

矿山废弃地生态修复区植被碳库研究

苏军德

(甘肃有色冶金职业技术学院, 甘肃 金昌 737100)

摘要: [目的] 对甘肃省金川矿山废弃地修复区内主要的林分进行植物含碳率测定, 估算修复区内的植被碳储量, 为矿区生态修复系统纳入中国温室气体自愿减排提供科学依据。[方法] 利用干烧法对修复区主要物种进行有机含碳率测定, 估算修复区内主要物种的平均含碳率、植被储碳密度和碳储量, 并对其特征进行分析。[结果] 在修复区, 乔木的含碳率在 0.462 9~0.403 8, 灌木的含碳率范围为 0.413 9~0.453 6, 8 种草本植物的平均含碳率为 0.144 5, 整体上表现为: 乔木>灌木>草本植物。金川矿山废弃地生态修复区植被平均储碳密度为 6.209 2 t/hm², 总碳储量为 635.10 t, 在总碳储量分配中, 乔木较高, 占 86.71%, 灌木次之(占 12.65%), 草本植物在总碳储量中所占比例不大。[结论] 对矿山废弃地进行生态恢复, 能够增加矿区植被储碳量, 在纳入中国温室气体自愿减排上有很大的潜力空间。

关键词: 储碳密度; 碳库分配; 森林植被; 干烧法

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2018)05-0234-04

中图分类号: X171.4

文献参数: 苏军德. 矿山废弃地生态修复区植被碳库研究[J]. 水土保持通报, 2018, 38(5): 234-237. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2018.05.037. Su Junde. A study on vegetation carbon storage in ecological restoration area of abandoned mines[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(5): 234-237.

A Study on Vegetation Carbon Storage in Ecological Restoration Area of Abandoned Mines

SU Junde

(Gansu Vocational & Technical College of Nonferrous Metallurgy, Jinchang, Gansu 737100, China)

Abstract: [Objective] To calculate the carbon content of the main forest stands in the abandoned land in Jinchuan mine of Gansu Province, and estimate carbon storage years of vegetation in restored areas to provide scientific basis for incorporating ecological restoration system into the voluntary reduction of greenhouse gases in China. [Methods] The organic carbon content of the main species in the restoration area was determined by dry burning method. The average carbon content, vegetation carbon storage density and carbon storage of the main species in the restoration area were estimated and their characteristics were analyzed. [Results] In the repair area, the carbon content of the trees was 0.462 9~0.403 8. The carbon content of the shrubs ranged from 0.413 9 to 0.453. The average carbon content of 8 herbaceous plants was 0.144 5, which was ranked as follows: trees> shrubs > herbs. The average carbon storage density of vegetation in the ecological restoration area of Jinchuan mine abandoned land was 6.209 2 t/hm², and the total carbon storage was 635.10 t. Among the total carbon storage allocation, the arbor was the highest, accounting for 86.71%, and the shrub was the second, accounting for 12.65%. Plants accounted for a small proportion of total carbon stocks. [Conclusion] The ecological restoration of mine wasteland can increase the capacity of carbon storage in the mine area, and there is a great potential for the mine wasteland to be included into China's voluntary greenhouse gas emission reduction.

Keywords: carbon storage density; carbon storage and allocation; forest vegetation; dry combustion method

收稿日期: 2018-02-06

修回日期: 2018-04-27

资助项目: 甘肃省青年科技基金计划“祁连山中部植被变化及其驱动机制研究”(18JR3RC420); 甘肃省高等学校科研项目“矿山废弃地生态修复技术与效应研究”(2017A-290); 甘肃有色冶金职业技术学院院级项目(GYY2017Y06)

第一作者: 苏军德(1986—), 男(汉族), 甘肃省金昌市人, 硕士研究生, 讲师, 主要从事矿区地质灾害, 植物地理学等研究。E-mail: sujd2009@163.com.

中国是世界上矿产资源较为丰富的国家之一。随着矿产资源的大量开采,产生了一系列生态环境问题^[1]。近年来,国内众多矿山废弃地进行了生态修复^[2],陆续出现了许多矿山废弃地森林生态系统。在改善生态环境的同时,矿山废弃地森林生态系统积累的碳库在维持矿区碳循环和碳平衡中有着重要作用。无论是清洁发展机制(clean development mechanism, CDM)还是黄金标准等国际自愿碳标准(voluntary carbon standard, VCS)以及中国温室气体自愿减排项目,目前尚未见将矿区生态修复项目纳入温室气体自愿减排的研究报道^[3]。因此,需要估算矿山废弃地生态修复区减排增汇潜力,特别是矿山修复后迅速增长的植被碳储量。

本文拟对甘肃省金川矿山废弃地修复区内主要的林分进行植物部分含碳率测定,估算修复区内的植被碳储量,以期将矿区生态修复系统纳入中国温室气体自愿减排提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

金川矿山废弃地修复区位于甘肃省金昌市区西南部龙首山脉北坡,海拔 1 640 m,属大陆性温带干旱气候,日照总时数 1 506~1 859 h,年辐射量 138.0 J/m²,年均温度 9.5 ℃,年均降水量 139.8 mm,每年雨季主要在 5—9 月份,6—8 月份降水占全年降水量的 66%^[4]。

金川矿山已有 26 a 的开采历史,现已形成矿山废弃地约 3.1 km²,修复区内土壤大部分为脉石矿物所形成的沙石土壤,有少量的金属硫化物和金属氧化物及微量的贵金属矿物。自 2009 年起,金川集团公司及金昌市人民政府通过采取对矿区排土场土壤改良、矿山废渣绿化等措施。目前,全区树种种植面积约 1.5 km²,共有植物 116 种,通过样方统计,约 74 万株,大部分树龄在 15 a 以内。样地中主要乔木有油松、圆柏、水曲柳、红柳,主要灌木有柠条、驼绒藜和沙木蓼,草本植物基本为禾本科(早熟禾、高羊茅、冰草、披碱草)和莎草科(高山蒿草、水虱草)植物。

1.2 试验设计与测定方法

1.2.1 样方设计及试验材料采集 选择修复区内林相整齐,具有代表性的地段。为了使不同样地间进行比较,调查中尽可能选择树龄基本相同的林分地块。按照对角线方式布设 12(10 m×10 m)个乔木样方,21(2 m×2 m)个灌木样方和 30(1 m×1 m)个草本样方。在样方内每木检尺,确定标准木后并将其伐倒,之后分别对各伐倒木的各个器官(干、枝、叶、根)进行

取样,其中干从树干基部到树梢分段取样,枝从粗枝到细枝按比例取样,叶从年龄、叶片大小混合取样,根则从主根、侧根及大于 2 mm 的细根分别取样。同时记录样方内植物的高度、树干周长、盖度等指标,以便计算所取样方内植物的生物量。

1.2.2 估算生物量 本文中乔木生物量的估算采用径阶—株数法^[5],即将每木检尺结果依径阶顺序从小到大排列,将林木分为株数基本相等的 3~5 个径级,分别对每个径级选标准木测算各径级材积,各径级材积叠加得标准地蓄积。灌木和草本植物各器官的生物量估算采用收割法^[6]。

1.2.3 试验材料处理与含碳率测定 将采集的 4 种乔木、3 种灌木及 8 种草本植物放置恒温箱中,在 85 ℃温度下烘至恒重。之后采用 3 次粉碎法制样,粉碎后的样品过 100 目筛子后,装入瓶中备用。在样品含碳率测定之前,所有粉碎后样品再次放入恒温箱中,在 85 ℃温度下烘干 24 h。

利用 Elementar Vario EL 元素分析仪进行植物样品碳素分析,每次测定 3 个重复样品后取平均值。

1.3 数据处理

1.3.1 数据统计 所得数据用 Microsoft Excel 2007 和 SPSS 13.0 统计分析软件处理,以平均值进行统计分析,不同植物间碳含量采用方差分析^[7]、变异系数^[8]进行比较。

1.3.2 修复区内林分含碳率计算 由于不同树种含碳率存在一定的差异,如果用所有树种含碳率的平均值并不能很好的反应修复区内植被的真实含碳率^[9]。因此,本文根据各个树种在总生物量中的权重来计算林分含碳率:

$$\bar{p} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i \quad (1)$$

式中: \bar{p} ——修复区内林分的平均含碳率; p_i ——某种植物在 i 样方中的加权平均含碳率,其计算方式如下:

$$p_i = \frac{\sum W_{ij} P_{ij}}{\sum W_{ij}} \quad (2)$$

式中: W_{ij} , P_{ij} ——第 i 株树的 j 组分的生物量(t/hm²)和含碳率($i=1, 2, \dots, n; j=$ 干,皮,枝,叶,根)。

1.3.3 恢复区植被碳储量密度及碳库计算 利用金川矿山废弃地植被恢复区林木调查资料,对恢复区内乔木、灌木及草本植物进行植被碳密度、植被碳储量及平均储量及密度的估算。

$$\text{储碳密度}(D_c): D_c = B \cdot R_c \quad (3)$$

式中: B ——生物量(t/hm²); R_c ——某种植物的含碳率。

$$\text{总碳储量}(S_c): S_c = D_c \cdot S \times 10^{-6} \quad (4)$$

式中： D_c ——某种植物碳储量密度 (t/hm^2)； S ——某种植物的占地面积 (hm^2)。

$$\text{平均储碳密度}(\bar{D}_c): \bar{D}_c = \frac{\sum D_{ci}^{[12]}}{\sum S_i} \quad (5)$$

式中： D_{ci} ——金川矿山废弃地某类林分(乔木、灌木或草本植物)的平均储碳密度 (t/hm^2)； S ——某组分所占面积 (hm^2)。

2 结果与分析

2.1 不同树种含碳率特征

如表 1 所示,在金川矿山废弃地修复区,圆柏地上部分平均含碳率最高,为 0.49 ± 0.01 ,8 种草本植

物地上平均含碳率最低,为 0.31 ± 0.01 ;圆柏地下部分平均含碳率最高,其值为 0.47 ± 0.02 ,8 种草本植物含碳率最低,值为 0.25 ± 0.01 ,从变异系数及极差来看,所有树种间的变异系数在 4.5% 以下,含碳率极差都不超过 5%。不同树种的含碳率由树种生物学特性决定,针叶树种的含碳率高于阔叶树种和灌木。

2.2 修复区植被碳储量特征

不同植被间储碳密度存在明显差异 ($r^2 = 0.01$),具体表现为:圆柏 > 油松 > 水曲柳 > 红柳 > 驼绒藜 > 柠条 > 沙木蓼 > 草本植物。其次,植被储碳量也存在显著的差异性,具体表现为:红柳 > 水曲柳 > 油松 > 圆柏 > 柠条(驼绒藜) > 沙木蓼 > 草本植物(表 2)。

表 1 金川矿山废弃地生态修复区植被含碳率

树种	干	干皮	枝	叶	根	地上部分 平均	树种 平均	标准 误差	变异 系数/%	含碳率 极差
油松	0.489 8	0.545 6	0.500 1	0.487 6	0.455 4	0.505 8	0.480 6	0.018 9	4.02	0.046 5
圆柏	0.490 6	0.479 8	0.498 6	0.512 3	0.472 3	0.495 3	0.483 8	0.015 3	3.05	0.038 4
水曲柳	0.480 3	0.451 2	0.464 3	0.453 2	0.465 3	0.462 3	0.463 8	0.013 0	2.78	0.028 4
红柳	0.478 6	0.453 2	0.465 1	0.451 2	0.463 7	0.462 0	0.462 9	0.012 9	2.81	0.027 9
柠条			0.491 2	0.430 9	0.433 6	0.461 1	0.447 3	0.015 6	3.65	0.039 8
驼绒藜			0.494 3	0.446 5	0.436 7	0.470 4	0.453 6	0.015 4	3.59	0.037 6
沙木蓼			0.447 8	0.432 1	0.398 7	0.440 0	0.419 3	0.015 3	3.06	0.034 2
8 种草本				0.032 5	0.256 5	0.032 5	0.144 5	0.012	2.25	0.021 3

由于生态恢复区植被储碳密度和碳储量与各个物种的生物量、含碳率及分布面积息息相关而树木的生物量直接受树木的平均胸径、平均树高和林分密度的影响,含碳率因树种而异,由测树学可知,胸径、树

高是林木的生长指标,除受立地条件和外界环境影响外,树木年龄是一个很重要的影响因子^[13]。因此,植被的立地条件、生长环境及植被年龄都会直接影响植被储碳密度和碳储量^[14]。

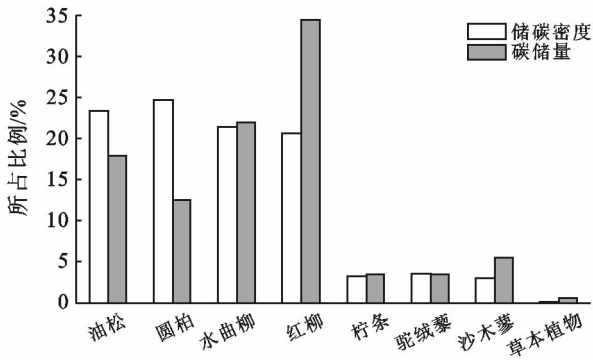
表 2 金川矿山废弃地生态修复区植被碳储量

树种	面积/ hm^2	储碳密度/($t \cdot hm^{-2}$)							碳储量/ t
		干	干皮	枝	叶	根	地上部分平均	总计	
油松	9.8	14.723 4	2.753 4	4.867 3	2.488 2	5.369 0	6.208 1	11.577 0	113.45
圆柏	6.5	14.952 3	3.910 9	4.223 1	2.573 2	5.856 4	6.414 9	12.271 3	79.63
水曲柳	13.1	12.436 1	1.870 6	4.087 6	2.347 6	5.452 3	5.185 5	10.637 8	139.35
红柳	21.3	12.354 3	1.798 7	4.014 5	2.234 3	5.148 7	5.100 4	10.249 2	218.31
柠条	13.7			1.567 3	0.984 5	0.349 8	1.275 9	1.625 7	22.27
驼绒藜	12.8			1.786 5	1.012 3	0.356 4	1.399 4	1.755 8	22.47
沙木蓼	23.8			1.328 7	0.982 3	0.339 8	1.155 5	1.495 3	35.58
8 种草本	65.4				0.049 5	0.012 3	0.049 5	0.061 8	4.04

2.3 修复区植被碳库分配特征

如图 1 所示,修复区植被平均储碳密度为 $6.209 2 t/hm^2$,总碳储量为 635.10 t,平均碳储量为 79.38 t。其中,乔木碳储量较高,占总碳储量的 86.71%,灌木次之,为 80.32 t,占总碳储量的 12.65%,草本植物

储碳密度较小,为 4.04 t,在总碳储量中的贡献不大。这充分说明乔木在整个修复区碳循环中有重要的作用,尤其是红柳,由于其储碳密度高,在修复区内所占面积较大,在整个修复生态系统中有重要的作用^[15]。



注: 储碳密度百分比是每个树种储碳密度/总储碳密度 $\times 100\%$ 。

图1 金川矿山废弃地生态修复区植被碳库分配特征

3 结果与讨论

(1) 在金川矿山废弃地生态修复区, 各个植物不同器官的平均含碳率在 0.11~0.48, 其中乔木较高, 略高出其他物种 1.06%~2.78%。各树种变异系数范围为 2.78%~4.02%, 这与西北地区森林变异系数(1.75%~6.59%)^[16] 较为接近。总体上看, 不同树种各部位含碳率高低随机分布, 并未呈现除某种规律性的变化, 其大小完全由各树种自身的特性决定。但从树种的形态学特征可以看出, 针叶树种各部位的含碳率均相应高于阔叶树种、灌木树种和草本。除草本植物外, 各树种地上部分平均含碳率与总平均含碳率十分接近, 且呈现除针叶树种>阔叶树种>灌木>草本植物。

(2) 在金川矿山废弃地生态修复区, 不同物种间储碳密度和碳储量都存在显著的差异。针叶树种储碳密度相比其他树种较高, 但碳储量却低于阔叶树种, 这是由于在修复区, 阔叶树种较大的种植面积而决定了其较高的碳储量。总体来看, 乔木储碳密度和碳储量分别占整个碳储量和总储碳密度的 87.27% 和 90.06%, 说明乔木在整个修复系统碳循环中具有及其重要的作用。但是, 与其他树种相比, 针叶树种(油松、圆柏)不论在地上还是地下部分, 储碳密度都较高, 具有较强的固碳能力, 加之其耐寒耐旱的生态学特征, 更适合祁连山区矿山废弃地的生态修复。

(3) 在金川矿山修复区, 所有植被储碳平均密度为 6.209 2 t/hm²。按照不完全统计, 祁连山区共有矿区 114 个, 矿区修复面积约 1 200 km²。按照金川矿山修复区植被储碳平均密度计算, 整个祁连山区矿

区修复植被固碳量约 7.50×10^5 t。由此可见, 对矿山废弃地进行生态恢复, 能够增加矿区植被储碳量, 在纳入中国温室气体自愿减排上有很大的潜力空间。

[参 考 文 献]

- [1] 温久川. 矿区生态环境问题及生态恢复研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2012.
- [2] 陈诗一. 中国各地区低碳经济转型进程评估[J]. 经济研究, 2012, 23(8): 33-41.
- [3] 李永庚, 蒋高明. 矿山废弃地生态重建研究进展[J]. 生态学报, 2004, 24(1): 95-100.
- [4] 吴杨杨, 王立, 何明珠. 金川公司矿山绿化区沙生植物重金属吸收特征[J]. 水土保持学报, 2012, 28(1): 262-265.
- [5] Ma Qingyan. A study on the biomass of Chinese pine forests [J]. Journal of Beijing Forestry University, 1989, 11(4): 1-10.
- [6] Cheng X Q, Han H R, Kang F F. Biomass, carbon accumulation and its partitioning of a *Pinus tabulaeformis* plantation ecosystem in Shanxi Province, China [J]. Chinese Journal of Ecology, 2012, 31(10): 2455-2460.
- [7] 程堂仁, 冯菁, 马钦彦, 等. 甘肃小陇山森林植被碳库及其分配特征[J]. 生态学报, 2008, 28(1): 27-43.
- [8] 郭晓梦, 黄国兴, 张宁川. 随机波浪下泰勒离散系数的时域解[J]. 海洋通报, 2017, 36(6): 638-643.
- [9] 毛学文, 张海林, 孔红. 小陇山种子植物区系组成及特征的研究[J]. 植物研究, 2003, 23(4): 485-491.
- [10] Craine J M, Reich P B, Tilman D, et al. The role of plant species in biomass production and response to elevated CO₂ and N[J]. Ecology Letters, 2003, 6(7): 623-625.
- [11] 于贵瑞, 李海涛, 王绍强. 全球变化与陆地生态系统碳循环和碳蓄积[M]. 北京: 气象出版社, 2003.
- [12] 方精云. 中国森林生产力及其对全球气候变化的响应[J]. 植物生态学报, 2000, 24(5): 513-517.
- [13] 王效科, 冯宗炜, 欧阳志云. 中国森林生态系统植物碳储量和碳密度研究[J]. 应用生态学报, 2001, 12(1): 3-16.
- [14] 郭广芬, 张称意, 徐影. 气候变化对陆地生态系统土壤有机碳储量变化的影响[J]. 生态学杂志, 2006, 25(4): 435-442.
- [15] 陈莉, 宋敏, 宋同清, 等. 广西不同林龄软阔林碳储量及其分配格局[J]. 生态学杂志, 2017, 36(3): 592-600.
- [16] 刘曦乔, 梁萌杰, 陈龙池, 等. 湖南省森林生态系统碳储量、碳密度及其空间分[J]. 生态学杂志, 2017, 36(9): 2385-2393.