatial-Temporal Changes and Driving Forces of Terrestrial Carbon Storage in the Changjiang River Delta of China. *Journal of Geographical Sciences*, **29**, 412-430.
- [11] Zhang, Y., Xiao, X., Dong, J., Zhou, S., Qin, Y., Doughty, R.B. and Wang, J. (2017) An Assessment of the Factors Influencing the Accuracy of Forest Aboveground Biomass Estimation Using Landsat Time-Series and Elevation Data in China's Hubei Province. *Remote Sensing*, **9**, Article No. 772.
- [12] Zheng, X., Chen, J., Ge, Y., Li, Z., Wu, Z. and Chen, C. (2020) Evaluation of the LiDAR-Derived Vegetation Height for Characterizing Forest Carbon Stocks in China. *Forests*, **11**, Article No. 76. <https://doi.org/10.3390/f11121324>
- [13] 牛香. 兴安落叶松林下土壤氮素矿化速率动态变化及影响因素的研究[D]: [硕士学位论文]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2009.
- [14] 王若宁. 小黑杨中响应氮素的 Dof 转录因子基因的筛选和功能鉴定[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2018.
- [15] 于双. 不同恢复措施对荒漠草原土壤结构及碳氮特征的影响[D]: [硕士学位论文]. 银川: 宁夏大学, 2019.
- [16] 王宗林. 泉州湾河口湿地红树林土壤有机碳分布特征[D]: [硕士学位论文]. 镇江: 江苏大学, 2014.
- [17] 韩冰, 王效科, 逯非, 等. 中国农田土壤生态系统固碳现状和潜力[J]. 生态学报, 2008, 28(2): 612-619.
- [18] 刘硕. 国际土地利用与土地覆盖变化对生态环境影响的研究[J]. 世界林业研究, 2024(6): 38-45.
- [19] 刘丹. 黑龙江省土地覆盖景观格局对气候变化响应的研究[D]: [博士学位论文]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2007.