

秦岭山地森林固碳释氧价值评估

桑福民¹, 张善红^{2,3}

¹商洛学院经济管理学院, 陕西 商洛

²商洛学院城乡规划与建筑工程学院, 陕西 商洛

³商洛学院, 秦岭南麓生态水文陕西省野外科学观测研究站, 陕西 商洛

收稿日期: 2026年5月3日; 录用日期: 2026年6月25日; 发布日期: 2026年7月7日

摘要

本文依据光合作用方程式, 基于2000~2023年的NPP数据, 测算了秦岭山地植被的固碳释氧物质量。并以此为基础, 采用造林成本法和工业制氧法测算了秦岭山地植被的固碳释氧的经济价值。结果表明: (1) 近24年来秦岭山地植被年均固碳物质量为 1.82×10^7 t, 年均释氧物质量为 4.96×10^7 t, 年均固碳释氧总量为 6.78×10^7 t; (2) 秦岭山地年均固碳价值量为239.98亿元, 年均释氧价值量为174.11亿元, 年均固碳释氧总价值量为414.09亿元。(3) 秦岭山地植被单位面积固碳释氧价值为67627.82元/hm²和55975.61元/hm², 单位面积年均固碳释氧总和为306886.3元/hm²。

关键词

固碳释氧, 秦岭山地, 净初级生产力, 经济价值评估

Evaluation of Carbon Sequestration and Oxygen Release Value of Forest in Qinling Mountains

Fumin Sang¹, Shanhong Zhang^{2,3}

¹School of Economics and Management, Shangluo University, Shangluo Shaanxi

²College of Urban, Rural Planning and Architectural Engineering, Shangluo University, Shangluo Shaanxi

³Shaanxi Field Research Station of Ecohydrology at the Southern Qinling Mountains, Shangluo University, Shangluo Shaanxi

Received: May 3, 2026; accepted: June 25, 2026; published: July 7, 2026

Abstract

Based on the photosynthesis equation and NPP data from 2000 to 2023, this article calculates the

文章引用: 桑福民, 张善红. 秦岭山地森林固碳释氧价值评估[J]. 林业世界, 2026, 15(3): 520-529.

DOI: 10.12677/wjf.2026.153063

amount of carbon sequestration and oxygen release from vegetation in the Qinling Mountains. Furthermore, using this as a foundation, the economic value of carbon sequestration and oxygen release from vegetation in the Qinling Mountains is estimated through the afforestation cost method and industrial oxygen production method. The results indicate that: (1) Over the past 24 years, the average annual carbon sequestration mass from vegetation in the Qinling Mountains is 1.82×10^7 tons, the average annual oxygen release mass is 4.96×10^7 tons, and the total annual carbon sequestration and oxygen release is 6.78×10^7 tons; (2) The average annual carbon sequestration value in the Qinling Mountains is 23.998 billion yuan, the average annual oxygen release value is 17.411 billion yuan, and the total annual carbon sequestration and oxygen release value is 41.409 billion yuan. (3) The carbon sequestration and oxygen release values per unit area of vegetation in the Qinling Mountains are 67627.82 yuan/hm² and 55,975.61 yuan/hm², respectively, with a total annual carbon sequestration and oxygen release value per unit area of 306886.3 yuan/hm².

Keywords

Carbon Sequestration and Oxygen Release, Qinling Mountains, Net Primary Productivity, The Economic Value Assessment

Copyright © 2026 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

生态服务功能是指自然生态系统及其所属物种形成与维持的人类赖以生存的条件和过程, 它维护了地球的生命支持系统、生命物质的地化循环与水文循环、生物多样性、大气化学成分的平衡与稳定等[1] [2]。森林生态系统服务功能是森林生态系统发挥出的对人类、社会和环境有益服务功能, 主要表现在含蓄水源、固碳释氧及净化大气等方面[3]。固碳释氧服务功能是指, 森林作为大自然中的关键碳储存库, 其通过光合作用将二氧化碳转化为氧气, 可以显著减轻二氧化碳过剩导致的温室效应[4]。所以固碳释氧服务功能, 在实现森林生态系统保护和良性循环过程中发挥重要作用[5]。

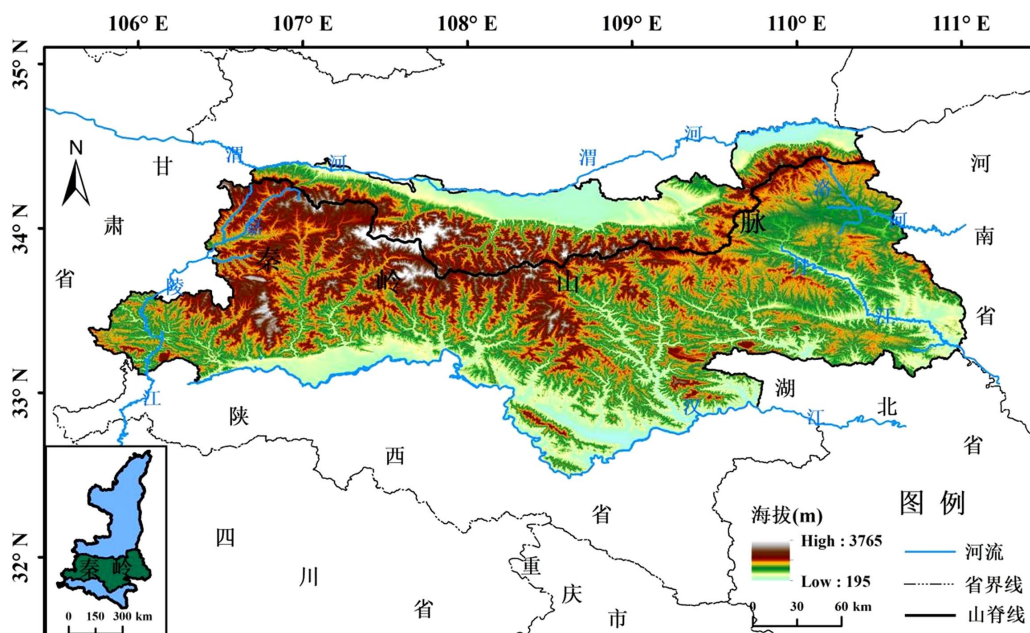
根据国际气候变化专门委员会(IPCC)的权威报告, 在 2011 年至 2020 年的十年间, 全球地表温度相较于 1850 年至 1900 年的基准期, 已经上升了 1.1℃。该报告称, 根据 2021 年 10 月前宣布的国家自主贡献推算的 2030 年全球温室气体排放量可能使 21 世纪全球温升超过 1.5℃, 且很难将温升控制在 2℃以内[6]。如何确保人类生存环境的可持续发展, 以及如何减轻全球气候变化对地球生命支持系统的不利影响, 已经成为各国政府和科学家关注的重点。随着中国经济的爆炸式增长, 且大量使用化石燃料, 中国已成为世界上最大的工业源 CO₂ 排放国之一[7]。确保人类生存不受侵害, 减缓环境恶化对地球生命系统产生的不良影响, 已经成为当前重要的时代课题。余超、王斌等人[8]基于 1973 年至 2008 年期间进行的七次全国森林资源清查数据, 定量分析了中国的森林植被净生产量和平均生产力, 总体上呈现出增加的趋势。方精云、刘国华等人[9]利用森林蓄积量推算净生产力的方法, 系统研究了我国森林植被的净生产量, 结果表明我国森林的净生产量呈现出自南至北递减的规律。陈宇轩等[10]利用 MOD17A3H 遥感植被 NPP, 计算得到 2010、2015 和 2020 年秦岭生态系统的固碳价值分别为 365.102 亿元, 379.751 亿元和 365.509 亿元, 释氧价值分别为 387.141 亿元, 410.350 亿元和 429.33 亿元。李晶等[11]采用遥感模型并根据光合作用方式, 对黄土高原植被 NPP 物质质量进行了测算, 结果显示黄土高原年平均固碳价值为 187.72 亿元, 年平均释氧价值为 203.26 亿元。马长欣等[12]依据陕西省南北部气候差异显著的情况, 计算了陕西森林生态系统南北不同气候带下

的实际生产力, 其中固碳的实物量为 524.6×10^4 t、释氧的实物量为 1404.6×10^4 t。

陆地植被净初级生产力(Net Primary Productivity, 简称 NPP)是单位面积内植物通过光合作用产生的有机物总量, 减去植物自身通过呼吸作用所消耗的有机物后, 剩余的部分[13]。陆地植被 NPP 通常用 gC/m^2 来表示[14]。固碳释氧的生态功能价值是生态系统服务价值中的很重要的一部分, 是实现“绿色青山就是金山银山”的先行条件, 是推进生态文明建设和山区绿色经济发展的必经之路。本文选取秦岭山地 14 种植物类型为研究对象, 通过植被净第一生产力 NPP, 结合光合作用方程, 利用造林成本方法和工业制氧法, 计算秦岭山地植被固碳释氧的经济价值, 为秦岭地区的绿色发展和制定秦岭山地森林生态保护政策提供有力的数据支持。

2. 研究区概况

秦岭山地(狭义秦岭)位于 $105^{\circ}30' \sim 111^{\circ}05' \text{E}$, $32^{\circ}40' \sim 34^{\circ}35' \text{N}$ 之间, 西起嘉陵江, 东与伏牛山相接, 北界渭河, 南临汉江, 包括陕西省的六市 32 个县区, 总面积约为 6.19万 km^2 , 见图 1。秦岭山地植被类型丰富多样, 主要有亚热带常绿阔叶林、暖温带落叶阔叶林和其中一些植被亚类, 其中主要以暖温带落叶阔叶林为优势的植被类型[15][16]。秦岭作为我国的中央山脉, 是中国地理空间上的南北分界线, 是国家重要生态安全屏障, 是我国的“中央水塔”和“中央空调”, 对有周边地区乃至更远的地区提供生态需求[10]。



注: 该图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为 GS(2016)2885 标准地图制作, 底图无修改。

Figure 1. The location of Qinling Mountains in Shaanxi Province

图 1. 秦岭在陕西省中的位置

3. 资料与方法

3.1. 数据来源与处理

NPP 数据: NPP 数据下载于美国航空航天局网(<https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/>)对地观测数据集 2000~2023 年 MOD17A3HGF NPP 产品, 空间分辨率为 500m , 时间分辨率为 1 年。该产品采用 MRT 软件完成影像的拼接、投影和格式转化, 并通过掩膜提取得到秦岭山地 2000~2023 年的逐年均值 NPP 数据。

植被类型数据: 秦岭山地的植被类型丰富, 本数据来源于白红英等[17]的著作《气候变化背景下秦岭山地植被响应与适应》, 该根据《陕西植被》中的分类系统和相关研究进展, 结合调查数据, 将秦岭山地的植被划分为 14 个植被型(除去人工栽培植被)。

3.2. 研究方法

3.2.1. 固碳释氧测算

生态系统中各类植物吸收空气中的二氧化碳(CO₂)和水分, 通过光合作用, 生成葡萄糖等碳水化合物, 并释放氧气(O₂), 其化学方程式为: $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$ 。本文以 NPP 为基础, 根据光合作用方程式, 经过物质的量与相对分子质量转换, 换算净初级生产力结果[18], 每生产 1.00 kg 干物质能固定 1.63 kg CO₂, 释放 1.2 kg 的 O₂。以此比例为基础, 测算秦岭山地生态系统固定 CO₂ 和释放 O₂ 的物质质量。

3.2.2. 固碳释氧价值测算

使用造林成本法估算出该生态系统固定 CO₂ 的价值, 其中 CO₂ 造林成本为 260.9 元/吨[19]-[21]; 使用工业制氧法估算出该生态系统释放 O₂ 的价值, 工业制氧成本为 400 元/吨 O₂ [19]-[21]。

3.2.3. Arcgis 空间分析

利用 Arcgis 的空间分析功能, 提取秦岭山地不同植被类型的 NPP 物质值, 固碳释氧物质质量, 进而计算秦岭山地植被的固碳释氧价值量。

4. 结果与分析

4.1. 秦岭山地植被 NPP 物质质量测算和分析

表 1 为秦岭山地 14 种植被类型近 24 年年均 NPP 物质质量和年均单位面积 NPP 物质质量, 由表 1 可以看出: 秦岭植被的年均 NPP 物质质量、分布面积、年均单位面积 NPP 物质质量差异都较大。从植被的分布面积看, 温带落叶阔叶林的面积为 2104846.4 hm², 分布面积最大; 其次为温带落叶灌丛, 其面积为 709851.50 hm², 居第三位的是亚热带针叶林, 第四位的是亚热带常绿落叶阔叶灌丛。面积最小的为亚热带竹林, 高寒草甸次之, 亚高山革质常绿阔叶灌丛再次之, 三者面积加起来不足一万公顷。

Table 1. Calculation of net primary productivity of vegetation in the Qinling Mountains

表 1. 秦岭山地植被净第一生产力测算表

植被类型	Area (hm ²)	NPP (t/a)	NPP (t/hm ² ·a)
高寒草甸	2963.02	25078.05	8.46
禾草草甸	22114.99	184726.80	8.35
温带草丛	428642.62	3166726.28	7.39
亚热带草丛	286636.30	2316869.47	8.08
温带落叶灌丛	709851.55	5613170.80	7.91
亚高山革质常绿阔叶灌丛	3604.74	31000.06	8.6
亚热带常绿落叶阔叶灌丛	520924.93	4189783.08	8.04
亚热带常绿、落叶阔叶混交林	97013.02	751782.28	7.75
温带针叶林	137096.99	994638.29	7.25
亚热带山地针叶林	71842.89	632475.86	8.80
亚热带针叶林	549630.84	4551530.50	8.28

续表

亚热带竹林	1466.70	15189.84	10.36
温带落叶阔叶林	2104846.43	18499212.67	8.79
亚热带落叶阔叶林	40571.31	338387.83	8.34
总计	4977206.32	41310571.82	

通过各植被年均 NPP 物质质量可以看出, 温带落叶阔叶林、温带落叶灌丛、亚热带针叶林和亚热带常绿落叶阔叶灌丛的年均 NPP 物质质量位居前四位。它们的年均 NPP 物质质量分别为 1849.92×10^4 t、 561.32×10^4 t、 455.15×10^4 t 和 418.98×10^4 t。年均 NPP 物质质量最小的为亚热带竹林 1.52×10^4 t, 是因为它的面积分布最小。

由年均单位面积 NPP 物质质量可知, 亚热带竹林最高为 10.36 t/hm^2 , 这主要是气候因素的影响, 亚热带水热条件好, 亚热带竹林光合作用的时间长, 因此年均单位面积 NPP 物质质量最高。其次为亚热带山地针叶林和温带落叶阔叶林, 年均单位面积 NPP 物质质量分别为 8.80 t/hm^2 和 8.79 t/hm^2 。其他植被的年均单位面积 NPP 物质质量差距较小, 大致集中在 $7.25\sim 8.6 \text{ t/hm}^2$ 之间。

4.2. 植被固碳释氧物质质量的测评和分析

4.2.1. 不同植被类型的年均固碳释氧物质质量分析

表 2 为秦岭山地 14 种植被近 24 年固碳释氧的年均物质质量, 可以看出: 秦岭山地植被年固碳物质质量为 6.73×10^7 t, 年释氧物质质量为 4.96×10^7 t, 年固碳释氧总量为 11.69×10^7 t。温带落叶阔叶林年固碳释氧物质质量最大, 其中固碳物质质量为 3.02×10^7 t, 释氧物质质量为 2.22×10^7 t, 年固碳释氧物质质量之和为 5.24×10^7 t。其次是温带落叶灌丛, 年固碳物质质量为 9.15×10^6 t, 年释氧物质质量为 6.74×10^6 t, 年固碳释氧物质质量之和 1.59×10^7 t。第三位的是亚热带针叶林, 其年固碳物质质量为 7.42×10^6 t, 年释氧物质质量为 5.46×10^6 t, 年固碳释氧物质质量之和 1.29×10^7 t。第四位的是亚热带常绿落叶阔叶灌丛, 其年固碳物质质量为 6.83×10^6 t, 年释氧物质质量为 5.03×10^6 t, 年固碳释氧物质质量之和 1.19×10^7 t。亚热带竹林的年固碳释氧物质质量最小, 年固碳物质质量为 2.48×10^4 t, 年释氧物质质量为 1.82×10^4 t, 年固碳释氧物质质量之和为 4.30×10^4 t。

Table 2. Calculation of carbon sequestration and oxygen release mass of vegetation in Qinling Mountains

表 2. 秦岭山地植被固碳释氧物质质量测算表

植被类型	固碳量(t/a)	释氧量(t/a)
亚热带常绿落叶阔叶灌丛	6829346.42	5027739.70
温带落叶阔叶林	30153716.65	22199055.20
温带落叶灌丛	9149468.41	6735804.96
亚热带草丛	3776497.24	2780243.37
温带草丛	5161763.84	3800071.54
亚热带针叶林	7418994.72	5461836.60
亚热带常绿落叶阔叶混交林	1225405.12	902138.74
亚热带落叶阔叶林	551572.17	406065.40
禾草草甸	301104.68	221672.16
温带针叶林	1621260.4	1193565.94

续表

亚热带竹林	24759.45	18227.81
亚热带山地针叶林	1030935.66	758971.04
高寒草甸	40877.22	30093.66
亚高山革质常绿阔叶灌丛	50530.1	37200.08
总计	67336232.07	49572686.19

4.2.2. 不同植被类型单位面积年均固碳释氧物质质量分析

表 3 为秦岭山地植被单位面积固碳释氧物质质量测算表, 由表 3 可知: 秦岭山地植被单位面积年固碳量物质质量为 51.23 t/hm^2 , 释氧量物质质量为 139.70 t/hm^2 , 单位面积年固碳释氧物质质量为 190.93 t/hm^2 。亚热带竹林单位面积年固碳释氧物质质量最大, 固碳物质质量为 4.56 t/hm^2 , 释氧物质质量为 12.43 t/hm^2 , 单位面积年固碳释氧物质质量总和为 16.99 t/hm^2 。其次是亚热带山地针叶林, 单位面积年固碳释氧物质质量总和为 14.43 t/hm^2 。温带针叶林单位面积年固碳释氧物质质量最小, 单位面积年固碳释氧物质质量总和为 11.90 t/hm^2 。单位面积固碳释氧物质质量随植被的变化, 亚热带竹林、亚热带山地针叶林、温带落叶阔叶林位列前三, 各类植被单位面积固碳释氧的物质质量差距较小, 相比与固碳释氧的物质质量起伏较小。温带针叶林、温带草丛、亚热带常绿落叶阔叶混交林虽然单位面积年固碳释氧的物质质量最小, 但与其他植被差距不大。

Table 3. Calculation of carbon sequestration and oxygen release mass per unit area of vegetation in the Qinling Mountains
表 3. 秦岭山地植被单位面积固碳释氧物质质量测算表

植被型	单位面积固碳量 $\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$	单位面积释氧量 $\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$
亚热带常绿落叶阔叶灌丛	13.11	9.65
温带落叶阔叶林	14.33	10.55
温带落叶灌丛	12.89	9.49
亚热带草丛	13.18	9.70
温带草丛	12.04	8.87
亚热带针叶林	14.35	9.94
亚热带常绿落叶阔叶混交林	12.63	9.30
亚热带落叶阔叶林	13.60	10.01
禾草草甸	13.62	10.02
温带针叶林	11.83	8.71
亚热带竹林	16.88	12.43
亚热带山地针叶林	14.35	10.56
高寒草甸	13.80	10.16
亚高山革质常绿阔叶灌丛	14.02	10.32
总计	13.53	139.70

4.3. 植被固碳释氧价值量的测评和分析

4.3.1. 植被固碳释氧价值量测算

表 4 为秦岭山地 14 种不同植被年固碳释氧价值量测算表, 通过表 4 可得: 秦岭山地年固碳价值量为 239.98 亿元, 释氧价值量为 174.11 亿元, 年固碳释氧总价值量为 414.09 亿元。温带落叶阔叶林的年固碳

释氧价值最大分别为 107.47 亿元和 88.79 亿元, 年固碳释氧价值总和为 196.26 亿元。其次是温带落叶灌丛, 年固碳价值为 32.61 亿元, 释氧价值为 2.76 亿元, 年固碳释氧价值总和为 35.37 亿元。禾田草甸年固碳释氧价值最小, 年固碳价值为 1.07 亿元, 年释氧价值为 0.89 亿元, 年固碳释氧价值总和为 19.56 亿元。

Table 4. Calculation of carbon sequestration and oxygen release values of vegetation in the Qinling Mountains

表 4. 秦岭山地植被固碳释氧价值量测算表

植被类型	固碳价值/元	释氧价值/元
亚热带常绿阔叶阔叶灌丛	2433979064	2011095878.51
温带落叶阔叶林	10746784614	8879622080.11
温带落叶灌丛	3260870541	276352084.74
亚热带草丛	1345943616	1112097346.52
温带草丛	1839652633	1520028616.33
亚热带针叶林	2644129718	2184734641.67
亚热带常绿阔叶阔叶混交林	436734384.8	360855495.51
亚热带落叶阔叶林	196580321.4	162426160.71
禾草草甸	107313708	88668862.19
温带针叶林	577817206.6	477426376.81
亚热带竹林	8824267.98	7291125.09
亚热带山地针叶林	367425469.2	303588414.50
高寒草甸	14568641.21	12037462.16
亚高山革质常绿阔叶灌丛	18008927.64	14880030.20
总计	23998633113	17411104575.05

4.3.2. 单位面积植被固碳释氧价值量测算

表 5 秦岭山地植被单位面积固碳释氧价值量测算表, 由表 5 可知: 秦岭山地植被单位面积固碳价值为 67627.82 元/hm², 释氧价值为 55975.61 元/hm², 单位面积固碳释氧总和为 306886.3 元/hm²。亚热带竹林单位面积固碳释氧价值最大, 单位面积固碳价值为 6016.41 元/hm², 释氧价值为 4971.11 元/hm², 单位面积年固碳释氧价值总和为 10987.52 元/hm²。其次为亚热带山地针叶林, 单位面积固碳释氧价值总和为 9340.02 元/hm²。温带落叶阔叶林和亚热带山地针叶林单位面积固碳价值和单位面积释氧价值相差不大, 仅相差 8.56 元/hm² 和 7.07 元/hm²。温带针叶林单位面积固碳释氧价值最小, 单位面积固碳释氧价值总和为 7697.06 元/hm²。温带落叶灌丛、温带落叶阔叶林和亚热带针叶林为秦岭山地主要的森林类型, 其森林面积共占了整个秦岭山地的 67.6%, 温带落叶阔叶林单位面积生态服务功能价值不是很高, 但由于面积较大, 总的生态服务功能价值排在前列。

Table 5. Calculation of carbon sequestration and oxygen release value per unit area of vegetation in the Qinling Mountains

表 5. 秦岭山地植被单位面积固碳释氧价值量测算表

植被类型	单位面积固碳价值元/(hm ² ·a)	单位面积释氧价值元/(hm ² ·a)
亚热带常绿阔叶阔叶灌丛	4672.42	3860.63
温带落叶阔叶林	5105.73	4218.66
温带落叶灌丛	4593.74	3893.10
亚热带草丛	4695.65	3879.82

续表

温带草丛	4291.81	3546.14
亚热带针叶林	4810.74	3974.91
亚热带常绿落叶阔叶混交林	4501.81	3719.66
亚热带落叶阔叶林	4845.30	4003.47
禾草草甸	4852.53	4009.44
温带针叶林	4214.66	3482.40
亚热带竹林	6016.41	4971.11
亚热带山地针叶林	5114.29	4225.73
高寒草甸	4916.82	4062.59
亚高山革质常绿阔叶灌丛	4995.90	4127.95
总计	67627.82	55975.61

4.3.3. 植被固碳释氧价值量所占总价值的比重

图2为14类植被固碳释氧价值占总固碳释氧价值比重图,由图可知:阔叶林中,以温带落叶阔叶林为主,年固碳释氧价值占总固碳释氧价值的47%;针叶林中,以亚热带针叶林为主,占总固碳释氧价值的12%,其次为温带针叶林,占总固碳释氧价值的3%,最小的为亚热带山地针叶林,占总固碳释氧价值的2%。灌丛中,以亚热带常绿落叶阔叶灌丛为主,年固碳释氧价值占总固碳释氧价值11%,其次为温带落叶灌丛,占总固碳释氧价值的9%;最小的为亚高山革质常绿阔叶灌丛,占总固碳释氧价值的0.04%。草丛中,以温带带草丛为主,其年固碳释氧占总固碳释氧的8%。亚热带草丛,年固碳释氧价值占总固碳释氧价值的6%。温带草丛和亚热带草丛年固碳释氧占总固碳释氧的值差别不大;草甸中,以禾田草甸为主,其次为高寒草甸。由此可知,秦岭山地植被固碳释氧经济价值差异很大,温带落叶阔叶林、亚热带常绿落叶阔叶灌丛、亚热带针叶林固碳释氧经济价值较高,禾田草甸、高寒草甸、亚热带竹林、亚高山革质常绿阔叶灌丛则非常小,合计不足1%。

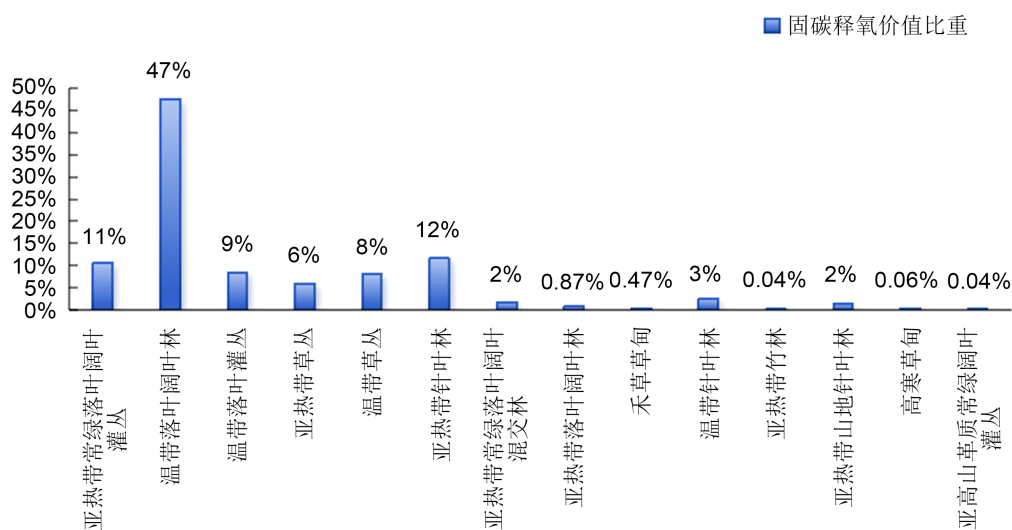


Figure 2. Proportion of carbon sequestration and oxygen release value of 14 plant species to total carbon sequestration and oxygen release value

图2. 14种植物固碳释氧价值占总固碳释氧价值比重图

5. 结论与讨论

5.1. 结论

(1) 秦岭山地不同植被类型的 NPP 物质质量、分布面积、单位面积 NPP 物质质量存在很大的差异。温带落叶阔叶林 NPP 年物质量 1849.92×10^4 t 最大, 其次温带落叶灌丛 561.32×10^4 t, 最小为亚热带竹林 1.52×10^4 t; 单位面积 NPP 年物质量最大为亚热带竹林 10.36 t/hm², 其次为亚热带山地针叶林 8.80 t/hm², 最小的为温带针叶林 7.25 t/hm²。

(2) 秦岭山地植被年固碳物质质量为 1.82×10^7 t, 年释氧物质质量为 4.96×10^7 t, 年固碳释氧总量为 6.78×10^7 t。秦岭山地植被单位面积年固碳量物质质量为 51.23 t/hm² 和 139.70 t/hm², 单位面积年固碳释氧物质质量为 190.93 t/hm²。14 种秦岭植被中亚热带竹林单位面积固碳释氧物质质量最大, 单位面积年固碳释氧物质质量总和为 16.99 t/hm²。其次是亚热带山地针叶林, 单位面积年固碳释氧物质质量总和为 14.43 t/hm²。温带针叶林单位面积年固碳释氧物质质量最小, 单位面积年固碳释氧物质质量总和为 11.9 t/hm²。

(3) 秦岭山地年固碳释氧价值量分别为 239.98 亿元和 174.11 亿元, 年固碳释氧总价值量为 414.09 亿元。植被单位面积年固碳释氧价值分别为 67627.82 元/hm² 和 55975.61 元/hm², 单位面积年固碳释氧价值总和为 306886.3 元/hm²。

5.2. 讨论

本文基于 MOD17A3HGF NPP 数据对秦岭山地植被的固碳释氧量进行估算。该数据基于 Terra 卫星 MODIS 传感器观测, 并结合 BIOME-BGC 模型与光能利用率模型估算, 经全球通量塔网络(FLUXNET)验证, 被广泛应用于各期刊研究。尽管该数据的精度和可靠性强, 但该数据的空间分辨率为 500 m, 以此来研究秦岭地区, 对秦岭山地植被 NPP 值可能产生一定误差, 影响秦岭山地固碳释氧量的估测。在以后的研究中需要通过实测验证模型参数在研究区是否合理, 加强对模型拟合和校验的研究, 进一步分析不同模型模拟值的适用范围和差异。

另外本文在计算秦岭山地年固碳释氧价值量过程中, 未考虑固碳价格和氧气价格的波动, 以后的研究中仍需加强对森林净固碳释氧服务价值的研究, 同时需要进一步发展和丰富生态系统固碳释氧服务价值的评估方法、提高对区域森林生态系统服务价值动态的认识, 增强森林应对气候变化的潜力和维持区域可持续发展, 为陕西省林业碳汇建设和森林生态建设发挥更大作用。

基金项目

商洛学院科研处项目(23SKY014)。

参考文献

- [1] Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., *et al.* (1997) The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital. *Nature*, **387**, 253-260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- [2] 项雅娟, 陆雍森. 生态服务功能与自然资本的研究进展[J]. 软科学, 2004, 18(6): 12-14.
- [3] 刘琳, 林逢春. 安徽森林生态系统服务功能经济价值评估[J]. 安徽科技, 2007(7): 39-41.
- [4] 余超. 基于森林资源清查数据的中国森林植被生物量 and 生产力动态变化分析[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 安徽农业大学, 2015.
- [5] Yu, H. and Ong, B.L. (2003) Diurnal Photosynthesis and Carbon Economy of Acacia Mangium. *Acta Phytoecologica Sinica*, **27**, 624-630. <https://doi.org/10.17521/cjpe.2003.0090>
- [6] IPCC 最新报告: 全球温升预计在 2021 年至 2040 年内达到 1.5℃ [J]. 化工时刊, 2023, 37(2): 32.
- [7] 王斌, 刘某承, 张彪. 基于森林资源清查资料的森林植被净生产量及其动态变化研究[J]. 林业资源管理, 2009(1): 35-43.

- [8] 余超, 王斌, 刘华, 等. 中国森林植被净生产量及平均生产力动态变化分析[J]. 林业科学研究, 2014, 27(4): 542-550.
- [9] 方精云, 刘国华, 徐嵩龄. 我国森林植被的生物量和净生产量[J]. 生态学报, 1996(5): 497-508.
- [10] 陈宇轩. 陕西秦岭地区生态系统服务价值核算及实现机制研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西北大学, 2022.
- [11] 李晶, 任志远. 基于 GIS 的陕北黄土高原土地生态系统固碳释氧价值评价[J]. 中国农业科学, 2011, 44(14): 2943-2950.
- [12] 马长欣, 刘建军, 康博文, 等. 1999-2003 年陕西省森林生态系统固碳释氧服务功能价值评估[J]. 生态学报, 2010, 30(6): 1412-1422.
- [13] 詹长根, 吴金涛. 湖北省鄂州市湿地净初级生产力及固碳释氧量估算[J]. 水土保持通报, 2022, 42(5): 321-328+359.
- [14] Field, C.B., Behrenfeld, M.J., Randerson, J.T., *et al.* (1998) Primary Production of the Biosphere Integrating Terrestrial and Oceanic Components. *Science*, **281**, 237-240. <https://doi.org/10.1126/science.281.5374.237>
- [15] 闫军辉, 闫军平. 全球气候变化下秦岭地区南北气候生产力时空对比研究[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 5(30): 588-590.
- [16] 钟兆站, 李克煌. 秦岭-黄淮平原交界带气候边际效应初探[J]. 地理研究, 1996, 15(4): 66-73.
- [17] 白红英, 刘康, 王俊, 等. 气候变化背景下秦岭山地植被响应与适应[M]. 北京: 科学出版社, 2019.
- [18] 张岩, 韦振锋, 黄毅. 1999-2012 年三江源区植被净初级生产力及固碳释氧量测评[J]. 水土保持通报, 2016, 36(1): 100-105.
- [19] 任志远, 李晶. 秦巴山区植被固定 CO₂ 释放 O₂ 生态价值测评[J]. 地理研究, 2004, 23(6): 769-775.
- [20] 陈仲新, 张新时. 中国生态系统效益的价值[J]. 科学通报, 2000, 45(1): 17-22+113.
- [21] 闵庆文, 谢高地, 胡聘, 等. 青海草地生态系统服务功能的价值评估[J]. 资源科学, 2004, 26(3): 56-61.